

ISSN 2078-4481

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# ВІСНИК

ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

## 4(91)

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Херсонського національного технічного університету  
(протокол № 5 від 27.12.2024 року)

---

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України  
категорії «Б» за економічними науками, спец. – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 242  
(Наказ МОН України від 17.03.2020 № 409),  
281 (Наказ МОН України від 29.06.2021 № 735);  
та за технічними науками, спец. – 121, 122, 123, 125, 126, 131, 132, 133, 151, 274, 275  
(Наказ МОН України від 02.07.2020 № 886)  
та спец. 141, 161, 182 (Наказ МОН України від 24.09.2020 № 1188)

Журнал включено до наукометричних баз, електронних бібліотек та репозитаріїв:  
GoogleScholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2024

## Редакційна колегія

### Головний редактор

Литвиненко В.І.

д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук,  
заслужений діяч науки і техніки України

### Заступник головного редактора

Сарібєкова Ю.Г.

д.т.н., професор, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків

Шерстюк В.Г.

д.т.н., професор, проректор з навчальної роботи

### Відповідальний секретар

Лур'є І.А.

к.т.н., доцент, начальник навчально-методичного відділу, доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук

## Члени редакційної колегії

<b>Баганов Є.О.</b>	к.т.н., доцент
<b>Березовський Ю.В.</b>	д.т.н., доцент
<b>Бойко Г.А.</b>	к.т.н., доцент
<b>Вороненко М.О.</b>	к.т.н., доцент
<b>Гончар О.І.</b>	д.е.н., професор
<b>Горбачов П.Ф.</b>	д.т.н., професор
<b>Дімітрова В.</b>	д.н., доцент
<b>Джерелюк Ю.О.</b>	д.е.н., професор
<b>Євтушенко В.В.</b>	к.т.н., доцент
<b>Жарікова М.В.</b>	д.т.н., професор
<b>Зубкова К.В.</b>	к.т.н., доцент
<b>Корчевська Л.О.</b>	д.е.н., професор
<b>Кузьміна Т.О.</b>	д.т.н., професор
<b>Кунік О.М.</b>	к.т.н., доцент
<b>Луб'яний П.В.</b>	к.т.н., доцент
<b>Наумов О.Б.</b>	д.е.н., професор
<b>Олійник Н.М.</b>	к.т.н., доцент
<b>Плющ Р.М.</b>	д.держ.упр., професор
<b>Половцев О.В.</b>	д.держ.упр., к.т.н., професор
<b>Рудакова Г.В.</b>	д.т.н., професор
<b>Русанов С.А.</b>	к.т.н., доцент
<b>Савін С.Ю.</b>	д.е.н., доцент
<b>Салєба Л.В.</b>	к.т.н., доцент
<b>Семешко О.Я.</b>	д.т.н., професор
<b>Сідельникова Л.П.</b>	д.е.н., професор
<b>Smolarz A. (Польща)</b>	dr.hab.inz.
<b>Стоянова О.В.</b>	к.т.н., доцент
<b>Топалова Е.Х.</b>	к.держ.упр., доцент
<b>Філіппова В.Д.</b>	д.держ.упр., професор
<b>Хрущ Н.А.</b>	д.е.н., професор
<b>Чепелюк О.В.</b>	д.т.н., професор
<b>Шандова Н.В.</b>	д.е.н., професор
<b>Шарко О.В.</b>	д.т.н., професор
<b>Шарко М.В.</b>	д.е.н., професор
<b>Шевченко І.І.</b>	д.т.н., професор

**ISSN 2078-4481**

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
KHERSON NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY**

**VISNYK**

**OF KHERSON NATIONAL  
TECHNICAL UNIVERSITY**

**4(91)**

Recommended for publication by the Academic Council  
of Kherson National Technical University  
(Minutes № 5 on 27th December 2024)

---

The journal is included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine Category “B”  
in economics, special. – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 242  
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 17.03.2020, № 409),  
281 (Ukraine Education and Science Ministry Order dated 29.06.2021, № 735);  
and technical sciences, special. – 121, 122, 123, 125, 126, 131, 132, 133, 151, 274, 275  
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 02.07.2020, № 886)  
and special. 141, 161, 182  
(Ukraine Education and Science Ministry Order dated 24.09.2020, № 1188)  
The journal is included in the scientometric bases, electronic libraries and repositories:  
Google Scholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)



Publishing House  
“Helvetica”  
2024

## Editorial Board

### Editor-in-Chief

Litvinenko V.I.  
Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Informatics and Computer Science, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine

### Deputy Editor-in-Chief

Saribekova Yu.G.  
Doctor of Engineering Science, Professor, Vice-Rector for Scientific Work and International Relations

Sherstiuk V.H.  
DSc (Engineering), Professor, Vice-Rector for Academic Affairs

### Executive Secretary

Lurie I.Yu.  
PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Educational and Methodical Department, Associate Professor of the Department of Informatics and Computer Sciences

### Members of Editorial Board

<b>Baganov Ye.O.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Berezovsky Yu.V.</b>	Doctor of Engineering Science, Associate Professor
<b>Boiko H.A.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Voronenko M.O.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Honchar O.I.</b>	Doctor of Economic Sciences, Professor
<b>Horbachov P.F.</b>	Doctor of Economics, Professor
<b>Dimitrova V.Ya. (Bulgaria)</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Dzhereliuk Yu.A.</b>	Doctor of Economics, Professor
<b>Yevtushenko V.V.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Zharikova M.V.</b>	Doctor of Engineering Science, Professor
<b>Zubkova K.V.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Korchevska L.A.</b>	Doctor of Economics, Professor
<b>Kuzmina T.O.</b>	Doctor of Technical Sciences, Professor
<b>Kunyk O.N.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Lubianyi P.V.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Naumov O.B.</b>	Doctor of Economics, Professor
<b>Oliinyk N.M.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Pliushch R.M.</b>	Doctor of Sciences in Public Administration, Professor
<b>Polovtsev O.V.</b>	Doctor of Sciences in Public Administration, Professor
<b>Rudakova H.V.</b>	Doctor of Engineering Science, Professor
<b>Rusanov S.A.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Savin S.Yu.</b>	Doctor of Economics, Associate Professor
<b>Saleba L.V.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Semeshko O.Ya.</b>	Doctor of Engineering Science, Professor
<b>Sidelnykova L.P.</b>	Doctor of Economics, Professor
<b>Smolarz A. (Poland)</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Stoianova O.V.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Topalova E.K.</b>	Ph.D., Associate Professor
<b>Filippova V.D.</b>	Doctor of Science in Public Administration, Professor
<b>Khrushch N.A.</b>	Doctor of Economics, Professor
<b>Chepeliuk O.V.</b>	Doctor of Technical Sciences, Professor
<b>Shandova N.V.</b>	Doctor of Economics, Professor
<b>Sharko M.V.</b>	Doctor of Economics, Professor
<b>Sharko O.V.</b>	Doctor of Engineering Science, Professor
<b>Shevchenko I.I.</b>	Doctor of Technical Sciences, Professor

## ЗМІСТ

## ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

<b>І. Б. Азарова, Т. М. Безверхнюк.</b> Застосування генеративних моделей штучного інтелекту в практиці проектного управління.....	11
<b>С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова, І. М. Соловей.</b> Удосконалення інкубаційного процесу шляхом автоматичного контролю та регулювання мікрокліматичних параметрів.....	18
<b>А. В. Захаров.</b> Прогнозування зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки під час їх відновлення методом електрошлакового наплавлення.....	24
<b>Є. І. Калінін, В. М. Колодненко, Н. М. Мельник.</b> Синтез теорії руху твердих тіл для відмовостійкої ідентифікації їх параметрів заповнених сипучими речовинами.....	33
<b>А. О. Келемеш, О. А. Бурлака, С. В. Ляшенко, В. В. Лавренко.</b> Дослідження впливу пластичного деформування на зносостійкість бронзових втулок в автомобільних двигунах.....	42
<b>I. V. Kovinchuk, G. Lazzara, A. V. Ragulya, M. M. Kržmanc, G. V. Sokolsky.</b> Evaluation of nanoparticles' size characteristics of manganese oxide/hydroxide based photocatalysts .....	52
<b>В. І. Копилов, О. А. Кузін, М. О. Кузін, І. А. Селіверстов, В. М. Лазорик.</b> Характер розсіювання енергії пружних коливань при дослідженнях внутрішнього тертя плазмових багатофазових покриттів в залежності від їхньої мікроструктури.....	60
<b>В. О. Кравець, О. М. Кравець, В. К. Фролов, С. В. Лапковський, М. М. Гладський, Л. М. Данилова.</b> Використання морфологічних методів при проектуванні захватних пристроїв.....	70
<b>S. I. Kuznietsov, O. O. Venher, V. M. Bezpalchenko, O. O. Semchenko, V. O. Chaban.</b> Oxidation of nitrogen oxides in the presence of low-temperature catalysts.....	76
<b>В. В. Курак, О. В. Андропова, І. Ф. Погребняк.</b> Оцінка вироблення енергії фасадними фотоелектричними системами в кліматичних умовах м. Херсон.....	85
<b>Л. І. Мельник, О. М. Шнирук, Ю. С. Янчук.</b> Полімерні композити з червоним шламом: структура та властивості.....	91
<b>Л. М. Петров, І. В. Кішнян, О. В. Лисий, С. М. Верпівський, О. А. Малиновський, В. А. Нікішин, С. В. Шелухін.</b> Теоретичні можливості по підвищенню параметрів руху автомобіля з накопичувачем потенційної енергії в осередку контакту колісного рушія з опорною поверхнею.....	98
<b>Б. І. Приймак, М. М. Желінський, М. Я. Островерхов, О. М. Халімовський.</b> Параметрично робастний нейромережний оцінювач положення електрода в автоматичному та роботизованому зварюванні з коливаннями дуги.....	108
<b>І. В. Прохоренко, Н. А. Тимошенко, Н. П. Соколова, Т. А. Мазур.</b> Самовідновлення керуєальності літака, що отримало пошкодження зовнішніх обводів у польоті на основі інформації про їх температурний стан.....	116
<b>С. О. Семенов, Д. Ю. Андрієнко.</b> Аналіз засобів контролю та управління якістю перевезень вантажів автомобільним транспортом.....	125
<b>С. О. Семенов, А. В. Сарахман.</b> Аналіз впливу кліматичних умов на ефективність роботи та рівень викидів рефрижераторних установок великотоннажного транспорту.....	134
<b>О. О. Соларьов, О. Ю. Савойський, Н. М. Мельник.</b> Дослідження впливу розміщення вантажу у кузові на стійкість та навантаження на осі вантажного транспортного засобу.....	140
<b>В. О. Строева, О. С. Тарасюк.</b> Дослідження проблем оптимізації технічних задач проектування.....	146
<b>О. І. Тесленко, К. В. Таранець.</b> Вплив низьковуглецевої технологічної трансформації чорної металургії на споживання електроенергії.....	153
<b>Yu. M. Fedenko, D. V. Didenko.</b> Review of methods of wastewater treatment from compounds of different nature and genesis. Environmental aspects.....	160
<b>О. М. Фролов, С. Р. Селіверстова.</b> Технологія виготовлення варикапів з використанням методів само-суміщення технологічних шарів.....	166
<b>К. Є. Хавікова, А. І. Трикіло, С. С. Головань, В. О. Шкода.</b> Отримання математичної моделі та рівнянь множинної регресії процесу знешкодження фенольмісних стоків.....	173
<b>В. В. Шевчук, В. В. Кучанський, Ю. І. Тугай, І. Ю. Тугай, Л. Р. Сабарно.</b> Тестування електрообладнання на несприйнятливність до провалів напруги, короточасних переривань та змін напруги.....	180

## ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<b>М. П. Артеменко, О. В. Чепелюк.</b> Технологічні аспекти біофільного дизайну в модній індустрії.....	186
<b>Т. С. Асаулюк, І. М. Куліш, Ю. Г. Сарібєкова, О. Я. Семешко, І. В. Горохов.</b> Дослідження взаємодії β-циклодекстрину із зшиваючими агентами різної функціональності.....	194
<b>Г. А. Бойко, Т. М. Головенко, Ю. О. Максимченко, Є. О. Случинський.</b> Формування властивостей волокон технічних конопель, придатних для виготовлення текстильного взуття.....	202
<b>В. В. Євтушенко.</b> Ідентифікація та фальсифікація рисових круп, які реалізуються у роздрібній торговельній мережі.....	213
<b>М. Л. Рябчиков, В. В. Мица.</b> Модель комплексної цифровізації в індустрії моди.....	217

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<b>С. В. Бункус, О. Є. Огнєва.</b> Дослідження методів моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій.....	226
<b>Г. В. Веселовська, О. І. Ястребова, Д. В. Яценко, М. М. Кучмійчук.</b> Дослідження еволюції концепцій здійснення інформаційних технологій комп'ютерно-орієнтованого навчання в Україні, з урахуванням дистанційних підходів.....	236
<b>В. В. Вінниченко.</b> Підходи машинного навчання для інтерпретації візуальних даних в умовах невизначеності.....	245
<b>М. О. Волк, В. Р. Хорошилов.</b> Методи взаємодії модулів платформи віддаленого виклику процедур GRPC.....	252
<b>Ю. О. Вьюник, М. В. Стежко.</b> Інтеграція бездротових локальних мереж підприємства та хмарних сервісів для оптимізації адміністрування інформаційної інфраструктури.....	258
<b>С. С. Гурковська, Д. Ю. Міхєєнко.</b> Автоматизована побудова 2D-креслень з 3D-моделей із використанням інструментів комп'ютерної графіки.....	267
<b>О. В. Іванчук.</b> Дослідження методів оптимізації енерговитрат у протоколах інтернету речей.....	273
<b>А. А. Клепцов, В. А. Гусєва-Божаткіна.</b> Розробка апаратно-програмного комплексу з використання штучного інтелекту для калібрування датчику газу MQ-2.....	280
<b>Н. О. Козуб, О. С. Корнієнко.</b> Сучасні IT-рішення для інвестиційних портфельів: локалізація для України.....	286
<b>О. С. Комісаров, В. А. Хохлов.</b> Оптимізація протоколу MQTT для підвищення продуктивності IoT-систем.....	291
<b>М. М. Котенко, Т. А. Вакалюк.</b> Впровадження мікросервісної архітектури: технічні виклики та рішення.....	299
<b>В. О. Кромкач.</b> Ідентифікація об'єктів статичних зорових сцен: новий підхід.....	306
<b>О. В. Мазурець, І. А. Тимофієв, В. І. Кліменко, О. О. Тищенко.</b> Метод виявлення депресивного стану пов'язаного із навчанням у закладах освіти із використанням нейромережі дуальної архітектури.....	311
<b>М. О. Молчанова.</b> Виявлення та класифікація технік і об'єктів пропаганди в текстових повідомленнях засобами машинного навчання.....	319
<b>П. І. Сагайда, О. А. Костіков, С. К. Добряк.</b> Метод застосування агентів штучного інтелекту в багатоагентній системі для автоматизації процесів інтелектуального аналізу даних.....	325
<b>М. В. Сидорук, А. А. Григорова.</b> Концепція управління ризиком в IT-проектах.....	333
<b>О. В. Собко.</b> Метод нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості.....	342
<b>О. Г. Трофименко, Ю. Г. Лобода, В. І. Гура, А. І. Дика, М. І. Стрілець.</b> Інструменти штучного інтелекту для системного аналізу.....	349
<b>V. O. Kholiev, O. Yu. Barkovska.</b> Modification of the method of large text sets clustering.....	358
<b>С. М. Шевченко, Ю. Д. Жданова, О. С. Данилюк.</b> Аналіз та дослідження характеристик алгоритмів у рекомендаційних системах.....	367

## УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

<b>О. М. Єремян.</b> Трансфертне ціноутворення як інструмент оптимізації оподаткування транснаціональних компаній.....	377
--	-----

<b>О. П. Зубаль.</b> Теоретико-методичні підходи до вдосконалення та реорганізації систем управління населеним пунктом задля ефективного післявоєнного відновлення.....	383
<b>О. В. Кокорєва.</b> Інноваційні підходи до мотивації праці працівників у медичних установах.....	388
<b>Л. П. Сідельникова, В. В. Зосимчук.</b> Фіскальні ефекти системи місцевого оподаткування Херсонської області в умовах воєнного стану.....	394

## ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

<b>Д. В. Василенко.</b> Розвиток інформаційно-аналітичного забезпечення підтримки рішень органів публічного управління в умовах надзвичайних ситуацій.....	401
<b>Л. П. Горбата.</b> Використання відкритих даних в умовах сталого розвитку територіальних громад.....	407
<b>В. О. Євсєєв.</b> Нормативно-правове забезпечення публічного управління у сфері захисту критичної інфраструктури: еволюційний аспект.....	413
<b>О. Ю. Кравчук.</b> Порівняльний аналіз використання штучного інтелекту в публічному управлінні в США та Китаї.....	419
<b>І. В. Кудрявський.</b> Стратегії захисту від нападу з активним застосуванням дій в інформаційному просторі....	423
<b>О. В. Половцев.</b> Організація повоєнного відновлення України: оцінка моделей державної політики щодо деокупованих територій.....	432
<b>В. Д. Філіппова.</b> Стратегічний механізм забезпечення національної безпеки.....	437
<b>Н. В. Шандова, Н. В. Мешкова-Кравченко, О. І. Дорогань.</b> Оцінка рентабельності підприємства.....	444
<b>Л. М. Щеховська.</b> Імплементация поведінкового підходу в публічному управлінні України в умовах воєнного стану: виклики та можливості.....	452

## СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

<b>Г. Д. Берегова.</b> Філософія психології як поведінкова наука та навчальна дисципліна.....	458
<b>О. Ю. Жукова.</b> Вплив глобалізаційних процесів у світовій економіці на промислову діяльність.....	463

**CONTENTS**

**ENGINEERING SCIENCES**

**I. B. Azarova, T. M. Bezverkhniuk.** Application of generative artificial intelligence models in project management practice.....11

**S. V. Haidukevych, N. P. Semenova, I. M. Solovei.** Improvement of the incubation process through automatic control and regulation of microclimate parameters.....18

**A. V. Zakharov.** Prediction of wear resistance of working bodies of tillage equipment during their restoration by electroslag surfacing.....24

**E. I. Kalinin, V. M. Kolodnenko, N. M. Melnyk.** Synthesis of the theory of motion of solid bodies for fault-tolerant identification of their parameters filled with loose substances.....33

**A. O. Kelemesh, O. A. Burlaka, S. V. Liashenko, V. V. Lavrenko.** Research on the influence of plastic deformation on the wear resistance of bronze bushings in automotive engines.....42

**I. V. Kovinchuk, G. Lazzara, A. V. Ragulya, M. M. Kržmanc, G. V. Sokolsky.** Evaluation of nanoparticles' size characteristics of manganese oxide/hydroxide based photocatalysts .....52

**V. I. Kopylov, O. A. Kuzin, M. O. Kuzin, I. A. Seliverstov, V. M. Lazoryk.** The character of energy dissipation of elastic oscillations during internal friction studies of plasma multiphase coatings depending on their microstructure.....60

**V. O. Kravets, O. M. Kravets, V. K. Frolov, S. V. Lapkovsky, M. M. Gladyskiy, L. M. Danylova.** Using the morphological methods in grippers design.....70

**S. I. Kuznietsov, O. O. Venher, V. M. Bezpalchenko, O. O. Semchenko, V. O. Chaban.** Oxidation of nitrogen oxides in the presence of low-temperature catalysts.....76

**V. V. Kurak, O. V. Andronova, I. F. Pogrebniak.** Evaluation of the facade photoelectric systems energy production in the climate conditions of Kherson.....85

**L. I. Melnyk, O. M. Shnyruk, Yu. S. Yanchuk.** Polymer composites using red mud: structure and properties.....91

**L. M. Petrov, I. V. Kishianus, O. V. Lysyi, S. M. Verpivskiy, O. A. Malinovskiy, V. A. Nikishyn, S. V. Sheluhin.** Heoretical possibilities for increasing the parameters of motion of a car with a potential energy accumulator in the contact center of the wheel drive with the supporting surface.....98

**B. I. Pryymak, M. M. Zhelinskyi, M. Ya. Ostroverkhov, O. M. Khalimovskyy.** Parametrically robust neural network estimator of electrode position in automatic and robotic welding with arc oscillations.....108

**I. V. Prokhorenko, N. A. Tymoshenko, N. P. Sokolova, T. A. Masuria.** Self-upgrading of litak's keruvality, which removed the defense of the external circulations of polyoti based on information about their temperature station.....116

**S. O. Semenov, D. Yu. Andriienko.** Analysis the means of controlling and managing the quality of cargo carriage by road transport.....125

**S. O. Semenov, A. V. Sarakhman.** Analysis of the influence of climatic conditions on the operating efficiency and emission values of refrigeration units in large-capacity transport.....134

**O. O. Solarov, O. Yu. Savoiskyi, N. M. Melnyk.** Research on the influence of cargo arrangement in the body on the stability and load on the axles of a cargo vehicle.....140

**V. O. Stroieva, O. S. Tarasiuk.** Study of technical design optimization problems.....146

**O. I. Teslenko, K. V. Taranets.** Impact of low-carbon technological transformation of ferrous metallurgy on electricity consumption.....153

**Yu. M. Fedenko, D. V. Didenko.** Review of methods of wastewater treatment from compounds of different nature and genesis. Environmental aspects.....160

**A. N. Frolov, S. R. Seliverstova.** Technology of manufacturing varicaps using methods of self-combination of technological layers.....166

**K. Ye. Khavikova, A. I. Trukilo, S. S. Golovan, V. O. Skoda.** Obtaining the mathematical model and multiple regression equations of the neutralization process of phenol-containing wastewater.....173

**V. V. Shevchuk, V. V. Kuchansky, Yu. I. Tugay, I. Yu. Tugay, L. R. Sabarno.** Testing electrical equipment for immunity to voltage falls, short-term interruptions and voltage changes.....180



## THE TECHNOLOGY OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY

<b>M. P. Artemenko, O. V. Chepelyuk.</b> Technological aspects of biophilic design in the fashion industry.....	186
<b>T. S. Asauliyuk, I. M. Kulish, Yu. G. Saribyeikova, O. Ya. Semeshko, I. V. Horokhov.</b> Study of the interaction of $\beta$ -cyclodextrin with cross-linking agents of different functionality.....	194
<b>G. A. Boyko, T. M. Golovenko, Yu. O. Maksymchenko, E. O. Sluchynsky.</b> Formation of properties of technical hemp fibers suitable for manufacturing textile footwear.....	202
<b>V. V. Yevtushenko.</b> Identification and counterfeitation of rice grains sold in the retail trade network.....	213
<b>M. L. Riabchykov, V. V. Mytsa.</b> A model of comprehensive digitalisation in the fashion industry.....	217

## INFORMATION TECHNOLOGIES

<b>S. V. Bunkus, O. Ye. Ohnieva.</b> Research on methods of modeling evacuation scenarios in emergency situations.....	226
<b>G. V. Veselovskaya, O. I. Yastrebova, D. V. Iatsenko, M. M. Kuchmiichuk.</b> The research in the evolution of conceptions for the implementation of information technologies for the computer-aided training in Ukraine, taking into account distance approaches.....	236
<b>V. V. Vinnychenko.</b> Machine learning approaches for interpreting visual data under conditions of uncertainty.....	245
<b>M. O. Volk, V. R. Horoshylov.</b> Methods of module interaction in the grpc remote procedure call platform.....	252
<b>Yu. O. Viunnik, M. V. Stezhko.</b> Integration of wireless local networks of the enterprise and cloud services for optimization of information infrastructure administration.....	258
<b>S. S. Hurkovska, D. Yu. Mikhieienko.</b> Automatic construction of 2D-drawings from 3D-models using computer graphics tools.....	267
<b>O. I. Ivanchuk.</b> Study of methods of optimizing energy consumption in internet of things protocols.....	273
<b>A. A. Kliptsov, V. A. Guseva-Bozhatkina.</b> Development of a hardware-software system using artificial intelligence for calibration of the MQ-2 gas sensor.....	280
<b>H. O. Kozub, O. S. Korniienko.</b> Modern IT solutions for investment portfolios: localization for Ukraine.....	286
<b>O. S. Komisarov, V. A. Khokhlov.</b> MQTT protocol optimization for iot systems performance improvement.....	291
<b>M. M. Kotenko, T. A. Vakaliuk.</b> Implementing microservices architecture: technical challenges and solutions.....	299
<b>V. O. Kromkach.</b> The role of computer vision in the modern world: achievements, challenges and prospects.....	306
<b>O. V. Mazurets, I. A. Tymofiev, V. I. Klimenko, O. O. Tyschenko.</b> Method for determining depressive states associated with learning in educational institutions using dual architecture neural network.....	311
<b>M. O. Molchanova.</b> Detection and classification of propaganda techniques and objects in text messages using machine learning.....	319
<b>P. I. Sahaida, O. A. Kostikov, S. K. Dobriak.</b> Method of using artificial intelligence agents in a multi-agent system for automation of intelligent data analysis processes.....	325
<b>M. V. Sydoruk, A. A. Hryhorova.</b> Concept of risk management in IT projects.....	333
<b>O. V. Sobko.</b> Method of neural network formation of representative non-discriminatory text datasets according to the FATE principle of justice.....	342
<b>O. G. Trofymenko, Yu. G. Loboda, V. I. Hura, A. I. Dyka, M. I. Strilets.</b> Artificial intelligence tools for systems analysis.....	349
<b>V. O. Kholiev, O. Yu. Barkovska.</b> Modification of the method of large text sets clustering.....	358
<b>S. M. Shevchenko, Yu. D. Zhdanova, O. S. Danyiuk.</b> Analysis and research of characteristics of algorithms in recommender systems.....	367

## MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

<b>O. M. Yeremian.</b> Transfer pricing as a tool for for optimizing the taxation of multinational companies.....	377
<b>O. P. Zubal.</b> Theoretical and methodological approaches to improvement and reorganization of human settlement management systems for effective post-war reconstruction.....	383
<b>O. V. Kokorieva.</b> Innovative approaches to employee motivation in medical institutions.....	388

**L. P. Sidelnikova, V. V. Zosymchuk.** Fiscal effects of the local taxation system in Kherson region under martial law.....394

## **PUBLIC MANAGEMENT AND ADMINISTRATION**

**D. V. Vasylenko.** Development of information and analytical support for decision-making by public administration bodies in emergency situations..... 401

**L. P. Horbata.** Use of open data in the conditions of sustainable development of territorial communities.....407

**V. O. Yevsieiev.** Regulatory and legal provision of public administration in the field of critical infrastructure protection: an evolutionary aspect.....413

**O. Yu. Kravchuk.** Comparative analysis of the use of artificial intelligence in public administration in the USA and China..... 419

**I. V. Kudriavsky.** Strategies for defense against attack with active use of actions in the information space.....423

**O. V. Polovtsev.** Organization for post-war reconstruction of Ukraine: assessment of state policy models regarding deoccupied territories..... 432

**V. D. Filippova.** Strategic mechanism for ensuring national security..... 437

**N. V. Shandova, N. V. Mieshkova-Kravchenko, O. I. Dorohan.** Evaluation of the profitability of the enterprise...444

**L. M. Shchekhovska.** Implementation of the behavioral approach in the public administration of Ukraine under the conditions of marital state: challenges and opportunities.....452

## **SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES**

**H. D. Berehova.** Philosophy of psychology as a science of behavior and an academic discipline.....458

**O. Yu. Zhukova.** Impact of globalization processes in the world economy on industrial activity.....463

## ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 004.8:005.8

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.1>

І. Б. АЗАРОВА

доктор технічних наук,  
доцент кафедри національної безпеки  
та управління суспільним розвитком  
Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку  
ORCID: 0000-0002-9332-5124

Т. М. БЕЗВЕРХНЮК

доктор наук з державного управління, професор,  
завідувач кафедри національної безпеки  
та управління суспільним розвитком  
Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку  
ORCID: 0000-0002-2567-8729

## ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНИХ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРАКТИЦІ ПРОЄКТНОГО УПРАВЛІННЯ

У статті розглядається актуальність застосування генеративних моделей штучного інтелекту (ШІ) у практиці проєктного управління в сучасних умовах. Аналізуються основні напрями використання ШІ, що включають автоматизацію рутинних процесів та прогнозування ризиків. Приділено також увагу аналізу видів технологій ШІ, що вже використовуються в управлінні проєктами, зокрема інструментів на основі генеративних моделей, платформ машинного навчання та спеціалізованих систем управління. У дослідженні використано результати опитування спеціалістів з проєктного менеджменту, які представляють ІТ-компанії Європи та мають досвід роботи від 3 до 5 років, що свідчить про їхню професійність та здатність об'єктивно оцінювати вплив ШІ на процеси управління проєктами. Переважна більшість цих фахівців використовує технології ШІ для оптимізації процесів, підвищення ефективності та мінімізації людських помилок. Серед позитивних результатів впровадження ШІ в управління проєктами було відзначено покращення точності прогнозів, економію часу за рахунок автоматизації завдань та посилення конкурентоспроможності компанії. Водночас деякі респонденти відзначили виклики, пов'язані із впровадженням інновацій, такі як необхідність адаптації працівників до нових інструментів та інтеграція ШІ в існуючі бізнес-процеси. Не зважаючи на це, більшість опитаних спеціалістів планують продовжувати інтеграцію технологій ШІ, вбачаючи в цьому значний потенціал для оптимізації процесів, покращення комунікації в командах і зменшення витрат. У статті також акцентується увага на необхідності подальших наукових досліджень у цьому напрямі для формування доказової бази щодо ефективності ШІ у сфері управління проєктами. Дослідження актуальне для науковців, практиків та всіх, хто зацікавлений у впровадженні інноваційних технологій у бізнес-процеси.

**Ключові слова:** штучний інтелект, управління проєктами, проєктний менеджмент, автоматизація процесів, прогнозування ризиків, оптимізація ресурсів.

I. B. AZAROVA

Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of National Security  
and Social Development Management  
State University of Intellectual Technologies and Communication  
ORCID: 0000-0002-9332-5124

T. M. BEZVERKHNIUK

Doctor of Science in Public Administration, Professor,  
Head of the Department of National Security  
and Social Development Management  
State University of Intellectual Technologies and Communication  
ORCID: 0000-0002-2567-8729

## APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS IN PROJECT MANAGEMENT PRACTICE

*The rapid pace of technological development, particularly in artificial intelligence (AI), is transforming project management practices across industries. This article explores the use of AI technologies in project management based on a study conducted among IT professionals working in European software development companies with Ukrainian connections. A survey of 23 specialists revealed valuable insights into the current and potential applications of AI in their workflows. The study highlights that AI is primarily used for automating routine tasks such as scheduling, resource allocation, and monitoring. Tools like ChatGPT, DALL-E, and Jira-integrated AI plugins are widely employed, while specialized platforms like PMI Infinity and MS Project Cortex remain underutilized in the IT sector. Respondents also acknowledged AI's role in risk forecasting, data analysis, and enhancing decision-making processes. Most respondents reported that AI has significantly improved their efficiency by saving time, reducing human errors, and enabling better focus on strategic aspects like team development and stakeholder communication. However, the integration of AI is not without challenges, such as employee adaptation and the alignment of AI tools with existing processes. Despite these hurdles, 91% of respondents expressed intentions to further integrate AI into their project management practices, citing its potential for optimizing workflows, improving forecasts, and enhancing cross-team collaboration. The findings emphasize the transformative potential of AI and underline the necessity of continuous adaptation to leverage its benefits fully. This research contributes to the ongoing discussion on AI's role in project management, providing a foundation for future studies and practical implementations in the field.*

**Key words:** artificial intelligence, project management, project management practice, process automation, risk forecasting, resource optimization.

### Постановка проблеми

У сучасних умовах управління проектами та програмами стикається з безпрецедентною швидкістю змін оточення та умов реалізації проектів у різних галузях. Інформація, накопичена з досвіду реалізації попередніх проектів, все частіше втрачає свою актуальність через мінливість бізнесового оточення та тривалість процесів обробки і аналізу величезних обсягів інформації. Однак розвиток інформаційних технологій відкриває перед проектним керуванням нові горизонти. Він дозволяє не лише покращити використання перевірених методів та моделей, а й впроваджувати інноваційні підходи. Одним із таких підходів є використання технологій генеративного штучного інтелекту в проектному менеджменті.

За визначенням словника Асоціації управління проектами, штучний інтелект в проектному менеджменті (далі – ШІ) – це технологія, що дозволяє консультувати або навіть приймати рішення щодо проектів [1]. Проте, як свідчить досвід дослідження практичних кейсів використання технологій ШІ в сфері менеджменту проектів, напрямки використання цих технологій значно ширше. А отже, ці напрямки потребують більш детального вивчення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Застосування технологій ШІ в умовах жорсткої конкуренції та стислих термінів надає можливість справлятися зі зростаючою складністю проектів, оперативно адаптуватися до змін та ефективно керувати обмеженими ресурсами. Технології ШІ дозволяють: автоматизувати рутинні процеси; прогнозувати ризики, розклад та бюджети проектів з урахуванням аналізу великих обсягів даних; оптимізувати використання ресурсів, мінімізуючи витрати та збільшуючи продуктивність; приймати більш точні та обґрунтовані рішення на всіх етапах реалізації проектів. Це сприяє посиленню контролю над процесами та збільшенню ймовірності успішного завершення проектів [2].

Дослідження Gartner [3] показує, що до 2030 року 80% завдань управління проектами будуть виконуватися за допомогою ШІ, який працює на основі великих даних, машинного навчання та обробки природної мови.

Деякі фахівці навіть наголошують [4], що технології ШІ незабаром можуть істотно змінити навіть саму професію керівника проектів, переміщуючи на себе функції вибору та пріоритетизації проектів, відстеження прогресу, формування звітності та обігу інформації. Керівники проектів, яким допомагатимуть віртуальні помічники на основі штучного інтелекту, зможуть більше зосереджуватись на комунікаціях, коучингу та управлінні зацікавленими сторонами, ніж на адмініструванні та ручних завданнях.

Однак, впровадження ШІ в практику проектного управління створює багато викликів та ускладнень, що пов'язані як із недосконалістю цього інструменту, так і з «людським фактором» – ретроградним мисленням людей та опором інноваціям, упередженням щодо штучного інтелекту та його небезпеки для людства та ін. Саме тому питання пошуку оптимальних напрямів впровадження систем ШІ у практику проектного управління та формування доказової бази щодо безперечної користі цих новітніх інструментів – стають актуальними темами для наукових пошуків.

### Формулювання мети дослідження

Цю публікацію присвячено дослідженню досвіду застосування технологій ШІ в практиці проектного управління, та оцінці отримуваних результатів їх впровадження.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Для вивчення актуальних аспектів використання ШІ у сфері управління проектами, автори дослідження провели опитування методом індивідуальних дослідницьких структурованих інтерв'ю [5] для керівників проектів ІТ-компаній, які працюють у сфері розробки програмного забезпечення в Європі та мають українське походження засновників компанії та/або співробітників.

На базі опрацьованих матеріалів останніх наукових досліджень [6,7], навчальних курсів [8,9,10] та тематичних фахових публікацій [11,12], авторами було розроблено перелік запитань та варіантів відповідей на них. Учасникам опитування було поставлено наступні питання:

1. Для вирішення яких завдань управління проектами Ви використовуєте технології ШІ?
2. Які саме технології ШІ Ви застосовуєте в управлінні проектами?
3. Коли Ваша компанія почала використовувати технології ШІ в управлінні проектами?
4. Хто виступив ініціатором впровадження технологій ШІ в проектному менеджменті в Вашій компанії?
5. Які результати використання ШІ в управлінні проектами були Вами відмічені у Вашій роботі?
6. Чи плануєте Ви продовжувати інтеграцію технологій ШІ в проектне управління?

Зважаючи на те, що більшість ІТ компаній за кордоном підписують з працівниками згоду про нерозголошення комерційних даних щодо діяльності компанії, респонденти погодилися прийняти участь в опитуванні анонімно.

Загалом в опитуванні взяли участь 23 фахівці, з яких більшість респондентів була представлена проектними менеджерами (рис. 1).



**Рис. 1. Фах та фаховий досвід респондентів опитування**

Основна частина респондентів (69%) зазначила, що має стаж роботи від 3 до 5 років у своїй поточній ролі, що дозволяє вважати їхній досвід в управлінні проектами значущим для цього дослідження (рис. 1б).

Отримані відповіді було систематизовано у наступні тези.

**1. Завдання з управління проектами, вирішувані за допомогою ШІ**

Більшість респондентів відзначили, що використовують ШІ для автоматизації рутинних завдань, таких як складання графіків, розподіл ресурсів та моніторинг виконання завдань (рис. 2).



**Рис. 2. Сфери використання респондентами технологій ШІ в управлінні проектами**

Майже половині респондентів технології ШІ допомагають у прогнозуванні ризиків та аналізі можливих відхилень від плану. Третина фахівців також згадали застосування ШІ як інтерактивної бази проєктних знань. Один із респондентів наголосив: «ШІ суттєво спростив нашу роботу з прогнозуванням термінів і бюджетів, тому що ми тепер можемо оперативно враховувати безліч змінних, які раніше ігнорувалися».

## 2. Види використовуваних технологій ШІ

Найбільш популярними технологіями виявилися інструменти ШІ генератори тесту, програмного коду та зображень, подібні до ChatGPT, DALL-E (рис. 3). Незначне відставання від цих сервісів мають сервіси для нотування зустрічей, перекладу, підготовки презентацій, такі як Fathom чи Notetaker, що автоматизують розробку протоколів та формування переліку завдань за наданими аудіо чи відео записами зустрічі. Трійку лідерів замикають сервіси на базі машинного навчання для аналізу великих даних, такі як інтегровані в Atlassian Jira ШІ-плагіни та спеціалізовані платформи.

Досить несподіваним результатом дослідження виявився низький рівень використання в керівництві проектами спеціалізованих систем ШІ типу PMI Infinity та MS Project Cortex.

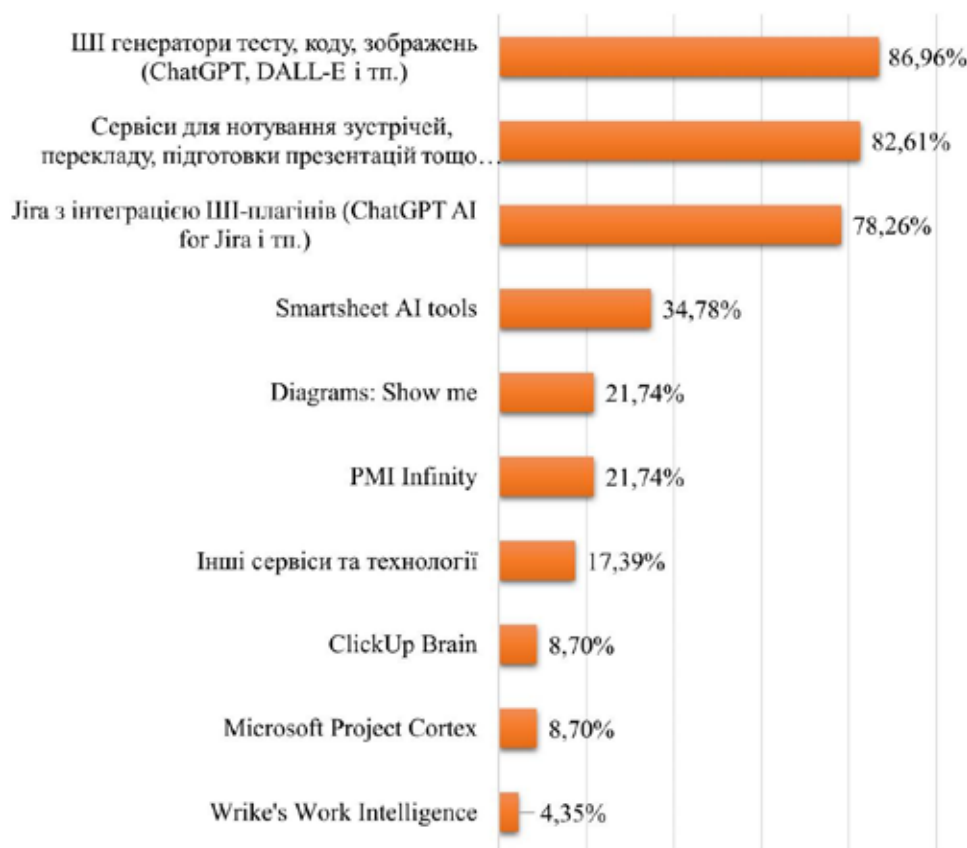


Рис. 3. Види використовуваних респондентами технологій ШІ

На думку авторів дослідження, це пов'язано саме з ІТ галуззю, фахівці якої виступали респондентами опитування. В ІТ галузі подібні платформи мають традиційно менший рівень популярності. Однак, автори сподіваються, що потенціал використання в ІТ проектах цих платформ та інструментів величезний, і згодом його вдасться реалізувати.

## 3. Тривалість використання технологій ШІ респондентами для здійснення функцій управління проектами

Майже половина респондентів повідомили, що почали використовувати ШІ в управлінні проектами останні два роки. Тоді як 22% впровадили такі технології більше трьох років тому, що виявилось досить несподіваним результатом для авторів дослідження (рис. 4а).

Третина респондентів тільки розпочала застосовувати технології ШІ в своїй роботі. Але, не зважаючи на незначний термін використання технологій ШІ, ці респонденти також підкреслювали вражаючі результати їх імплементації.

## 4. Ініціатор впровадження ШІ технологій

Запровадження технологій ШІ у практику проектного управління переймалися переважно самі керівники проектів та програм (рис. 4б).

Однак, у 17% випадків такими драйверами змін виступало керівництво компанії, яке приймало таке рішення переважно за результатами аналізу конкурентів, що вже впровадили в себе такі технології.



Рис. 4. Тривалість використання технологій ШІ

### 5. Результати використання ШІ в управлінні проектами

Респонденти виділили такі ключові переваги: збільшення точності прогнозування термінів та витрат; зниження кількості людських помилок при плануванні та моніторингу; економія часу за рахунок автоматизації завдань, що дозволило керівникам проектів зосередитися на стратегічних аспектах роботи (рис. 5).

Один із респондентів також зазначив: «ШІ не тільки допомагає економити час, але й робить нас конкурентоспроможнішими на ринку. Ми стали швидше адаптуватися до змін та оптимізувати процеси.»



Рис. 5. Результати впровадження технологій ШІ в практику проектного управління

Однак частина респондентів згадали труднощі з впровадженням ШІ, пов'язані з необхідністю адаптації співробітників та інтеграції технологій у існуючі процеси.

### 6. Подальша інтеграція технологій ШІ в практику управління проектами

Більшість респондентів (91%) висловили намір продовжувати впровадження технологій ШІ в практику управління проектами своєї компанії. Вони зазначили, що бачать значний потенціал ШІ в оптимізації процесів, підвищенні точності прогнозів та покращенні взаємодії команд. Серед майбутніх ініціатив виділяються впровадження більш розвинених аналітичних інструментів, автоматизація складних процесів планування та інтеграція ШІ у системи управління ресурсами.

Решта учасників зазначили, що поточних рішень на основі ШІ достатньо для задоволення їхніх потреб, і вони не бачать необхідності розширення функціоналу найближчим часом. Ці респонденти зосереджуються на отриманні максимальної ефективності від уже впроваджених інструментів.

### Висновки

Впровадження технологій штучного інтелекту у сферу проєктного менеджменту стає важливим кроком у підвищенні ефективності управління. Результати проведеного дослідження свідчать про те, що більшість фахівців, які працюють у галузі управління IT-проєктами, вже використовують інструменти ШІ для автоматизації рутинних завдань, прогнозування ризиків і бюджетів, а також оптимізації ресурсів. Основними перевагами таких технологій є скорочення часу на виконання завдань, зменшення кількості помилок та підвищення конкурентоспроможності компаній.

Попри те, що значна частина респондентів тільки почали впроваджувати ШІ у свої процеси, більшість з них планують розширювати використання ШІ у своїх компаніях, фокусуючись на вдосконаленні прогнозування, автоматизації складних процесів і підвищенні ефективності командної роботи.

Водночас слід враховувати певні виклики, пов'язані з адаптацією персоналу, інтеграцією нових технологій у наявні процеси та скептичним ставленням до інновацій. Проте, як показує досвід респондентів, правильна реалізація таких ініціатив значно підвищує їх успішність.

Таким чином, ШІ є перспективним інструментом для розвитку проєктного менеджменту. Його ефективність вже підтверджена на практиці, а потенціал ще повністю не розкритий. Що робить цей напрям одним із ключових для подальших досліджень і впроваджень в галузі проєктного менеджменту.

### Список використаної літератури

1. Association for project management. What is artificial intelligence in project management? 2024. URL: <https://www.apm.org.uk/resources/what-is-project-management/what-is-ai-in-project-management/> (дата звернення: 25.11.2024).
2. Institute Project Management. Artificial Intelligence in Project Management: Disruptions, Risks, Advantages, and Adaptation. 2023. URL: <https://instituteprojectmanagement.com/blog/artificial-intelligence-in-project-management-advantages-disruptions-and-adaptation/> (дата звернення: 25.11.2024).
3. Gartner. The Gartner 100+ Data, Analytics & AI Predictions Through 2030. 2024. URL: <https://www.gartner.com/en/webinar/659170/1467612> (дата звернення: 25.11.2024).
4. Кузяків О. Глибинні інтерв'ю як метод збору інформації: Матеріали тренінгу 1. 2020. URL: [http://fdialogue.ier.com.ua/wordpress/wp-content/uploads/2020/11/2020\\_InDepthInt\\_Training\\_1\\_OK.pdf](http://fdialogue.ier.com.ua/wordpress/wp-content/uploads/2020/11/2020_InDepthInt_Training_1_OK.pdf) (дата звернення: 25.11.2024).
5. Nieto-Rodriguez, A. & Vargas, R.V. How AI Will Transform Project Management. 2023. URL: <https://hbr.org/2023/02/how-ai-will-transform-project-management> (дата звернення: 25.11.2024).
6. Bharati, A. & Sandbrink, Ch. The Implementation of Artificial Intelligence in Project Management. REAL CORP 2024 Proceedings: Tagungsband, 15-17 April 2024. Pp. 627-636. URL: [https://corp.at/archive/CORP2024\\_78.pdf](https://corp.at/archive/CORP2024_78.pdf) (дата звернення: 25.11.2024).
7. Muthusubramanian, M. From Theory to Practice: Implementing AI Technologies in Project Management. International Journal For Multidisciplinary Research. 2024. 6(2). Pp. 1-11. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i02.15486>
8. Project Management Institute. AI Essentials for Project Professionals. A companion guide to incorporating AI in day-to-day project management. 2024. URL: <https://www.pmi.org/standards/ai-essentials-for-project-professionals> (дата звернення: 25.11.2024).
9. Project Management Institute. Generative AI Overview for Project Managers. 2024. URL: <https://www.pmi.org/shop/p/-elearning/generative-ai-overview-for-project-managers/el083> (дата звернення: 25.11.2024).
10. Project Management Institute. Data Landscape of GenAI for Project Managers. 2024. URL: <https://www.pmi.org/shop/p/-elearning/data-landscape-of-genai-for-project-managers/el106> (дата звернення: 25.11.2024).
11. Ferguson, S. AI in Project Management: 5 Great Examples. 2024. URL: <https://www.project.co/ai-in-project-management-examples/> (дата звернення: 25.11.2024).
12. Shalvardjiev, D. Using AI in Project Management: Key Applications and Benefits. 2024. URL: <https://www.toptal.com/project-managers/project-management-consultant/ai-project-management> (дата звернення: 25.11.2024).

### References

1. Association for project management (2024). What is artificial intelligence in project management? Available at: <https://www.apm.org.uk/resources/what-is-project-management/what-is-ai-in-project-management/> (accessed: 25.11.2024).
2. Institute Project Management (2023). Artificial Intelligence in Project Management: Disruptions, Risks, Advantages, and Adaptation. Available at: <https://instituteprojectmanagement.com/blog/artificial-intelligence-in-project-management-advantages-disruptions-and-adaptation/> (accessed: 25.11.2024).
3. Gartner (2024). The Gartner 100+ Data, Analytics & AI Predictions Through 2030. Available at: <https://www.gartner.com/en/webinar/659170/1467612> (accessed: 25.11.2024).



4. Nieto-Rodriguez, A. & Vargas, R.V. (2023). How AI Will Transform Project Management. Available at: <https://hbr.org/2023/02/how-ai-will-transform-project-management> (accessed: 25.11.2024).
5. Kuzyakiv O. (2020). In-depth interviews as a method of information collection: Training materials 1 [In-depth interviews as a method of information collection: Training materials 1]. URL: [http://tfdialogue.ier.com.ua/wordpress/wp-content/uploads/2020/11/2020\\_InDepthInt\\_Training\\_1\\_OK.pdf](http://tfdialogue.ier.com.ua/wordpress/wp-content/uploads/2020/11/2020_InDepthInt_Training_1_OK.pdf) (дата звернення: 25.11.2024). (in Ukrainian).
6. Bharati, A. & Sandbrink, Ch. (2024). The Implementation of Artificial Intelligence in Project Management. REAL CORP 2024 Proceedings: Tagungsband, 15-17 April 2024. Pp. 627-636. Available at: [https://corp.at/archive/CORP2024\\_78.pdf](https://corp.at/archive/CORP2024_78.pdf) (accessed: 25.11.2024).
7. Muthusubramanian, M. (2024). From Theory to Practice: Implementing AI Technologies in Project Management. International Journal For Multidisciplinary Research. 6(2). Pp. 1-11. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i02.15486>
8. Project Management Institute (2024). AI Essentials for Project Professionals. A companion guide to incorporating AI in day-to-day project management. Available at: <https://www.pmi.org/standards/ai-essentials-for-project-professionals> (accessed: 25.11.2024).
9. Project Management Institute (2024). Generative AI Overview for Project Managers. Available at: <https://www.pmi.org/shop/p/-elearning/generative-ai-overview-for-project-managers/el083> (accessed: 25.11.2024).
10. Project Management Institute (2024). Data Landscape of GenAI for Project Managers. Available at: <https://www.pmi.org/shop/p/-elearning/data-landscape-of-genai-for-project-managers/el106> (accessed: 25.11.2024).
11. Ferguson, S. (2024). AI in Project Management: 5 Great Examples. Available at: <https://www.project.co/ai-in-project-management-examples/> (accessed: 25.11.2024).
12. Shalvardjiev, D. (2024). Using AI in Project Management: Key Applications and Benefits. Available at: <https://www.toptal.com/project-managers/project-management-consultant/ai-project-management> (accessed: 25.11.2024).

**С. В. ГАЙДУКЕВИЧ**старший викладач кафедри електротехнологій  
та експлуатації енергообладнання  
Відокремлений підрозділНаціонального університету біоресурсів і природокористування України  
«Бережанський агротехнічний інститут»  
ORCID: 0000-0001-5910-5921**Н. П. СЕМЕНОВА**старший викладач кафедри електротехнологій  
та експлуатації енергообладнання  
Відокремлений підрозділНаціонального університету біоресурсів і природокористування України  
«Бережанський агротехнічний інститут»  
ORCID: 0000-0002-8478-9429**І. М. СОЛОВЕЙ**

кандидат технічних наук,

доцент кафедри електротехнологій та експлуатації енергообладнання  
Відокремлений підрозділНаціонального університету біоресурсів і природокористування України  
«Бережанський агротехнічний інститут»  
ORCID: 0000-0003-4715-3795

## УДОСКОНАЛЕННЯ ІНКУБАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

*На сьогоднішній день потреби сільськогосподарського виробництва змінюються, оскільки нові вимоги відповідно змінюють цілі, технології, техніку, які реалізуються на сучасному етапі.*

*В статті проаналізовано рішення динамічного підвищення якості процесу інкубації яєць за рахунок впровадження технологій нового покоління, а саме Інтернету речей, інформаційних та комунікаційних технологій, в яких джерелом та рушійною силою є інформація про реальний та об'єктивний стан взаємопов'язаних об'єктів і систем. Оскільки інформаційно-комунікаційні технології здатні зібрану інформацію обробляти, аналізувати а одержані результати реалізувати та ідеально генерувати в інноваційні рішення для удосконалення технології з мінімальними втратами, збільшення економічності виробництва, підвищення продуктивності та виходу максимальної кількості птиці. За допомогою Інтернет речей проходить покращення обміном інформацією між фізичними предметами, що мають вбудовані цифрові пристрої та взаємодіють між собою та навколишнім середовищем.*

*З метою удосконалення інкубаційних процесів розроблена автоматизована система, яка реалізуючи концепції IoT технологій, контролює та регулює мікрокліматичні показники з заданою точністю в умовах реального часу.*

*Розроблена автоматична система побудована на високотехнологічних взаємопов'язаних пристроях, які мають вбудовані цифрові системи, що інтегруються з мобільними пристроями з метою оперативного контролю процесу інкубації. Ця система узгоджує роботу техніко-технологічного електрообладнання, зокрема датчиків та пристроїв контролю та регулювання параметрів мікроклімату, завдяки програмному забезпеченню у відповідності до заданого алгоритму, що дозволяє отримувати точні дані та здійснювати ефективний контроль та керування процесами в інкубаційній камері, значно розширює можливості подібних систем.*

**Ключові слова:** інформаційні технології, інкубація яєць, процес, інформація, інкубаційна камера, автоматична система.

**S. V. HAIDUKEVYCH**Senior Lecturer at the Department of Electrical Technology  
and Operation of Power EquipmentSeparated Subdivision of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine  
“Berezhansky Agrotechnical Institute”

ORCID: 0000-0001-5910-5921

N. P. SEMENOVA

Senior Lecturer at the Department of Electrical Technology  
and Operation of Power Equipment

Separated Subdivision of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine

“Berezhansky Agrotechnical Institute”

ORCID: 0000-0002-8478-9429

I. M. SOLOVEI

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of Electrical Technology  
and Operation of Power Equipment

Separated Subdivision of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine

“Berezhansky Agrotechnical Institute”

ORCID: 0000-0003-4715-3795

## IMPROVEMENT OF THE INCUBATION PROCESS THROUGH AUTOMATIC CONTROL AND REGULATION OF MICROCLIMATE PARAMETERS

*Today, the needs of agricultural production are changing, as new requirements accordingly change the goals, technologies, and equipment implemented at the current stage.*

*The article analyzes the decision to dynamically improve the quality of the egg incubation process due to the introduction of new generation technologies, namely the Internet of Things, information and communication technologies, in which the source and driving force is information about the real and objective state of interconnected objects and systems. Because information and communication technologies are able to process the collected information, analyze it and implement the obtained results and ideally generate innovative solutions for improving the technology with minimal losses, increasing production efficiency, increasing productivity and yielding the maximum number of poultry. The Internet of Things improves the exchange of information between physical objects that have built-in digital devices and interact with each other and the environment.*

*In order to improve the incubation processes, an automated system has been developed, which, implementing the concepts of IoT technologies, controls and regulates microclimatic indicators with a specified accuracy in real-time conditions.*

*The developed automatic system is built on high-tech interconnected devices that have built-in digital systems that integrate with mobile devices for the purpose of operational control of the incubation process. This system harmonizes the operation of technical and technological electrical equipment, in particular sensors and devices for monitoring and regulating microclimate parameters, thanks to software in accordance with a given algorithm, which allows obtaining accurate data and effective control and management of processes in the incubation chamber; significantly expands the capabilities of similar systems.*

**Key words:** *information technology, egg incubation, process, information, incubation chamber, automatic system.*

### Постановка проблеми

У птахівництві процес інкубації яєць найвідповідальніший. Оскільки цей процес є критичним і не допускає порушень режиму інкубації або збоїв в автоматичній системі, бо ці наслідки ведуть до величезних втрат. На кожній стадії інкубації у відповідності до виду птиці та розвитку зародка повинні підтримуватися та взаємодіяти між собою нормативні мікрокліматичні показники такі як: відносна вологість, температура, повітрообмін, частота обертання лотків. Всі ці фактори безпосередньо впливають на життєдіяльність і розвиток ембріонів. Тобто успішний і якісний вихід птиці залежить не тільки від біологічної цінності яйця, а й від правильного режиму інкубації.

Класичний метод інкубації яєць не задовольняє вимоги сьогодення, а нові сучасні інкубатори порівняно дуже дорогі. Тому з метою покращення процесу інкубації, який потребує високої ефективності виробництва [1, с. 61], потрібно впроваджувати сучасні технології нового покоління з єдиним інтелектуальним керуванням. Це дасть можливість забезпечити високу точність певних технологічних операцій [2, с. 50], розширити їх функціональні можливості, досягти: забезпечення якості продукції, збільшення економічності виробництва, підвищення продуктивності [3, с. 88] в умовах сучасних глобалізаційних потреб [4].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Борян Л.О., Зелінська О.В., Бондаренко Д.А., Мосур І.В., Поливода О.В., Рудакова Г.В. та інші науковці переконані, що в умовах сучасного ринку на сільськогосподарських підприємствах необхідно приймати оптимальні рішення, створювати ефективне управління, підвищувати ефективність технологічних процесів, удосконалювати облік і контроль виробничого циклу [5, с. 55]. Оскільки у сформованих умовах зростає потреба науки як генератора науково-технічного прогресу, а необхідність загального розвитку науки тісно пов'язана з науково-технічним розвитком та впровадженням сучасних інформаційних технологій [6, с. 148].

З потребою безперервного зростання сільськогосподарського виробництва інформаційно-комунікаційні технології використовуються в широкому спектрі, що дає можливість оптимізувати та підвищити ефективність

процесів, тому стоїть ще не повністю вирішена задача впровадження нових технологічних рішень в процес інкубації яєць, а окремі аспекти потребують ґрунтовного аналізу та подальших досліджень.

**Формулювання мети дослідження**

Мета статті – удосконалення інкубаційного процесу реалізуючи концепції IoT технологій в системі автоматичного контролю та регулювання мікрокліматичних параметрів для підвищення продуктивності та максимального виходу молодняку.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Процес інкубації яєць є одним з найбільш інтенсивним та динамічним процесом, який залежить від багатьох факторів.

Сутність наших досліджень полягала у з’ясуванні шляху удосконалення інкубаційних процесів та виходу максимальної кількості продукції при мінімальних витратах.

Відомо, що виводимість характеризує ембріональну життєздатність птиці і вона багато в чому визначається якістю інкубаційних яєць і режимом інкубації [7, с. 45].

Процес інкубації яєць умовно поділяють на чотири періоди, на кожному з яких, для нормального розвитку ембріонів птиці, потрібно підтримувати відповідні мікрокліматичні показники. В перший період температура в інкубаційній шафі повинна становити 37,8-38 °С, у другий період інкубації біля 37,5-37,7 °С, третій – 37,3-37,5 °С і в останній 37,2 °С. Науковцями було виявлено, що диференційований режим набагато продуктивніший, а ніж традиційний. У зв’язку з цим виникла потреба в удосконаленні процесу інкубації задовільнивши вимоги, які висуваються на сьогоднішній день.

Досконало вивчивши технологію інкубаційного процесу та враховуючи всі фактори збурюючих дій, з метою дотримання основних технологічних норм, реалізуючи сучасний підхід на базі концепцій IoT технологій було розроблено автоматизовану систему для підтримання мікрокліматичних показників в інкубаційній шафі.

Розроблена автоматизована система, головним елементом якої є мікропроцесор, всі високотехнологічні прилади та системи обігріву, вентиляції і обертання лотків, які за допомогою інноваційної технології Інтернету речей взаємодіють між собою, інтегрує в економічно ефективну інтелектуальну систему. Ця система поєднує в собі гнучкість, масштабованість і надійність, легко змінює алгоритм керування та нарощує нові маніпуляції за рахунок одержаної інформації, яка є цінним джерелом для аналізу реального і об’єктивного стану об’єктів та підвищує якість прийнятих рішень. Тобто використання Інтернет речей в процесі інкубації дозволяє системі працювати злагоджено та максимально ефективно, вчасно виявляти негативні явища та швидко їх усувати. Безперечно, застосування Інтернет речей – це нові можливості та ризики. Але спектр реалізації IoT в сільськогосподарському виробництві з кожним роком розширюється, що призводить до більш своєчасного економічно ефективного управління [8, с. 172].

Архітектуру IoT умовно можна представити у вигляді чотирьох блоків: блок виконавчих пристроїв, мережевий блок, блок конкретного керування, прикладний блок. Структурну схему автоматичної системи керування інкубаційною шафою на базі IoT технологій наведено на рис. 1.

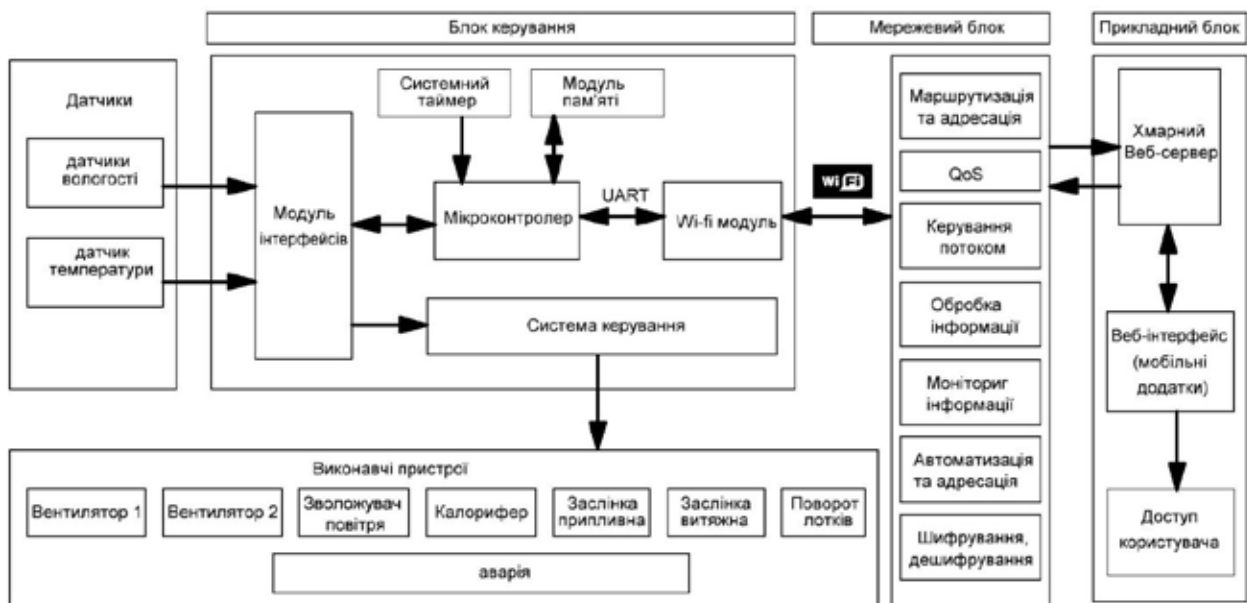


Рис. 1. Структурна схема автоматичної системи керування інкубаційною шафою на базі IoT технологій

Автоматична система одержує інформацію про стан інкубаційної шафи завдяки двом цифровим датчикам, які знаходяться у камері. Один датчик типу DS18B20 вимірює температуру камери, а другий SHT-21D контролює вологість і температуру. Інформацію контролюючих параметрів можна моніторити на рідкокристалічному індикаторі типу SC1602AULT-XH-HS-G. Він ще служить для налаштування параметрів інкубаційної камери.

Блок керування, який базується на мікроконтролері AVR Mega ATmega328 проводить запити про стан контрольованих величин та використовуючи інформацію датчиків генерує команди виконавчим пристроям, які коригують параметри за заданим алгоритмом. Для формування часових інтервалів та збереження інформації вибрано модуль, який поєднує дві функції: годинника реального часу на мікросхемі DS1307 та EEPROM пам'ять на мікросхемі 24C32, що дозволяє відстежувати, вимірювати та зберігати час в годинах, хвилинах та секундах, по роках, датах та місяцях.

Для спрощення підключення навантаження та світлодіодної індикації системи керування вибрано мікросхему ULN2003A, яка запобігає пошкодженню електричних кіл та дозволяє ефективно виконувати комутацію різноманітного навантаження, оскільки створює потужні вихідні ключі і захист від зворотного викиду напруги.

Розроблена автоматична система дозволяє досягти більш точного та стабільного регулювання мікрокліматичних параметрів, виявляти аномальні відхилення системи, зменшувати вплив зовнішніх збурень, моніторити про аварійні стани та для їх усунення вживати відповідних заходів.

Інкубаційна шафа складається з наступних систем (Рис. 2):

- вентиляції, яка служить для циркуляції та рівномірного розподілу теплого повітря;
- аварійної вентиляції, яка вмикається при аварійних ситуаціях;
- відкривання і закривання заслінок, оскільки яйця під час інкубаційного періоду виділяють велику кількість вуглекислого газу, який необхідно видаляти з інкубаційної камери, тобто створювати достатній повітрообмін;
- обертання лотків, що служить для рівномірного обігріву яєць, а також сприяє уникнути прилипання зародків до шкарлупи тому для кожного періоду інкубації самостійно змінюється частота їх повертання;
- зволоження повітря для створення достатньої вологості на всіх стадіях інкубації;
- обігріву інкубаційної шафи, що забезпечує необхідну температуру в інкубаційній камері для нормального розвитку зародка.

При виборі усіх компонентів автоматичної системи проведено аналіз на їх сумісність, надійність та точність.



Рис. 2. Макет інкубаційної шафи

Сучасні інформаційні технології обробляють інформацію за допомогою комп'ютерів, використовуючи різні програмні засоби, бази даних, комп'ютерні мережі для швидкої передачі інформації на великі відстані [5, с. 55]. Аналізуючи різні спеціальні програмні забезпечення було вибрано Home Assistant основною платформою для розробки та оптимізації автоматичної системи. Ця платформа вже протестована при виготовленні автоматичної системи керування побутовими пристроями для підвищення комфортності людей, а оскільки процеси ідентичні то було ухвалене оптимальне рішення рушійною силою вибрати Home Assistant для отримання точних даних та створення ефективного контролю і керування інкубаційними процесами. Home Assistant характеризується своєю гнучкістю та відкритістю, що дозволяє використовувати високотехнологічні пристрої та сервіси різних виробників, а також можна постійно розвивати, розширювати та оновлювати, забезпечуючи довговічність та актуальність системи, що здатна задовільнити сучасні тенденції та вимоги. Платформа Home Assistant є центральним вузлом системи, яка обробляє інформацію отриману від високотехнологічних об'єктів, що об'єднані в єдину екосистему

та взаємодіють між собою. Цей інтерфейс не тільки керує смарт-пристроями, але й виконує налаштування відповідних сценаріїв, моніторить поточний стан контрольованих величин та надає можливість нотувати всі дані режиму інкубації на комп'ютер, який підключається до автоматичної системи і взаємодіє зі всіма високотехнологічними пристроями і виконавчими механізмами за допомогою Wi-Fi 6E та Bluetooth 5.2, що гарантує стабільний бездротовий зв'язок.

Для розширення функціональності Home Assistant використано магазин доповнень за допомогою якого можна встановити ряд додаткових плагінів та інструментів, що надає можливість адаптувати систему у відповідності до потреб.

Розроблена автоматична система працює з реальною чіткістю завдяки датчикам, програмному забезпеченню та прогресивним технологіям, що дозволяє взаємозв'язаним високотехнологічним пристроям та системам обмінюватися інформацією, подібно комп'ютерам, які зв'язуються між собою через Всесвітню павутину. Оскільки сучасна автоматизація є одним з напрямів науково-технічного прогресу, спрямований на застосування саморегульованих технічних засобів, економіко-математичних методів і систем керування [9, с. 127].

Використання подібної системи і інших галузях сільськогосподарського виробництва дозволить забезпечувати проведення аналізу даних, моніторингу різних бізнес-процесів і швидке реагування на зміни у виробничому середовищі [10, с. 69].

### Висновки та перспективи подальших розвідок

Автоматична система контролю та регулювання мікрокліматичних параметрів, яка розроблена на концепціях IoT технологій, не тільки підвищує ефективність процесів інкубації яєць, а являється необхідним нововведенням для удосконалення інкубаційної шафи з невеликими витратами на обладнання, окрім цього вирішує багато питань. Адже інформаційні технології мають можливість оптимізувати роботу систем інкубаційної шафи та пропонувати нові рішення завдяки інформації, яку вони дозволяють собі збирати, зберігати, обробляти, аналізувати та реалізувати для створення нових алгоритмів. Ця розробка є найважливішим кроком удосконалення інкубаційних процесів шляхом більш точного автоматичного контролю та регулювання мікрокліматичних параметрів, що підвищує ефективність та якість виведення птахів.

Розроблену автоматичну систему можна використовувати в подальших наукових дослідженнях у сфері інкубації та розвитку ембріонів різних видів птахів.

### Список використаної літератури

1. Бондаренко Д.А. Застосування технологій інтернету речей в сільському господарстві. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2022. № 2 (75) С. 61-68.
2. Морозенко В.В., Кошель С.О. Роботизований пристрій з елементами штучного інтелекту. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг*: тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції Київ: КНУТД, 2023. С. 50.
3. Нікітчин О.В., Чепюк Л.О. Автоматизована система управління технологічним процесом виробництва йогурту. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої дню науки. (16-18 травня 2018 р., м. Житомир). Державний університет «Житомирська політехніка», 2018. С. 88-89.
4. Головня О.М., Чемерис Ю.С. Сучасні тренди інноваційності ринку сільськогосподарської техніки в умовах глобального середовища. *Економіка та суспільство*. 2024. В.66. Режим доступу: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4545/4488>.
5. Борян Л.О. Інформаційні технології як інструмент розвитку сільськогосподарських підприємств. : матеріали Причорноморської науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу (26-28 квітня 2017 р., м. Миколаїв). Миколаїв, 2017. С. 55-56.
6. Зелінська О.В., Сухоцька С.М. Використання сучасних інформаційних технологій в агропромисловому комплексі. *Галицький економічний вісник*. 2016. № 2. С. 148-152.
7. Ломако Д.В. Технологія інкубації гусячих яєць в умовах міргородського приватного орендного сільськогосподарського інкубаторно-птахівничого підприємства. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. № 4. С. 44-46.
8. Мосур І.В., Поливода О.В., Рудакова Г.В. Моделювання методів розміщення технічного обладнання підсистеми збору даних при дистанційному моніторингу землеробства на основі IoT. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2021. Т.4, № 2.1. С. 170-178.
9. Безвесільна О.М., Донцов І.Д. Розумний дім. Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої дню науки. (16-18 травня 2018 р., м. Житомир). Державний університет «Житомирська політехніка», 2018. С. 127-128.
10. Тищенко Д.В., Антипенко Б.А., Антипенко В.П., Неня В.Г. Сучасний стан автоматизації управління виконанням проектувальних робіт. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2024. Вип. 2 (145). С. 68-73.

## References

1. Bondarenko D.A. (2022). *Zastosuvannia tekhnolohii internetu rechei v silskomu hospodarstvi [Applications of the internet of things in agriculture]*. Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii. no. 2 (75). pp. 61-68. [in Ukrainian].
2. Morozenko V.V., Koshel S.O. (2023). *Robotyzovanyi prystrii z elementamy shtuchnoho intelektu [A robotic device with elements of artificial intelligence]*. Mekhatronni systemy: innovatsii ta inzhynirynh: tezy dopovidei VII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii Kyiv: KNUTD. pp. 50. [in Ukrainian].
3. Nikitchyn O.V., Chepiuk L.O. (2018). *Avtomatyzovana systema upravlinnia tekhnolohichnym protsesom vyrobnytstva yohurtu [Automated system for managing the technological process of yogurt production]*. Tezy dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi on-line konferentsii aspirantiv, molodykh uchenykh ta studentiv, prysviachenoj dnu nauky. (16-18 travnia 2018 r., m. Zhytomyr). Derzhavnyi universytet «Zhytomyrska politekhnik». pp. 88-89. [in Ukrainian].
4. Holovnia O.M., Chemerys Yu.S. (2024). *Suchasni trendy innovatsiinosti rynku silskohospodarskoi tekhniky v umovakh hlobalnoho seredovyscha [Current innovative trends of the agricultural equipment market in the global environment]*. Ekonomika ta suspilstvo. vol. 66. Available at: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4545/4488>. [in Ukrainian].
5. Borian L.O. (2017). *Informatsiini tekhnolohii yak instrument rozvytku silskohospodarskykh pidpriemstv [Information technologies as a tool for the development of agricultural enterprises]*. : materialy Prychornomorskoi naukovo-praktychnoi konferentsii profesorsko-vykladatskoho skladu (26-28 kvitnia 2017 r., m. Mykolaiv). Mykolaiv. pp. 55-56. [in Ukrainian].
6. Zelinska O.V., Sukhotska S.M. (2016). *Vykorystannia suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii v ahropromyslovomu kompleksi [The use of modern information technologies in the agroindustrial complex]*. Halytskyi ekonomichnyi visnyk. no. 2. pp. 148-152. [in Ukrainian].
7. Lomako D.V. (2015). *Tekhnolohiia inkubatsii husiachykh yaiets v umovakh myrhorodskoho pryvatnoho orendnoho silskohospodarskoho inkubatorno-ptakhivnychoho pidpriemstva [Technology of incubation of goose eggs in the conditions of the Myrhorod private rental agricultural hatchery and poultry enterprise]*. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii. no. 4. pp. 44-46. [in Ukrainian].
8. Mosur I.V., Polyvoda O.V., Rudakova H.V. (2021). *Modeliuvannia metodiv rozmishchennia tekhnichnoho obladnannia pidsystemy zborudanykh pry dystantsiinomu monitoringhu zemlerobstva na osnovi IoT [Modeling methods of technical equipment location subsystem of data collection for remote monitoring of agriculture based on IoT]*. Prykladni pytannia matematychnoho modeliuvannia. T.4, no. 2.1. pp. 170-178. [in Ukrainian].
9. Bezvesilna O.M., Dontsov I.D. (2018). *Rozumnyi dim [Smart home]*. Tezy dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi on-line konferentsii aspirantiv, molodykh uchenykh ta studentiv, prysviachenoj dnu nauky. (16-18 travnia 2018 r., m. Zhytomyr). Derzhavnyi universytet «Zhytomyrska politekhnik». pp. 127-128. [in Ukrainian].
10. Tyshchenko D.V., Antypenko B.A., Antypenko V.P., Nenia V.H. (2024). *Suchasnyi stan avtomatyzatsii upravlinnia vykonanniam proektuvalnykh robot [Current state of automated management of the design works execution]*. Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. vol. 2 (145). pp. 68-73.

А. В. ЗАХАРОВ

аспірант кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів  
в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка  
Державний біотехнологічний університет  
ORCID: 0000-0001-9894-7355

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Запропоновано методику аналітичного розрахунку та прогнозування зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки, що дозволяє на етапі їх відновлення за допомогою електрошлакового наплавлення оцінити ефективність використання різних матеріалів і технологій для подовження ресурсу. На основі даної методики проведено розрахунки ресурсу для лемішів, виготовлених зі сталі 30MnB5, з порівнянням показників зносостійкості та довговічності з іншими марками сталей, такими як 40XC, 65Г, і 40X. Зокрема, було визначено, що сталь 30MnB5 забезпечує підвищення зносостійкості на 1,4–1,5 рази в порівнянні з традиційними сталями 65Г і 40X, що використовуються для виготовлення робочих органів ґрунтообробної техніки. Методика дозволяє проводити прогнозування на основі лабораторних та польових випробувань та врахування механічних характеристик матеріалів і абразивних властивостей ґрунтів, що забезпечує об'єктивну оцінку зносостійкості в польових умовах. Використання представленої методики сприяє оптимальному вибору матеріалів для виготовлення та відновлення робочих органів, що дозволяє суттєво знизити витрати на їх обслуговування та подовжити термін експлуатації техніки. Крім того, розроблена методика дозволяє враховувати широкий спектр експлуатаційних умов, що забезпечує можливість оптимального використання ресурсів і підвищення ефективності роботи сільськогосподарської техніки. Зокрема, використання сталі 30MnB5 дозволяє суттєво зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування завдяки збільшенню ресурсу робочих органів, що, своєю чергою, підвищує загальну продуктивність господарства. Врахування особливостей зношування різних матеріалів та можливість моделювання процесу в різних умовах сприяє гнучкому підходу до вибору матеріалів та технологій відновлення, що є важливим аспектом в умовах економічної нестабільності та зростання вартості матеріалів. Це забезпечує довгострокову ефективність та надійність роботи техніки, що є критично важливим для забезпечення стабільного виробництва сільськогосподарської продукції.

**Ключові слова:** обробіток ґрунту, робочі органи, леміш плуга, виготовлення, наплавлення, зносостійкість, ресурс, прогнозування.

A. V. ZAKHAROV

Postgraduate Student at the Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering  
named after O. I. Sidashenko  
State Biotechnological University  
ORCID: 0000-0001-9894-7355

## PREDICTION OF WEAR RESISTANCE OF WORKING BODIES OF TILLAGE EQUIPMENT DURING THEIR RESTORATION BY ELECTROSLAG SURFACING

The paper proposes a methodology for analytical calculation and prediction of wear resistance of tillage equipment working bodies, which allows to evaluate the effectiveness of using various materials and technologies to extend the service life at the stage of their restoration by means of electroslag surfacing. Based on this methodology, we calculated the service life of ploughshares made of 30MnB5 steel and compared their wear resistance and durability with other steel grades, such as 40KhS, 65G, and 40X. In particular, it was determined that 30MnB5 steel provides a 1.4-1.5 times higher wear resistance compared to traditional 65G and 40X steels used to manufacture tillage tools. The methodology allows forecasting based on laboratory and field tests and taking into account the mechanical characteristics of materials and abrasive properties of soils, which provides an objective assessment of wear resistance in the field. The use of the presented methodology contributes to the optimal selection of materials for the manufacture and restoration of working bodies, which can significantly reduce the cost of their maintenance and extend the service life of the equipment. In addition, the developed methodology allows taking into account a wide range of operating conditions, which ensures the optimal use of resources and increases the efficiency of agricultural machinery. In particular, the use of 30MnB5 steel can significantly reduce repair and maintenance costs by increasing the service life of working bodies, which in turn increases the overall productivity of the farm. Taking into account the wear characteristics of different materials and the ability to model the process in different conditions allows for a flexible approach to the selection of materials and restoration technologies, which is an important aspect in the face of economic instability and rising material costs. This ensures the long-term efficiency and reliability of the equipment, which is critical to ensuring sustainable agricultural production.

**Key words:** soil cultivation, working tools, ploughshare, manufacturing, surfacing, wear resistance, service life, forecasting.



### Вступ

Ефективність сільськогосподарського виробництва багато в чому залежить від його технічної оснащеності якісною сільськогосподарською технікою. Витрати на ремонт і технічне обслуговування в структурі собівартості сільськогосподарської продукції сягають 15 і більше відсотків [1]. Особливо інтенсивно зношуються робочі органи ґрунтообробних агрегатів. Наприклад, ресурс лемішів, залежно від ґрунтово-кліматичних умов, не перевищує 10...25 га, а культиваторних стрілочастих лап не більше 70 га [5-7].

### Постановка проблеми

Проблема, що розглядається у цій статті, пов'язана з підвищенням зношуванням робочих органів ґрунтообробної техніки, що значно впливає на ефективність сільськогосподарського виробництва. В умовах підвищених витрат на ремонт і технічне обслуговування виникає необхідність розробки ефективних технологій відновлення робочих органів, які дозволять подовжити їх ресурс і знизити витрати на експлуатацію. Особливу увагу приділено можливості використання електрошлакового наплавлення для відновлення робочих органів, а також аналізу ефективності різних матеріалів і технологій, які використовуються для цього процесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** свідчить про активний розвиток методів підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки. Зокрема, значна увага приділяється технологіям наплавлення, які дозволяють відновлювати та зміцнювати деталі, що зазнають інтенсивного зношування під час експлуатації.

Використання електрошлакового наплавлення (ЕШН) є одним із перспективних напрямів у цій галузі. Дослідження Патона Б.Є. та Медовара Л.Б. (2003) розглядають нові електрошлакові технології та матеріали, що сприяють підвищенню ефективності процесу наплавлення.

Герасимов В.Н. та ін. (1979) досліджували залежність електричних параметрів від режиму при багатоелектродному електрошлаковому напавленні, що дозволяє оптимізувати процес для досягнення кращих результатів.

Каленський В.К. (1985) аналізував ефективність антикорозійного наплавлення електродними стрічками, що є важливим аспектом для підвищення довговічності робочих органів.

Кальянов В.Н. та Петренко А.Н. (2004) досліджували зносостійкість напавленого металу з підвищеною частотою карбідів титану, що дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики деталей.

Цикуленко А.К. (2007) розглядав аспекти формування напавленого шару при порційному електрошлаковому напавленні із застосуванням рідкого присадного металу, що впливає на якість та властивості отриманого покриття.

Лівшиць Л.С. (1991) досліджував напавні матеріали та технології наплавлення для підвищення зносостійкості та відновлення деталей машин, що є актуальним для підтримання працездатності техніки.

Сорокін Г.М. (2005) пропонував методи вибору зносостійких напавних сплавів, що дозволяє оптимально підбирати матеріали для конкретних умов експлуатації.

Кусков Ю.М. та Рябцев І.А. (2006) розглядали електрошлакове наплавлення в струмопідвідному кристалізаторі як ефективний спосіб виготовлення та відновлення деталей.

Соколов Г.Н. та ін. (2004) досліджували особливості процесу ЕШН композиційним стрижнем у малогабаритному секційному кристалізаторі, що дозволяє покращити якість напавленого шару.

Походня І.К. (1998) аналізував стан і проблеми металургії зварювання, що є основою для розвитку нових технологій наплавлення.

Мазель Ю.А. та ін. (1999) пропонували класифікацію сплавів на основі заліза для відновлювальної та зміцнюючої наплавки, що сприяє правильному вибору матеріалів для конкретних завдань. Попов С.Н. та Антонюк А.Д. (2009) оптимізували зносостійкий напавний сплав системи Fe-C-Ti-B для умов зношування закріпленим абразивом, що дозволяє підвищити ефективність роботи деталей.

Таким чином, сучасні дослідження спрямовані на вдосконалення технологій наплавлення та вибір оптимальних матеріалів для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробної техніки, що є ключовим фактором для забезпечення їх довговічності та ефективності.

**Мета і завдання дослідження** – розробка алгоритму прогнозування ресурсу робочих органів ґрунтообробних агрегатів та оцінки ефективності пропонуваніх рішень на стадії їх відновлення.

### Матеріал і методи

Під час аналізу основних проблем у розробленні сільськогосподарських машин В.П. Горячкін зазначав, що їхній розрахунок «має бути побудований своєрідно, а саме на зношуванні їх» [2-3]. Дуже важливо ще на стадії проектування робочих органів мати можливість оцінки ефективності прийнятих рішень (конструкційних, технологічних, матеріалознавчих та ін.) за основним показником – ресурсом.

Нині довговічність деталей, що зношуються, оцінюють двома шляхами:

1) статистичним – визначення ресурсу деталей за результатами опрацювання статистичних даних про їхнє зношування в реальних умовах експлуатації;

2) аналітичним – визначення швидкостей зношування деталей за відомих: навантажень, зносостійкості матеріалу, зношувальної здатності ґрунтів.

Перший метод дає змогу досить точно визначати ресурс виробу в конкретних умовах експлуатації. Однак для отримання інформації необхідні тривалі випробування дослідних зразків.

Перевага другого методу полягає в тому, що можна заздалегідь прогнозувати ресурс робочого органу, виходячи з відомих зовнішніх факторів і механічних характеристик матеріалів деталей, визначених у лабораторних умовах. Недолік цього методу полягає в тому, що його точність нижча за перший, оскільки в лабораторних умовах практично нереально врахувати всі фактори, що впливають на знос в умовах експлуатації. Водночас загалом він дає доволі об'єктивну оцінку і його можна активно використовувати під час вибору варіанта прийнятого рішення [4-6].

Свої рекомендації щодо аналітичної оцінки процесу зношування висловлювали багато вітчизняних та закордонних вчених. На жаль, усі вони мають ті чи інші недоліки і їхнє практичне використання ускладнене [8-12].

Інтенсивність руйнування поверхневого шару матеріалу деталей залежить від безлічі факторів, комплексно пов'язаних між собою. Це, насамперед, відносна зносостійкість матеріалу деталей, тиск, кількість і абразивність твердих частинок, що беруть участь у процесі зношування. Усі ці чинники мають імовірнісний характер і є функціями інших показників. Так, тиск залежить від твердості ґрунту, конструктивних параметрів робочих органів, швидкості їхнього руху під час обробітку ґрунту. Відносна зносостійкість матеріалів і зношувальна здатність абразиву, своєю чергою, залежать від тиску. Про це свідчать дані, наведені в таблиці 1 [4-5,13].

Таблиця 1

**Інтенсивність абразивного зношування різних матеріалів залежно від тиску абразиву**

Марка матеріалу	Абразив	Тиск, МПа	Інтенсивність зношування, W, г/год	Відносна зносостійкість
Сталь45 HRB 90 Еталон	Просіяний кварцовий пісок	0,08	0,0070	1,00
		0,16	0,0190	1,00
		0,33	0,0460	1,00
		0,40	0,0750	1,00
Сталь Х12HRC60	Просіяний кварцовий пісок	0,08	0,0030	2,30
		0,16	0,0060	3,10
		0,33	0,0131	3,50
		0,49	0,0187	4,02
Сталь 65ГHRC52	Просіяний кварцовий пісок	0,08	0,0050	1,40
		0,16	0,0120	1,58
		0,33	0,0240	1,92
		0,49	0,0360	2,08
Сталь 40ХHRC55	Просіяний кварцовий пісок	0,08	0,0040	1,75
		0,16	0,0070	2,52
		0,33	0,0170	2,70
		0,49	0,0250	3,00

Для визначення динаміки зношування матеріалу введемо поняття зношування еталонного зразка матеріалу еталонним абразивом в еталонних умовах. Візьмемо як еталонний абразив просіяний кварцовий пісок з відносною вологістю 1%, відносну зношувальну здатність якого приймемо  $m_{ет} = 1$ . Як еталонний матеріал візьмемо зразок зі 30MnB5 у стані постачання твердістю HRB 87, відносну зносостійкість якого візьмемо  $\epsilon_{ет} = 1$ .

За еталонну умову зношування приймемо: тиск абразиву на поверхню, що зношується,  $p_{ет} = 0,1$  МПа; швидкість абразиву частинок відносно зразка  $v_{відн.ет} = 1$  км/год; поверхня тертя зразка  $S_{ет} = 1$  см<sup>2</sup>; час зношування  $t_{ет} = 1$  год.

Оскільки знос пропорційний до зношувальної здатності абразиву (ґрунту), тиску, шляху тертя, площі тертя і обернено пропорційний відносно зносостійкості зразка (матеріалу), то знос цього зразка у ваговому вимірі становитиме [6]

$$W_{ет} = K \frac{m_{ет}}{\epsilon_{ет}} p_{ет} \cdot v_{відн.ет} \cdot S_{ет} \cdot t_{ет} \tag{1}$$

Знаючи фактичний знос еталонного матеріалу еталонних умовах, можна визначити еталонний коефіцієнт пропорційності

$$K_{ет} = \frac{W_{ет} \cdot \mu_{ет}}{m_{ет} \cdot p_{ет} \cdot v_{ет} \cdot S_{ет} \cdot t_{ет}} \tag{2}$$

Знос будь-якого іншого матеріалу в інших умовах може бути визначений за наступним виразом [7]

$$W_p = K_{em} \frac{m_{em} \cdot \eta_1}{\mu_{em} \cdot \eta_2} \cdot v \cdot p, \text{ г / год.} \tag{3}$$

За відомого граничного зносу робочого органу можна визначити його довговічність за такою залежністю [8]

$$T = \frac{\Delta h_{et} \cdot \mu_{et} \cdot \eta_1 \cdot A \cdot a}{K_{et} \cdot m_{et} \cdot \eta_2 \cdot p \cdot v_0}, \text{ га} \tag{4}$$

де  $\Delta h_{et}$  – граничний знос робочого органу на ділянці, що зношується найбільше, мм;  $\epsilon_{et}$  – відносна зносостійкість матеріалу, з якого виготовлений робочий орган, за тиску  $p_{et} = 0,1$  МПа;  $m_{et}$  – відносна зношувальна здатність ґрунту за механічним складом приеталонному 0,1 МПа тиску абразиву;  $p$  – тиск ґрунту (абразиву) на найбільш зношуваний ділянці робочого органу, МПа;  $\eta_1$  – поправочний коефіцієнт до зношувальної здатності ґрунту залежно від тиску;  $\eta_2$  – поправочний коефіцієнтна зміну відносної зносостійкості матеріалу залежно від тиску;  $v_0$  – відносна швидкість руху частинок по поверхні робочого органу;  $A$  – продуктивність робочого органу, га/год;  $K_{et}$  – еталонний коефіцієнт пропорційності;  $a$  – коефіцієнт, що враховує зміну товщини носової та лезової частин леміша та стрілкової лапи під час їх зміцнення. У разі товщини носової лезової частин, що дорівнює 9 мм,  $a = 1$ . За товщини носової частини, збільшеної на 3 мм,  $a = 1,3$  на 4 мм –  $a = 1,4$  і т.д. Відповідно за середньої товщині лезової частини, зменшеної на 1 мм,  $a = 0,9$ , на 2 мм,  $a = 0,8$  тощо.

Відносна зносостійкість матеріалів за еталонного тиску абразиву  $p_{et} = 0,1$  МПа визначається за емпіричними рівняннями [9-14]:

для сталі

$$\epsilon_{et} = 0,8(0,25x_1 + 0,09x_2 + 0,64x_3 + 0,12x_4 - 3,62); \tag{5}$$

для наплавок

$$\epsilon_{et} = 0,8(0,021x_1 + 0,0031x_2 + 0,4x_3 + 0,24x_4 + 0,21x_5 + 0,082x_6 + 0,7x_7 - 7,54), \tag{6}$$

де  $x_1$  – вміст вуглецю, %;  $x_2$  – вміст хрому, %;  $x_3$  – вміст вольфраму, %;  $x_5$  – вміст бору, %;  $x_6$  – вміст молібдену, %;  $x_7$  – вміст титану, %;  $x_4$  – твердість в одиницях HRC.

Відносна зносостійкість матеріалу при тиску абразиву  $p_i$  визначається за виразом:

$$\epsilon_p = \epsilon_{et} \cdot \eta_2 \tag{7}$$

Відносну зношувальну здатність ґрунтів за еталонного тиску представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Відносна зношувальна здатність ґрунтів за фракційним складом [11]  
(еталон – просіяний кварцовий пісок, тиск 0,1 МПа)**

Тип ґрунту	Середній вміст, %		Відносна зношувальна здатність, m
	пісок	глина	
Піщаний	95	5	0,87
Супіщаний	85	15	0,62
Суглинистий(легкий)	75	25	0,42
Суглинистий(середній)	65	35	0,32
Суглинистий(важкий)	50	50	0,22
Глинистий(легкий)	35	65	0,15
Глинистий(середній)	25	75	0,10
Глинистий(важкий)	10	90	0,06
Кварцові частинки	-	-	1,0

Поправочний коефіцієнт  $\eta_2$  пропонується визначати за формулою [12]:

$$\eta_2 = 1,75p_i + 0,825 \tag{8}$$

За тиску абразиву  $p_i$  відносна зношувальна здатність ґрунтів визначається за формулою:

$$m_p = m_{et} \cdot \eta_1 \tag{9}$$

Поправочний коефіцієнт  $\eta_1$  пропонується визначати за формулою:

$$\eta_1 = 9,5p_i + 0,04 \tag{10}$$

Практично всі робочі органи ґрунтообробних агрегатів мають форму клина. Відносна швидкість переміщення частинок  $v_{відн}$  для робочого органу, що має таку форму, дорівнює

$$v_{відн.} = \frac{v_n}{\cos\gamma \cdot \cos\alpha} = \frac{v_n}{\chi} \quad (11)$$

де  $v_n$  – поступальна швидкість руху робочого ґрунтообробного органу, км/год;  $\gamma$  – кут установки робочої поверхні робочого органу за напрямком руху, град.;  $\alpha$  – кут нахилу робочої поверхні клина до горизонту в площині, перпендикулярній ріжучій кромці, град.;  $\chi = \cos\gamma \cdot \cos\alpha$  – відношення поступальної швидкості робочого органу до швидкості переміщення пласта ґрунту по робочій поверхні.

Продуктивність робочого органу визначається за наступним виразом [13]:

$$A = \frac{b \cdot v_n}{10}, \text{га / год.} \quad (12)$$

де  $b$  – ширина захвату робочого органу, м.

### Отримані результати дослідження

Розглянуто ефективність відновлення дослідного зразка леміша плуга (рис. 1) з листової сталі марки: 30МпВ5 [4]. Розрахунки проведено для оранки чорнозему звичайного, для якого  $m_{ст} = 0,57$  (табл. 2).

Твердість ґрунту прийнята  $B_l = 4,0$  МПа. Швидкість оранки становить – 7-9 км/год. Товщина носової частини леміша  $a = 10$  мм. Середня товщина лезової частини – 8 мм. Вибракувальні параметри леміша:  $\Delta H = H - H_{np}$  – граничний знос за висотою носка, мм.  $\Delta h = h - h_{np}$  – граничний знос за шириною лезової частини.

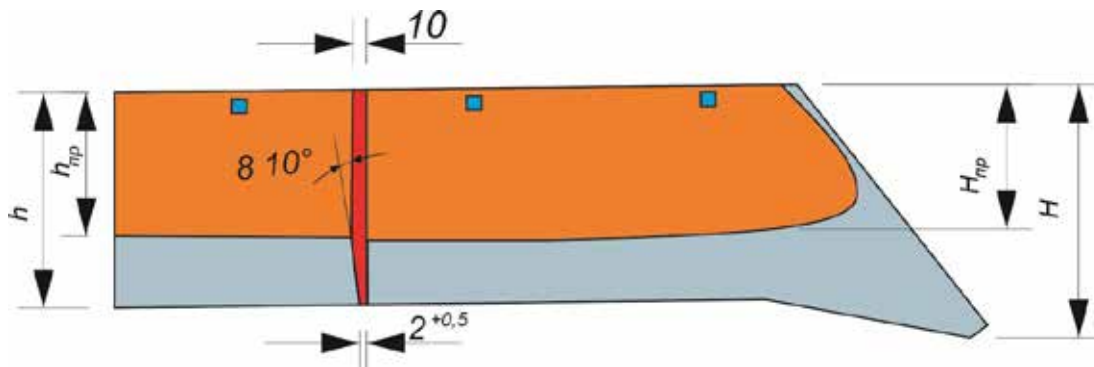


Рис. 1. Конструктивні та выбракувальні параметри леміша

Для дослідного леміша прийнято такі розміри:  $H = 155$  мм;  $H_{np} = 90$  мм;  $h = 130$  мм;  $h_{np} = 90$  мм.

Однією з найважливіших вимог під час вибору марки сталі та модифікуючої домішки для відновлення лемішів та стрілочастих культиваторних лап є значення ударної в'язкості, якою повинен володіти метал, що наплавляється на робочу поверхню такої деталі. Його значення має бути не менше ніж 35 Дж/см<sup>2</sup>.

Цього можна домогтися певними режимами термообробки.

На рисунку 2 представлено зміни основних характеристик сталі: тимчасового опору на розрив  $\sigma_b$ , твердості HRC та ударної в'язкості KCU залежно від температури відпуску.

За такого значення твердості відповідно з рівнянням 5 відносна зносостійкість кожної марки сталі за умов сталонного тиску становитиме: 30МпВ5 –  $\epsilon_{ст} = 1,51$ .

Максимальні тиски, що діють на носку  $p_n$  і лезовій частині рл леміша, визначаються за емпіричними залежностями [15]: Зносостійкий наплавлений метал системи С-Сг-Fe

$$p_n = 0,072 \dots 0,14(1+0,031_n)(1+0,01\beta)(3,7+B1,4), \text{МПа,} \quad (13)$$

$$p_l = 0,03 \dots 0,042(1+0,031_n)(1+0,01\beta)(3,7+B1,4), \text{МПа,} \quad (14)$$

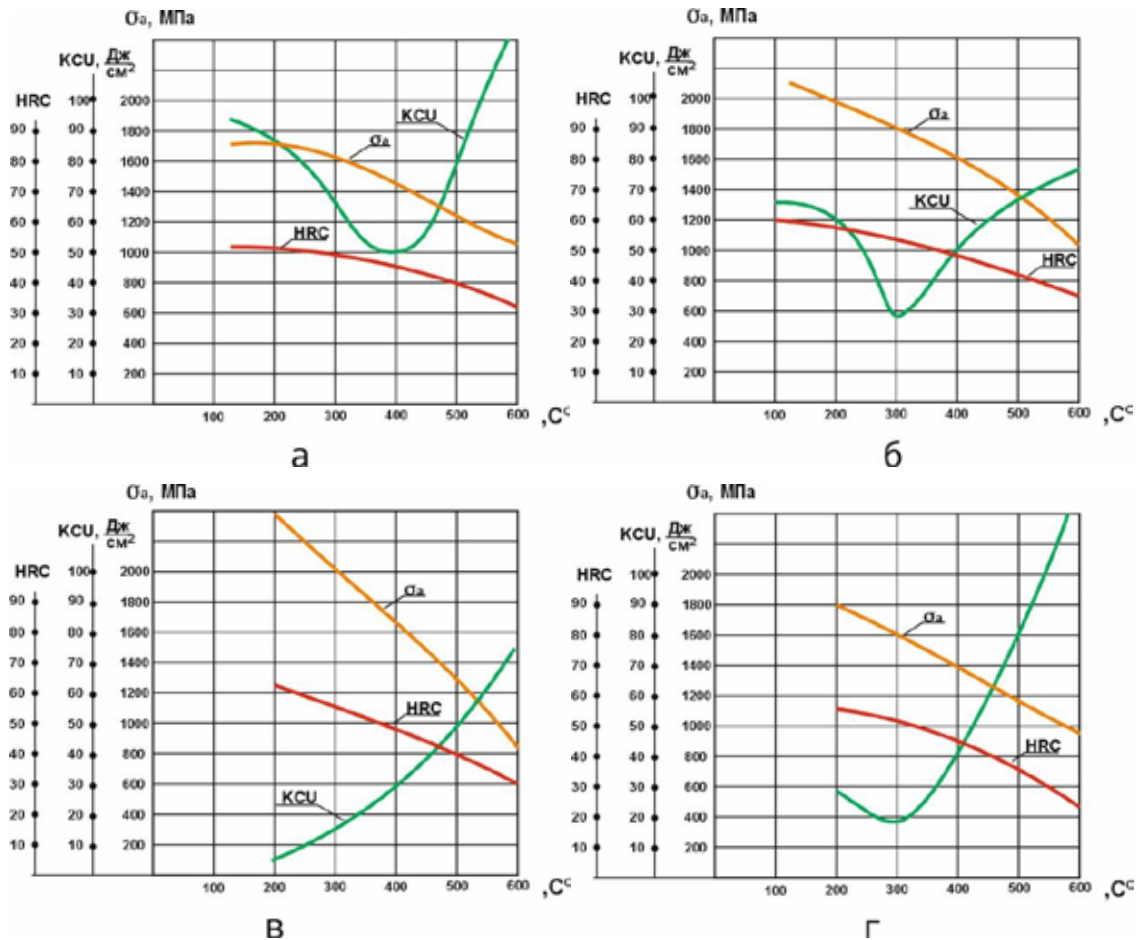
де  $v_n$  – поступальна швидкість робочих органів під час оранки, км/год;  $\beta$  – кут нахилу леміша до дна борозни, град.;  $B$  – твердість ґрунту, МПа;  $p_n$  – тиск на носовій частині леміша, МПа;  $p_l$  – тиск на лезовій частині, МПа.

Розрахунок довговічності леміша (табл. 3) показує, що вона визначається насамперед довговічністю його носової частини.

### Результати та обговорення

Як приклад розглянуто ефективність виготовлення дослідного зразка леміша плуга (рис. 1) з листової сталі марки: 30МпВ5 [4]. Розрахунки проведено для оранки суглинистого легкого ґрунту, для якого  $m_{ем} = 0,42$  (таблиця 2). Твердість ґрунту прийнята  $B_l = 3,0$  МПа. Швидкість оранки – 8 км/год. Товщина носової частини леміша  $a = 10$  мм. Середня товщина лезової частини – 9 мм. Вибракувальні параметри леміша:  $\Delta H = H - H_{np}$  – граничний знос за висотою носка, мм.  $\Delta h = h - h_{np}$  – граничний знос за шириною лезової частини.

Для дослідного леміша прийнято такі розміри:  $H = 155 \text{ мм}$ ;  $H_{np} = 90 \text{ мм}$ ;  $h = 130 \text{ мм}$ ;  $h_{np} = 90 \text{ мм}$ . Однією з найважливіших вимог під час вибору марки сталі для виготовлення леміша є значення ударної в'язкості, яку повинна мати сталь. Її значення має бути не менше  $30 \text{ Дж/см}^2$ . Цього можна домогтися певними режимами термообробки. На рисунку 2 представлено зміни основних характеристик сталі: тимчасового опору на розрив  $\sigma_b$ , твердості HRC і ударної в'язкості KCU залежно від температури відпуску. Як видно з графіків, за зазначених режимів термообробки та ударної в'язкості не менше  $30 \text{ Дж/см}^2$  максимальне значення твердості становитиме: у сталі 30MnB5 – HRC50.



**Рис. 2. Зміна основних характеристик сталей залежно від температури відпуску після загартування:**  
**а – сталь 30XГСА (гарт 880°C, відпустка 200°C); б – сталь 40XC (гарт 900°C, відпустка 150°C);**  
**в – сталь 65Г (гарт 830°C, відпустка 400°C); г – сталь 40X (гарт 850°C, відпустка 370°C)**

Розрахунок довговічності леміша з різних марок сталей (табл. 3) показує, що вона визначається насамперед довговічністю його носової частини. Ресурс носової частини леміша товщиною 10 мм зі сталей 40X і 65Г на чорноземі звичайному за твердості 3,0 МПа становитиме 10,6 га, за твердості 1,0 МПа – 23,2 га. Ресурс леміша зі сталі 40XC на такому ж ґрунті становитиме відповідно 16,9 і 55,0 га. Таким чином, заміна сталей 30MnB5 для виготовлення леміша на сталь 40XC дасть змогу підвищити його ресурс приблизно в 1,5 рази. Однак сталі, що мають високі механічні властивості, мають і більш високі ціни [16].

У зв'язку з тим, що ціни на матеріали нестабільні й залежать від багатьох факторів, у розрахунках ефективності доцільно оперувати не конкретними, а відносними величинами цін. Як еталон, так само як при характеристиці зносостійкості, прийнято листовий прокат сталі 45 товщиною 8...12 мм. Відносна ціна цього прокату прийнята за одиницю. Як критерій вибору оптимальної марки сталі використовували вираз [15-17]:

$$C_u = \frac{OC}{\varepsilon} \rightarrow \min, \tag{15}$$

де  $C_u$  – вартісна оцінка зносостійкості;  $OC = \frac{C}{C_{em}}$  – відносна ціна сталі;  $C$  – ціна тієї чи іншої марки сталі, руб.;  $C_{em}$  – ціна еталонної сталі, грн.;  $\varepsilon$  – відносна зносостійкість сталі.

Таблиця 3

Розрахункова довговічність леміша на чорноземі звичайному,  $m=0,42$ 

Марка сталі і ділянка леміша	Довговічність, га за твердості ґрунту	
	3МПа	1МПа
<b>30MnB5</b>		
Носова частина	12,7	29,1
Лезвійна частина	25,67	77,9
<b>40X</b>		
Носова частина	10,6	23,2
Лезвійна частина	24,52	69,6
<b>30XГСА</b>		
Носова частина	11,8	25,7
Лезвійна частина	27,0	109,8
<b>65Г</b>		
Носова частина	10,6	23,2
Лезвійна частина	24,5	99,4
<b>40XC</b>		
Носова частина	16,9	36,7
Лезвійна частина	38,6	156,3

Розрахунки показують (табл. 4), що найприйнятнішими для виготовлення леміша марками сталей є (у порядку убутання ефективності вартісної оцінки зносостійкості) є: 30MnB5. Із розрахунків також видно, що коефіцієнти рівності частин лемішів КР, що дорівнюють відношенню довговічності ділянки, яка найбільш зношується, – носової частини Т1 до довговічності ділянки, яка найменш зношується, – лезової частини Т2, перебувають у межах від 0,20 до 0,30 залежно від твердості ґрунтів,  $K_p = \frac{T_1}{T_2}$ . Це означає, що в разі зносу носової частини леміш вибра-

ковується з досить високим залишковим ресурсом лезової частини. Для виключення цієї обставини необхідно або підвищувати ресурс носової частини до ресурсу лезової частини, забезпечуючи значення коефіцієнта рівності частин, близьке до одиниці, або виготовляти леміш із двох частин, долота та власне леміша, щоб у разі зношування долота замінювати тільки його, а леміш продовжувати використовувати до повного зношування. Саме така конструкція леміша застосовується в зарубіжних плугах.

Таблиця 4

## Відносні характеристики сталей

Марка сталі	Мінімальна температура відпуску, °С	Ударна в'язкість, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Твердість, HRC	Відносна зносостійкість при еталонному тиску	Відносна ціна, ОЦ	Вартісна оцінка зносостійкості, ОЦ/г
30MnB5	370	30	48	1,33	1,35	1,01
65Г	400	30	48	1,33	1,40	1,05
40X	370	30	48	1,33	1,35	1,01
30XГСА	200	90	50	1,47	1,90	1,29
40XC	150	62	58	2,10	2,10	1,00

Ресурс носової частини леміша можна підвищити різними варіантами: 1) наплавленням на зворотний бік сплаву ФБХ-6-2; 2) наплавленням на зворотний бік металокерамічної пластини ВК-20; 3) приварюванням на зворотний бік пластини зі сталі Х12; 4) приварюванням на лицьовий бік носової частини пластини завтовшки 3...5 мм з того самого матеріалу, що і сам леміш, плюс один з перших варіантів. Також перспективним є варіант приварювання спеціальних металевих біметалевих вставок отриманих за допомогою електрошлакового наплавлення у спеціально підготовлені вікна на самому леміші. Як показують розрахунки, ресурс леміша, виготовленого зі сталі 40XC і зміцненого сплавом ФБХ-6-2, становитиме 31 га, металокерамікою ВК – 40 га (за твердості ґрунту 3 МПа). За таким самим принципом було виготовлено дослідну партію лемішів для плуга фірми «Велес-Агро Одеса» зі сталі 40X (рис. 3) зі зміцненням пластини зі сталі Х12. Випробування на полях Харківської області засвідчили, що їхній ресурс склав більше ніж 50 га та є співставним із ресурсом фірмових. У разі виготовлення цих лемішів зі сталі 40XC їхній ресурс підвищився б додатково не менше ніж на 40%.

## Висновки

1. Представлена методика прогнозування ресурсу робочих органів ґрунтообробних машин з достатньою для практичних цілей точністю дає змогу обґрунтувати вибір необхідних матеріалів і технологій їх виготовлення та зміцнення. 2. Для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин у нашій країні застосовують сталі 65Г і 40X (леміші, стрілочасті лапи культиваторів, диски дискових борін, луцильників тощо). Заміна цих сталей на сталь 30MnB5 забезпечить підвищення їх зносостійкості в 1,4...1,5 рази.

## Список використаної літератури

1. Патон Б. Є., Медовар Л. Б. Нові електрошлакові технології та матеріали. Автоматичне зварювання. № 10. 2003. С. 188-193.
2. Герасимов В. Н., Меліков В. В., Якимов А. В. Залежність електричних параметрів від режиму при багатоелектродному електрошлаковому наплавленні. Автоматичне зварювання. № 11. 1979. С. 37-38.
3. Каленський В. К. Про ефективність антикорозійного наплавлення електродними стрічками. Наплавлення. Досвід та ефективність застосування: Зб. наук. праць. Київ: ІЕЗ ім. Е. О. Патона НАНУ, 1985. С. 35-40.
4. Кальянов В. Н., Петренко А. Н. Зносостійкість наплавленого металу з підвищеною часткою карбідів титану. Автоматичне зварювання. № 12. 2004. С. 59-60.
5. Цикуленко А. К. Деякі аспекти формування наплавленого шару при порційному електрошлаковому наплавленні із застосуванням рідкого присадного металу. Сучасна електromеталургія. № 2. 2007. С. 7-11.
6. Лівшиць Л. С. Наплавні матеріали та технологія наплавлення для підвищення зносостійкості та відновлення деталей машин. Зварювальне виробництво. № 1. 1991. С. 15-17.
7. Сорокін Г. М. Методи вибору зносостійких наплавних сплавів. Вісник машинобудування. № 4. 2005. С. 25-29.
8. Кусков Ю. М., Рябцев І. А. Електрошлакова наплавка в струмопідвідному кристалізаторі: ефективний спосіб виготовлення та відновлення деталей. Зварювальник. № 3. 2006. С. 18-20.
9. Соколов Г. Н., Зорін І. В., Цуріхін С. Н., Лисак В. І. Особливості процесу ЕШН композиційним стрижнем у малагабаритному секційному кристалізаторі. Автоматичне зварювання. № 10. 2004. С. 26-30.
10. Походня І. К. Металургія зварювання, стан і проблеми. Зварювання та споріднені технології у ХХІ столітті: Зб. наук. тр. міжнар. наук. техн. конф. Київ: ІЕЗ ім. Е. О. Патона, 1998. С. 227-245.
11. Мазель Ю. А., Кусков Ю. В., Поліщук Г. М. Класифікація сплавів на основі заліза для відновлювальної та зміцнюючої наплавки. Зварювальне виробництво. № 4. 1999. С. 35-38.
12. Jardy J., Ablitzer D., Wadier J. F. Magneto hydrodynamic і термальний behavior electrosлаг remelting slags. MetalTrans. В. 22(В). 1991. P. 111-120.
13. Popov S. N., Antonuk A. D. Оптимізація зносостійкого наплавного сплаву системи Fe-C-Ti-B для умов зношування закріпленим абразивом. Нові матеріали та технології в металургії та машинобудуванні. № 1. 2009. С. 93-99.
14. Захаров А.В. Вплив показників характеристики ґрунтів на причини виходу зі строю робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів. Modern challenges as an impetus for technical innovations (October 3–4, 2024, Riga, the Republic of Latvia): International scientific conference. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2024. С. 26-31.
15. Scott L., Andreini R. Electrosлаг processes cladshipshafts. Welding Journal. № 11. 2003. P. 41-42.
16. Рибалко І.М., Захаров А.В. Вплив неметалевих включень на якість наплавленого електрошлакового металу. ХХ-й Міжнародний форум молоді «МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В ХХІ СТОЛІТТІ». Збірка матеріалів форуму. Харків: ДБТУ. 2024. С. 96.
17. Рибалко І.М., Захаров А.В. Здійснення процесу ЕШН на деталі малої товщини з додаванням модифікуючого матеріалу та використанням неплавкого графітового електроду. XIV Всеукраїнська конференція «Молоді вчені 2024 – від теорії до практики» 21 березня 2024 р., Інститут промислових та бізнес-технологій УДУНТ, м. Дніпро (Україна). С. 30-35.

## References

1. Paton B.Ye., Medovar L.B. (2003) Novi elektroslakovi tekhnolohii ta materialy [New electrosлаг technologies and materials]. Avtomatychnе zvaryuvannya, (10), 188-193. [in Ukrainian].
2. Herasymov V.N., Melikov V.V., Yakymov A.V. (1979) Zalezhnosti elektrychnykh parametriv vid rezhymu pry bahatoelektroodnomu elektroslakovomu naplavlenni [Dependence of electrical parameters on the mode of multi-electrode electrosлаг surfacing]. Avtomatychnе zvaryuvannya, (11), 37-38. [in Ukrainian].
3. Kalenskyi V.K. (1985) Pro efektyvnist antykorozijnoho naplavlennya elektrodrukhamy [On the effectiveness of anticorrosive surfacing with electrode ribbons]. Naplavlennya. Dosvid ta efektyvnist zastosuvannya: Zb. nauk. prats. Kyiv: IEZ im. E. O. Patona NANU, 35-40. [in Ukrainian].
4. Kal'yanov V.N., Petrenko A.N. (2004) Znosostiikist naplavlenoho metalu z pidvyshchenoyu chastkoyu karbidiv tytanu [Wear resistance of surfaced metal with increased titanium carbide content]. Avtomatychnе zvaryuvannya, (12), 59-60. [in Ukrainian].
5. Tsykulenko A.K. (2007) Deyaki aspekty formuvannya naplavlenoho sharu pry portsijnomu elektroslakovomu naplavlenni iz zastosuvannyam rikdkoho prysadnoho metalu [Some aspects of forming the surfaced layer with portion electrosлаг surfacing using liquid filler metal]. Suchasna elektrometalurhiya, (2), 7-11. [in Ukrainian].

6. Livshyts L.S. (1991) Naplavni materialy ta tekhnolohiya naplavlennya dlya pidvyshchennya znosostiikosti ta vidnovlennya detalei mashyn [Surfacing materials and surfacing technology for improving wear resistance and restoration of machine parts]. Zvaryuvalne vyrobnytstvo, (1), 15-17. [in Ukrainian].
7. Sorokin H.M. (2005) Metody vyboru znosostiikykh naplavnykh splaviv [Methods for choosing wear-resistant surfacing alloys]. Visnyk mashynobuduvannya, (4), 25-29. [in Ukrainian].
8. Kuskov Yu.M., Ryabtsev I.A. (2006) Elektrolakova naplavka v strumopidvidnomu krystalizatori: efektyvnyi sposib vyhotovlennya ta vidnovlennya detalei [Electroslag surfacing in a conductive crystallizer: an effective method for manufacturing and restoring parts]. Zvaryuvalnyk, (3), 18-20. [in Ukrainian].
9. Sokolov H.N., Zorin I.V., Tsurikhin S.N., Lysak V.I. (2004) Osoblyvosti protsesu ESHN kompozytsiynym stryzhnem u maloha barytnomu sektsiinomu krystalizatori [Features of the ESHN process with a composite rod in a small sectional crystallizer]. Avtomatychno zvaryuvannya, (10), 26-30. [in Ukrainian].
10. Pokhodnia I.K. (1998) Metalurhiya zvaryuvannya, stan i problemy [Welding metallurgy, state and problems]. Zvaryuvannya ta sporidneni tekhnolohii u XXI stolitti: Zb. nauk. tr. mizhnar. nauk. tekhn. konf. Kyiv: IEZ im. E. O. Patona, 227-245. [in Ukrainian].
11. Mazel Yu.A., Kuskov Yu.V., Polishchuk H.M. (1999) Klasyfikatsiya splaviv na osnovi zaliza dlya vidnovlyuvalnoi ta zmitsniuyuchoi naplavky [Classification of iron-based alloys for restorative and strengthening surfacing]. Zvaryuvalne vyrobnytstvo, (4), 35-38. [in Ukrainian].
12. Jardy J., Ablitzer D., Wadier J.F. (1991) Magnetogydrodynamic i termalniyi behavior elektrolakremelting slags. MetalTrans. B, 22(B), 111-120.
13. Popov S.N., Antonuk A.D. (2009) Optyimizatsiya znosostiikoho naplavnoho splavu systemy Fe-C-Ti-B dlya umov znoshuvannya zakriplenym abrazivom [Optimization of wear-resistant surfacing alloy of the Fe-C-Ti-B system for conditions of wear by fixed abrasive]. Novi materialy ta tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni, (1), 93-99. [in Ukrainian].
14. Zakharov A.V. (2024) Influence of soil characteristics on the causes of failure of working bodies of tillage agricultural units. Modern challenges as an impetus for technical innovations (October 3-4, 2024. Riga, the Republic of Latvia): International scientific conference. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2024, 26-31.
15. Scott L., Andreini R. (2003) Electroslag processes cladshipshafts. Welding Journal, (11), 41-42.
16. Rybalko I.M., Zakharov A.V. (2024) Influence of non-metallic inclusions on the quality of deposited electroslag metal. XX International Youth Forum 'YOUTH AND INDUSTRY 4.0 IN THE XXI CENTURY'. Collection of forum materials. – Kharkiv: DBTU, 2024, 96.
17. Rybalko I.M., Zakharov A.V. (2024) Implementation of the ESR process on small thickness parts with the addition of a modifying material and the use of a non-consumable graphite electrode. XIV All-Ukrainian Conference 'Young Scientists 2024 – from Theory to Practice' 21 March 2024, Institute of Industrial and Business Technologies, USUCT, Dnipro (Ukraine), 30-35.



Є. І. КАЛІНІН

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри тракторів, автомобілів та біоенергоресурсів  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID: 0000-0001-6191-8446

В. М. КОЛОДНЕНКО

старший викладач  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-8450-6759

Н. М. МЕЛЬНИК

старший викладач  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0001-9967-0669

## СИНТЕЗ ТЕОРІЇ РУХУ ТВЕРДИХ ТІЛ ДЛЯ ВІДМОВСТІЙКОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЇХ ПАРАМЕТРІВ ЗАПОВНЕНИХ СИПУЧИМИ РЕЧОВИНАМИ

*Динаміка руху спеціалізованого автомобіля при навантаженні сипким вантажем можуть бути віднесені за структурою до категорії сипких середовищ. Деякі з них (легкосипкі) можуть розглядатися як ідеально сипке середовище, представлене, в першому наближенні, ідеальною нестискаємою рідиною, що не має сил зв'язку між частинками. Інші (погано сипкі) повинні розглядатися як зв'язне середовище, яке є проміжним ступенем між ідеально сипким і твердим тілами.*

*Оскільки практично процес формування сипкого тіла заздалегідь відомий, так само як відомі його механічні властивості (коефіцієнт внутрішнього тертя, початковий опір зсуву для зв'язаних насипних вантажів, коефіцієнт тертя по твердим поверхням, коефіцієнт ущільнення під впливом динамічних навантажень і т.п.) можна говорити, що завдання неграничної рівноваги мають конкретні розв'язки. Тоді можна говорити і про можливість ідентифікації динаміки вантажного автомобіля під час транспортування сипкого середовища.*

*У статті з принципу найменшої дії у формі Гамільтона-Остроградського виводяться рівняння Лагранжа руху твердого тіла, що має об'єми, повністю або частково наповнені сипким середовищем, представленим у формі ідеальної рідини. Для розширення можливості застосування теорії прийнято, що модельне сипуче середовище має поверхневий натяг. Розглядаються перші інтеграли цих рівнянь.*

*Далі з рівнянь руху виводяться умови, за яких мають місце рівновага або стаціонарний рух твердого тіла з сипким середовищем, що зводяться до умов екстремальності (стаціонарності) потенційної енергії або зміненої потенційної енергії системи. У практично цікавих випадках завдання мінімуму зміни потенційної енергії вирішується дослідженням другої варіації останнього, виведення якої наводиться.*

*У нелінійній постановці доводиться теорема про нестійкість положення рівноваги тіла з сипким середовищем у випадку, коли потенційна енергія системи не має мінімуму в положенні рівноваги.*

**Ключові слова:** *тверде тіло, потенційна енергія, вантаж, транспорт, навантаження, матеріали.*

E. I. KALININ

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of Tractors, Cars and Bioenergy Resources  
National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine  
ORCID: 0000-0001-6191-8446

V. M. KOLODNENKO

Senior Lecturer  
Sumy National Agrarian University  
ORCID: 0000-0002-8450-6759

N. M. MELNYK

Senior Lecturer  
Sumy National Agrarian University  
ORCID: 0000-0001-9967-0669

## SYNTHESIS OF THE THEORY OF MOTION OF SOLID BODIES FOR FAULT-TOLERANT IDENTIFICATION OF THEIR PARAMETERS FILLED WITH LOOSE SUBSTANCES

*The dynamics of the movement of a specialized vehicle when loaded with bulk cargo can be structurally classified into the category of bulk media. Some of them (fluid) can be considered as an ideal fluid medium, represented, in the first approximation, by an ideal incompressible liquid that has no binding forces between particles. Others (poorly free-flowing) should be considered as a cohesive medium, which is intermediate between perfectly free-flowing and solid bodies.*

*Since the process of forming a bulk body is practically known in advance, as well as its mechanical properties (the coefficient of internal friction, the initial shear resistance for bound bulk cargoes, the coefficient of friction on solid surfaces, the compaction coefficient under the influence of dynamic loads, etc.), it can be said that the problems of unbounded equilibrium have specific solutions. Then we can also talk about the possibility of identifying the dynamics of a truck during the transportation of a bulk medium.*

*In this case, from the principle of the least action in the Hamilton-Ostrogradsky form, Lagrange's affinity for the structure of a solid body is derived, which has volumes, almost or often on top of the coarse middle, represented in the ideal form. To expand the possibility of stagnation of the theory, it is accepted that the model effervescent middle has a surface tension.*

*The first integrals of these equals are seen. Far from the rvnya ruk one can see the minds behind which the place of rvnovaga or stationary rukh of a solid body with a husky middle, which comes down to the minds of extremeness (stationarity) of potential energy or change new potential energy system. In practically certain episodes, a minimum change in potential energy is required to be followed by another variation of the remaining output that is induced.*

*The non-linear statement has a theorem about the instability of the position of an equal body with a dry core at the same time, if the potential energy of the system does not have a minimum in the position of the equal body.*

**Key words:** solid, potential energy, vantage, transport, vantage, materials.

### Постановка проблеми

Розвиток аграрного сектора зумовлює безперервне зростання вантажних перевезень на всіх видах транспорту, причому більша частка вантажообігу, а отже, і більшість операцій навантаження, транспортування та вивантаження припадає на насипні вантажі. Величезний обсяг операцій з насипними вантажами, що обчислюється мільйонами тонн, вимагає створення раціональних та надійних машин та пристроїв для навантаження, вивантаження, переміщення та зберігання зазначених вантажів. Машини та пристрої ці повинні бути досить міцними та довговічними, а їх конструювання має здійснюватися з мінімальними витратами матеріалів [1].

Особливу роль при переміщенні сипких матеріалів має транспорт, і, в першу чергу автомобільний, обсяг якого в загальному машинному парку аграрного сектора становить до 50% і вище [2, 3]. Проектування автомобілів, що використовуються при перевезенні сипких матеріалів, здебільшого ґрунтувалося на емпіричних даних, проте при сучасному швидкому розвитку конструкцій машин накопичення досвідчених відомостей [4-7] про раціональність конструкцій окремих елементів вантажних автомобілів відстає від потреб проектування [8, 9]. Нині вже назріла необхідність створення теоретичних методів розрахунку динаміки вантажних автомобілів у процесі транспортування сипких вантажів з урахуванням механічних властивостей останніх.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Насипні вантажі за структурою можуть бути віднесені до категорії сипких середовищ. Деякі з них (легко сипучі) можуть розглядатися як ідеально сипуче середовище, представлене, в першому наближенні, ідеальною стислою рідиною, що не має сил зв'язку між частинками. Інші (погано сипучі) повинні розглядатися як зв'язне середовище, що є хіба що проміжним ступенем між ідеально сипучим і твердим тілами.

В опублікованих останніми роками роботах з теорії сипучих середовищ наводяться загальні методи вирішення систем рівнянь напруженого та деформованого стану. Ці методи лише у найпростіших випадках призводять до розрахункових формул алгебри, більшою ж частиною завдання доводиться вирішувати наближеним чисельним інтегруванням. Такий підхід призводить до того, що отримані значення неможливо використовувати при вирішенні проблем, пов'язаних із міцністю та надійністю машин, що, у свою чергу, призводить до значного зниження ресурсу машини та зниження стійкості до відмови ідентифікації її параметрів.

У всіх опублікованих дослідженнях з теорії сипучого середовища розглядається гранична рівновага останньої. Однак при роботі з насипними вантажами, і особливо при їх транспортуванні, здебільшого спостерігається їх ненасичений напружений стан, для якого висновки теорії граничної рівноваги непридатні.

Оскільки практично процес формування сипучого тіла заздалегідь відомий, так само як відомі його механічні властивості (коефіцієнт внутрішнього тертя, початковий опір зсуву для пов'язаних насипних вантажів, коефіцієнт тертя про тверді поверхні, коефіцієнт ущільнення під впливом динамічних навантажень і т.п.) можна говорити, що завдання ненасиченої рівноваги мають конкретні рішення. Тоді можна говорити і про можливість ідентифікації динаміки вантажного автомобіля під час транспортування сипучого середовища.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Уявимо собі абсолютно тверде тіло, що має об'єм, частково або повністю заповнений сипким середовищем, яку представимо у вигляді ідеальної однорідної стисливої рідини. Тіло і рідину в його порожнині розглядатимемо як одну механічну систему та вивчати її рух по відношенню до нерухомої (інерційної) системи осей координат. Крім того, введемо до розгляду рухома систему осей координат  $Ox_1x_2x_3$ , жорстко пов'язану з твердим тілом, з початком у певній точці  $O$  тіла. Радіус-вектор будь-якої точки  $V$  системи відносно точки  $O'$  позначимо через  $\vec{r}'_V$ , а відносно точки  $O$  – через  $\vec{r}_V$ . Абсолютну швидкість точки  $V$  можна представити у вигляді:

$$\vec{v}_V = \vec{v}_0 + \vec{\omega} \times \vec{r}_V + \vec{u}_V$$

де  $\vec{v}_0$  – вектор швидкості точки  $O$  тіла;  $\vec{\omega}$  – вектор його миттєвої кутової швидкості;  $\vec{u}_V = d\vec{r}'_V / dt$  – вектор відносної швидкості точки  $V$  в русі щодо тіла.

Очевидно, що для точок твердого тіла  $\vec{u}_V = 0$ . Кінетична енергія системи  $T$  складається з кінетичних енергій тіла та рідини, причому

$$T_1 = \frac{M_1 \vec{v}_0^2}{2} + M_1 \vec{v}_0 \cdot (\vec{\omega} \times \vec{r}_1) + \frac{\vec{\omega} \Omega^{(1)} \cdot \vec{\omega}}{2}, \quad T_2 = \rho \int_{\tau} T^{\circ} d\tau, \quad (1)$$

де  $M_1$  і  $\vec{r}_1$  – маса та радіус-вектор центру мас твердого тіла;  $\Omega^{(1)}$  – тензор інерції тіла для точки  $O$ ;  $T^{\circ} = 0,5v^2$  – щільність кінетичної енергії рідини;  $\tau$  – обсяг простору  $x_1x_2x_3$ , зайнятий рідиною в даний момент часу;  $\rho$  – щільність рідини.

Об'єм  $\tau$  обмежений стінками  $\sigma_1$  порожнини, з якими рідина стикається в даний момент часу, і вільною поверхнею  $S$  (якщо рідина частково заповнює порожнину), рівняння якої можна подати у вигляді

$$f(x_1, x_2, x_3, t) = 0 \quad (2)$$

Поверхня  $\sigma$ , з якою в даний момент контактує рідина, і поверхня  $\sigma_1$ , з якою в даний момент стикається рідина, і поверхня  $\sigma_2$ , з якою стикається повітря.

Границею цих двох частин поверхні  $\sigma$  є лінія  $l$  перетину поверхні  $S$  з поверхнею  $\sigma$ . Якщо вільна поверхня рідини  $S$  не перетинається зі стінками порожнини  $\sigma$ , очевидно, лінії  $l$  немає. Надалі припускати, що поверхня  $S$  є гладкою або складається з кінцевого числа елементів гладких поверхонь.

Будемо припускати, що тверде тіло з рідиною, що розглядається, стиснуте деякими ідеальними геометричними зв'язками або є вільним. Число ступенів свободи тіла позначимо через  $n$  ( $n \leq 6$ ).

Положення системи визначатимемо лагранжовими координатами тіла  $q_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) та декартовими координатами частинок рідини  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ). При цьому вектори  $\vec{v}_0$  і  $\vec{\omega}$  можна викласти у вигляді деяких лінійних функцій узагальнених швидкостей  $\dot{q}_j$  з коефіцієнтами, що залежать від узагальнених координат  $q_j$ . Використовуючи ці вирази і підставляючи їх у формули (1), кінетичну енергію тіла та щільність кінетичної енергії рідини представимо у вигляді функцій другого ступеня від  $\dot{q}_j$  і  $u_i$ :  $T_1 = T_1(\dot{q}_j, q_j, t)$ ,  $T^{\circ} = T^{\circ}(\dot{q}_j, q_j, u_i, x_i, t)$ .

Вектор заданої активної сили, прикладеної до певної точки системи, позначимо через  $\vec{F}$ . Серед цих сил розрізнятимемо сили, що діють на точки твердого тіла, масові сили, що діють на рідину, та сили поверхневого натягу.

Наслідуючи концепцію Гауса, вважатимемо, що внаслідок зіткнення вздовж деякої поверхні двох різнорідних середовищ  $r$  і  $s$  виникають сили натягу, що мають потенціал, що дорівнює добутку площі поверхні зіткнення на коефіцієнт поверхневого натягу  $\alpha_{rs}$ , залежить від природи обох середовищ, причому, очевидно,  $\alpha_{rs} = \alpha_{sr}$ . Також, очевидно, що у разі сипучого середовища  $\alpha_{rs} = \alpha_{sr} = 0$ . У цьому випадку твердого тіла з рідиною таких різнорідних середовищ, взагалі кажучи, три: тверде тіло, рідина і повітря, яким приписуватимемо індекси 1, 2 і 3 відповідно. Коефіцієнти  $\alpha_{mm}$  надалі вважаються постійними.

Для виведення рівнянь руху твердого тіла з ідеальною рідиною скористаємося принципом найменшої дії Гамільтона-Остроградського.

Враховуючи умову стискання рідини, запишемо принцип у вигляді:

$$\int_{t_0}^{t_1} \left( \delta T + \sum_V \vec{F} \cdot \delta \vec{r}'_V + \int_{\tau} p \operatorname{div} \delta \vec{r}'_V d\tau \right) dt = 0, \quad (3)$$

де символ  $\delta$  означає варіацію або зміну відповідної величини при можливому переміщенні (при  $\delta t = 0$ ), причому при постійних межах інтегрування

$$\delta \vec{r}'_V = 0 \quad \text{при } t = t_0, \quad t = t_1; \quad (4)$$

$p(x_1, x_2, x_3, t)$  – множник Лагранжа, який у даному разі представляє гідродинамічний тиск. Варіюючи вираз кінетичної енергії системи (1), маємо

$$\delta T = \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial T}{\partial q_j} \delta q_j + \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \delta \dot{q}_j \right) + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \left( \frac{\partial T^\circ}{\partial x_i} \delta x_i + \frac{\partial T^\circ}{\partial u_i} \delta u_i \right) d\tau. \quad (5)$$

Підрахуємо суму елементарних робіт активних сил, що додаються до системи, на можливому її переміщенні. Так як для точок твердого тіла та частинок рідини  $\vec{r}' = \vec{r}'(q_j, x_i, t)$ , то

$$\sum_V \vec{F} \cdot \delta \vec{r}'_v = \sum_{j=1}^n Q_j \delta q_j + \rho \int_{\tau} \sum_{i=1}^3 F_i \delta x_i d\tau - \alpha_{23} \delta S - \alpha_{12} \delta \sigma_1 - \alpha_{13} \delta \sigma_2 - p_0 \int_S \vec{n} \cdot \delta_1 \vec{r} dS, \quad (6)$$

де  $Q_j = \sum_V \vec{F} \frac{\partial r'_j}{\partial q_j}$  ( $j = \overline{1, n}$ ) – узагальнені сили;  $\delta_1 \vec{r}$  – варіація радіуса-вектора  $\vec{r} = x_1 \vec{i}_1 + x_2 \vec{i}_2 + x_3 \vec{i}_3$  при фіксованих ортах рухомих осей  $\vec{i}_i$ ;  $\vec{n}$  – вектора зовнішньої нормалі до поверхні  $S$ .

Враховуючи закон збереження маси, будемо вважати, що зміна вектора  $\delta_1 \vec{r}$  зміщення рідини є неперервною функцією.

Вектор можливого переміщення рідини щодо твердого тіла  $\delta_1 \vec{r}$  будемо вважати безперервною функцією радіуса-вектора, що диференціюється  $\vec{r}$ , задовольняє умовам стискання в області  $\tau$ , непроникності стін  $\sigma$  та збереження об'єму рідини

$$\text{div} \delta_1 \vec{r} = 0; \quad \vec{n}_\sigma \cdot \delta_1 \vec{r} = 0; \quad \int_S \vec{n} \cdot \delta_1 \vec{r} dS = 0, \quad (7)$$

де  $\vec{n}_\sigma$  – нормаль до поверхні  $\sigma$ .

Варіації площі вільної поверхні  $S$  та площ змоченої  $\sigma_1$  і не змоченої  $\sigma_2$  частин поверхні стін порожнини на можливому переміщенні  $\delta_1 \vec{r}$  дорівнює:

$$\begin{aligned} \delta S &= \int_S 2H \delta \zeta dS + \int_l \delta \zeta_1 dl; \\ \delta \sigma_1 &= -\delta \sigma_2 = \int_l \delta \zeta_2 dl; \\ \delta \zeta &= \vec{n} \cdot \delta_1 \vec{r}; \\ \delta \zeta_i &= \vec{n}_i \cdot \delta_1 \vec{r}, (i = 1, 2); \\ H &= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $H$  – середня кривизна поверхні;  $R_1$  і  $R_2$  – головні радіуси кривизни поверхні  $S$  у цій точці, прийняті додатними, якщо центр кривизни лежить з тієї ж сторони цієї поверхні, як і рідина, і від'ємними – в іншому випадку;  $\vec{n}_1$  і  $\vec{n}_2$  – орти зовнішніх нормалей до контуру  $l$  поверхонь  $S$  і  $\sigma_1$ , розташовані відповідно до дотичних площин до цих поверхонь. Кут між нормальми  $\vec{n}_1$  і  $\vec{n}_2$  позначимо через  $\theta$ . Припускаючи, що навколо контуру поверхню стінок порожнини  $\sigma$  є досить гладкою і не має гострих ребер, знайдемо, що

$$\sigma \zeta_1 = \sigma \zeta_2 \cos \theta. \quad (9)$$

Розглянемо також інтеграл

$$\int_{\tau} p \text{div} \delta \vec{r}' d\tau = \int_{\tau} p \text{div} \delta_1 \vec{r} d\tau.$$

Так як  $p \text{div} \delta_1 \vec{r} = \text{div}(p \delta_1 \vec{r}) - \text{grad} p \cdot \delta_1 \vec{r}$  то, використовуючи теорему Гаусса-Остроградського, отримаємо:

$$\int_{\tau} p \text{div} \delta_1 \vec{r} d\tau = \int_S p \vec{n} \cdot \delta_1 \vec{r} dS - \int_{\tau} \text{grad} p \cdot \delta_1 \vec{r} d\tau. \quad (10)$$

Підставляючи вирази (4) – (9) до рівняння (3), отримаємо:

$$\begin{aligned} & \int_{t_0}^{t_1} \left\{ \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial T}{\partial q_j} \delta q_j + \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \delta \dot{q}_j \right) + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \left( \frac{\partial T^\circ}{\partial x_i} \delta x_i + \frac{\partial T^\circ}{\partial u_i} \delta u_i + F_i \delta x_i \right) d\tau + \right. \\ & \left. + \sum_{j=1}^n Q_j \delta q_j - \int_S (2\alpha_{23} H + p_0 - p) \delta \zeta dS - \int_l (\alpha_{23} \cos \theta + \alpha_{12} - \alpha_{13}) \delta \zeta_2 dl - \right. \\ & \left. - \int_{\tau} \text{grad} p \cdot \delta_1 \vec{r} d\tau \right\} dt = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Інтегруючи частинами  $(\partial T / \partial \dot{q}_j) \delta \dot{q}_j$  і  $(\partial T^\circ / \partial u_i) \delta u_i$ , а також враховуючи, що умови (4) у межах інтегрування еквівалентні  $\delta q_j = 0$ ,  $\delta x_i = 0$  при  $t = t_0$ ,  $t = t_1$ , отримуємо

$$\int_{t_0}^{t_1} \left\{ \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial T}{\partial q_j} - \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} + Q_j \right) \delta q_j + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \left( \frac{\partial T^\circ}{\partial x_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial T^\circ}{\partial u_i} + F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} \right) \delta x_i d\tau - \int_S (2\alpha_{23}H + p_0 - p) \delta \zeta dS - \int_l (\alpha_{23} \cos \theta + \alpha_{12} - \alpha_{13}) \delta \zeta_2 dl \right\} dt = 0. \quad (12)$$

Через незалежність  $\delta q_j$  і  $\delta x_i$  отримуємо рівняння руху твердого тіла з ідеальною рідиною у формі Лагранжа:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \frac{d}{dt} - \frac{\partial T}{\partial q_j} &= Q_j; \\ \frac{\partial T^\circ}{\partial u_i} \frac{d}{dt} - \frac{\partial T^\circ}{\partial x_i} &= F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} \end{aligned} \quad (13)$$

при  $j = \overline{1, n}$  і  $i = 1, 2, 3$ , а також граничні умови для тиску  $p$  на вільній поверхні  $S$ :

$$p = p_0 + 2\alpha_{23}H, \quad (14)$$

і для крайового кута  $\theta$  на контурі  $l$ :

$$\cos \theta = \frac{\alpha_{13} - \alpha_{12}}{\alpha_{23}}. \quad (15)$$

До цих рівнянь і граничних умов слід приєднати рівняння стиснення рідини

$$\operatorname{div} \bar{u} = 0, \quad (16)$$

а також кінематичні умови на твердих стінках  $\sigma_1 - u_n = \bar{u} \cdot \bar{n} = 0$  та на вільній поверхні  $S - \partial f / \partial t + \bar{u} \cdot \operatorname{grad} f = 0$ . Слід зазначити, що у разі, коли прикладені до системи активні сили мають силову функцію  $U(\bar{r}_V, t)$ , тобто

$$\bar{F} = \operatorname{grad}_{\bar{r}_V} U,$$

узагальнені сили

$$Q_j = \sum_V \frac{\partial \bar{r}_V'}{\partial q_j} \cdot \operatorname{grad}_{\bar{r}_V} U = \frac{\partial U}{\partial q_j}, \quad j = \overline{1, n},$$

і рівняння (13) набувають вигляду

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial L}{\partial q_j} = 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (17)$$

де  $L = T + U$  – функціонал Лагранжа. У випадку силова функція активних сил, які діють на систему:

$$U = U_1 + \rho \int_{\tau} U_2 d\tau + U_2^*,$$

де  $U_1(q_j, t)$  – силова функція активних сил, прикладених до твердого тіла;  $U_2(q_j, x_i, t)$  – силова функція масових сил, які діють на рідину;

$U_2^* = -(\alpha_{23}S + \alpha_{12}\sigma_1 + \alpha_{13}\sigma_2)$  – силова функція сил поверхневого натягу.

Функцію  $U$  далі будемо вважати безперервною, що володіє безперервними похідними частинними по всіх координатах. Позначаючи через  $L^\circ = T^\circ + U_2$  функцію Лагранжа для одиниці маси рідини, рівняння (13) можна записати у вигляді

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L^\circ}{\partial u_i} - \frac{\partial L^\circ}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (18)$$

оскільки у разі дії потенційних сил

$$F_i = \frac{\partial U_2}{\partial x_i}, \quad i = 1, 2, 3.$$

**Умови рівноваги твердого тіла з ідеальною рідиною**

Розглянемо питання характеру рівноваги твердого тіла з рідиною у разі, якщо у становищі рівноваги потенційна енергія системи немає мінімуму. Для систем із кінцевим числом ступенів свободи існують, як відомо, доведення теореми Лагранжа, дані Ляпуновим та Читаєвим.

Аналогічну теорему можна довести й для твердого тіла з рідиною.

Обмежимося випадком, коли в околиці положення рівноваги потенційна енергія системи має вигляд  $\Pi = \Pi^{(2)} + \Pi^{(3)} + \dots$ , де  $\Pi^{(k)}$  – однорідний функціонал відхилення системи від положення рівноваги ступеня  $k$ .

*Теорема 1.* Якщо для скільки завгодно малої околиці положення рівноваги твердого тіла з рідиною потенційна енергія системи  $\Pi$  може набувати відємних значень і якщо при цьому знаки виразів  $\Pi^{(2)} + \Pi^{(3)} + \dots$  і  $2\Pi^{(2)} + 3\Pi^{(3)} + \dots$  визначаються квадратичним функціоналом то положення рівноваги нестійке.

Допустимо, що в положенні рівноваги координати твердого тіла  $q_j = 0, j = \overline{1, n}$ , координати частинок рідини  $x_i = x_{i0}, i = 1, 2, 3$  та рідина заповнює об'єм  $\tau_0$ . Нехай у положенні рівноваги потенційна енергія системи  $\Pi = 0$  та не мінімальна; в околиці положення рівноваги існує область, де  $\Pi < 0$ . Виведемо систему зі становища рівноваги і, надавши їй собі, розглянемо збурений рух. Він описується рівняннями (17), (18), (16) із відповідними граничними умовами.

Радіус-вектор зміщення частинки рідини щодо твердого тіла з положення рівноваги позначимо через  $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$ . Очевидно,

$$\Delta\vec{r} = \Delta_0\vec{r} + \int_{t_0}^{t_1} \vec{u} dt, \tag{19}$$

де  $\Delta_0\vec{r}$  – радіус-вектор початкового зміщення рідини, причому через нестисливість  $div\Delta_0\vec{r} = 0$ . Тоді з (19) при врахуванні рівняння (16) випливає:

$$div\Delta\vec{r} = 0. \tag{20}$$

Нахил збуреної поверхні рідини до незбуреної характеризується частинними похідними.  $n_u, n_v$  функції  $n(u, v) = \Delta\zeta$ . Максимум  $|n_u|, |n_v|$  позначимо через  $\nabla$  і назвемо нахилом збуреної поверхні до незбуреної.

Розглянемо функціонал

$$V = -(T + \Pi) \left( \sum_{j=1}^n \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \dot{q}_j + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \frac{\partial T^\circ}{\partial u_i} \Delta x_i d\tau \right). \tag{21}$$

У досить малій околиці положення рівноваги, тобто в області малих за абсолютною величиною значень координат  $q_j, \Delta x_i$  способи  $\nabla$  та швидкостей  $\dot{q}_j, u_i$  виділимо існуючу для скільки завгодно малих за абсолютною величиною  $q_j, \Delta x_i, \nabla, \dot{q}_j, u_i$  нескінченно мірну область  $\Upsilon$ , визначену спільними нерівностями виду:

$$\begin{aligned} T + \Pi &< 0; \\ \sum_{j=1}^n \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \dot{q}_j + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \frac{\partial T^\circ}{\partial u_i} \Delta x_i d\tau &> 0. \end{aligned} \tag{22}$$

Існування першої з цих нерівностей при досить малих  $\dot{q}_j, u_i$  очевидно через умови теореми про відсутність мінімуму  $\Pi$ . У точках околиці положення рівноваги, де виконується ця нерівність, швидкості  $\dot{q}_j, u_i$  завжди можна вибрати за знаком такими, щоб виконувалася і друга з нерівностей (22).

В області  $\Upsilon$  функціонал  $V$  є, очевидно, обмеженим, тобто існує таке позитивне число  $N$ , що в області  $\Upsilon$

$$|V| < N. \tag{23}$$

Похідна за часом від функціоналу  $V$ , в силу рівнянь збуреного руху (17), (18), (16), має вигляд:

$$\dot{V} = -(T + \Pi) \left\{ \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \ddot{q}_j + \frac{\partial L}{\partial q_j} \dot{q}_j \right) + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \left[ \left( \frac{\partial T^\circ}{\partial x_i} + \frac{\partial U_2}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} \right) \Delta x_i + \frac{\partial T^\circ}{\partial u_i} \dot{u}_i \right] d\tau \right\}. \tag{24}$$

Враховуючи співвідношення

$$\sum_{j=1}^n \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} \dot{q}_j + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \frac{\partial T^\circ}{\partial u_i} u_i d\tau = 2T, \tag{25}$$

у справедливості якого неважко переконатися безпосереднім обчисленням, вираз для  $\dot{V}$  запишемо у вигляді

$$\dot{V} = -(T + \Pi) \left\{ 2T + \sum_{j=1}^n \frac{\partial T}{\partial q_j} q_j + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \left( \frac{\partial T^\circ}{\partial x_i} + \frac{\partial U_2}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} \right) \Delta x_i d\tau + \sum_{j=1}^n \frac{\partial U}{\partial q_j} q_j \right\}. \quad (26)$$

Внаслідок того, що зв'язки, накладені на тверде тіло, передбачається не залежать від часу, кінетична енергія  $T$  є додатною щодо  $\dot{q}_j$  і  $u_i$ . Для досить малих за абсолютною величиною значень  $q_j$  і  $\Delta x_i$  вираз  $2T + \sum_{j=1}^n \frac{\partial T}{\partial q_j} q_j + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \frac{\partial T^\circ}{\partial x_i} \Delta x_i d\tau$  за безперервності також буде додатним щодо  $\dot{q}_j$  і  $u_i$ .

Розглянемо тепер інші доданки у виразі (26). Враховуючи, що  $\Pi = \Pi^{(2)} + \Pi^{(3)} + \dots$ , де  $\Pi^{(2)} = \delta^2 \Pi / 2!$ ,  $\Pi^{(3)} = \delta^3 \Pi / 3!$ , знаходимо:

$$\frac{\partial U}{\partial q_j} = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_j} = -\sum_{i=1}^3 \left( \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_j \partial q_i} \right)_0 q_i + \rho \int_{S_0} \left( \frac{\partial U_2}{\partial q_j} \right)_0 n dS,$$

як що

$$\sum_{j=1}^n \frac{\partial U}{\partial q_j} q_j = -\sum_{i,j=1}^n \left( \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_i \partial q_j} \right)_0 q_i q_j + \rho \int_{S_0} \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial U_2}{\partial q_j} \right)_0 q_j n dS + \dots$$

Далі, з урахуванням (21) і (14), будемо мати

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \frac{\partial U_2}{\partial x_i} \Delta x_i d\tau &= \rho \int_{S_0} \left[ U_2(0, x_i) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial U_2}{\partial q_j} \right)_0 q_j + \left( \frac{\partial U_2}{\partial n} \right)_0 n \right] n dS + \dots; \\ \sum_{i=1}^3 \int_{\tau} \frac{\partial p}{\partial x_i} \Delta x_i d\tau &= \alpha_{23} \int_{S_0} [2H - 2(2H^2 - K)n - \Delta^\circ n] n dS. \end{aligned} \quad (27)$$

Застосовуючи формулу Гріна, отримаємо

$$\sum_{i=1}^3 \int_{\tau} \frac{\partial p}{\partial x_i} \Delta x_i d\tau = \alpha_{23} \int_{S_0} [2Hn - 2(2H^2 - K)n^2 + \nabla^\circ n] dS - \alpha_{23} \int_{l_0} n \frac{dn}{ds_1} dl. \quad (28)$$

Таким чином, остаточно матимемо

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \frac{\partial U}{\partial q_j} q_j + \sum_{i=1}^3 \rho \int_{\tau} \left( \rho \frac{\partial U_2}{\partial x_i} - \frac{\partial p}{\partial x_i} \right) \Delta x_i d\tau &= -\sum_{i,j=1}^n \left( \frac{\partial^2 \Pi}{\partial q_i \partial q_j} \right)_0 q_i q_j + \\ + \int_{S_0} \left[ 2\rho \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial U_2}{\partial q_j} \right)_0 q_j n + \rho \left( \frac{\partial U_2}{\partial n} \right)_0 n^2 + 2\alpha_{23} (2H^2 - K)n^2 - \alpha_{23} \nabla^\circ n \right] dS + \\ + \alpha_{23} \int_{l_0} \left( \frac{1}{R_{n_2}} - \frac{\cos \theta}{R_{n_1}} \right) n^2 \sin \theta dl + \dots &= -2\Pi^{(2)} + \dots, \end{aligned} \quad (29)$$

де крапки позначають члени виду  $-3\Pi^{(3)} + \dots$ . Згідно (26), знаходимо:

$$\dot{V} = -(T + \Pi) \left\{ 2T + \sum_{j=1}^n \frac{\partial T}{\partial q_j} q_j + \rho \int_{\tau} \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T^\circ}{\partial x_i} \Delta x_i d\tau - 2\Pi^{(2)} + \dots \right\}. \quad (30)$$

Так як в області  $\Upsilon$  потенційна енергія  $\Pi$  негативна, а знаки  $\Pi$  та вирази  $2\Pi^{(2)} + 3\Pi^{(3)} + \dots$  визначаються членами другого порядку  $\Pi^{(2)} < 0$ , то в області  $\Upsilon$  цей вираз від'ємний:  $2\Pi^{(2)} + 3\Pi^{(3)} + \dots < 0$ .

Отже, в області  $\Upsilon$  похідна від функціоналу  $V$  є додатною щодо  $q_j$ ,  $\Delta x_i$ ,  $\dot{q}_j$ ,  $u_i$ ,  $\nabla$ . При цьому певна позитивність функціоналу  $\dot{V}$  у сфері позитивності функціоналу  $V$  визначається аналогічно до визначеності функції в області  $V > 0$ . Вибираючи початкові збурення  $q_{j0}$ ,  $\Delta_0 x_i$ ,  $\nabla_0$ ,  $\dot{q}_{j0}$ ,  $u_{i0}$  в області  $\Upsilon$  як завгодно малими, так що початкове значення  $V_0 > 0$ , з рівняння

$$V = V_0 + \int_{t_0}^t \dot{V} dt \quad (31)$$

покладаємо, що з часом нерівність (23) буде порушена, чим і доводиться нестійкість положення рівноваги.

*Теорема.* Якщо у положенні рівноваги твердого тіла з рідиною потенційна енергія системи  $\Pi = \Pi^{(2)} + \Pi^{(3)} + \dots$  не має мінімуму і це зрозуміло вже за її другою варіацією  $\Pi^{(2)}$  без необхідності розгляду членів вищих порядків, положення рівноваги нестійке.

У нескінченно мірному просторі змінних  $q_j, \Delta x_i, n_u, n_v$  розглянемо гіперсферу з центром у положенні рівноваги довільно малого радіусу  $\varepsilon > 0$ . На цій гіперсфері безперервний функціонал  $\Pi$  для деяких значень  $a_s$  аналізованих змінних набуває найменшого значення  $\Pi_0$ . Згідно з припущенням о потенційної енергії  $\Pi$ , це найменше значення буде негативним та визначається функціоналом  $\Pi^{(2)}$ . Отже,  $\Pi_0$  буде другого порядку малості порівняно з  $\varepsilon$ .

Нехай область, де вивчається питання про нестійкість збурених рухів, визначена нерівностями

$$|q_j| < l, |x_i| < l, |\dot{q}_j| < l, |u_i| < l, |\nabla| < l \tag{32}$$

при довільно малому додатному  $l$ . Припускаємо, що відношення величин  $l$  і  $\varepsilon$  представляє певну кількість, хоча й дуже велику. При такому припущенні про вибір  $l$  і  $\varepsilon$  вираз

$$2\Pi_0 + \Pi^{(3)} + 2\Pi^{(4)} + \dots \tag{33}$$

в області (32) буде безперечно від'ємним. У збуреному русі за початкові значення змінних приймемо значення  $a_s$ , а початкові значення всіх швидкостей приймемо рівними нулю. Такий збурений рух відбуватиметься відповідно до закону кінетичної енергії  $T + \Pi = \Pi_0$  і, отже, відбуватиметься в області, визначеній нерівністю

$$\Pi_0 - \Pi \geq 0. \tag{34}$$

Розглянемо функціонал

$$V = \sum_{j=1}^n \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j} q_j + \rho \int_{\tau}^3 \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T^0}{\partial u_i} \Delta x_i d\tau \tag{35}$$

і похідну за часом від нього через рівняння збуреного руху (17), (18), (16)

$$\dot{V} = 2T + \sum_{j=1}^n \frac{\partial T}{\partial q_j} q_j + \rho \int_{\tau}^3 \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T^0}{\partial x_i} \Delta x_i d\tau - 2\Pi^{(2)} + \dots \tag{36}$$

Для збуреного руху, що відбувається в області (34), похідна  $\dot{V}$  буде додатною. Справді, як з'ясовано вище, вираз

$$2T + \sum_{j=1}^n \frac{\partial T}{\partial q_j} q_j + \rho \int_{\tau}^3 \sum_{i=1}^3 \frac{\partial T^0}{\partial x_i} \Delta x_i d\tau$$

при досить малому  $l$  буде додатним щодо  $\dot{q}_j$  і  $u_i$ , а

$$-(2\Pi^{(2)} + 3\Pi^{(3)} + \dots) > 0 \tag{37}$$

в силу (33) і (34). Позначимо через  $l'$  мінімум виразу, що стоїть у лівій частині нерівності (37), усереднені області, визначені нерівностями (32) та (34). З рівняння (31), де у цьому випадку  $V_0 = 0$ , виводимо, що  $V > l'(t - t_0)$ , поки змінні за час від  $t_0$  до  $t$  не порушували нерівностей (32). Отже, з часом нерівність (23) буде порушена. Теорему доведено.

### Висновки

Таким чином, вивчення руху твердого тіла з ідеальною рідиною зводиться до дослідження спільної системи рівнянь (13) та (16) з граничними умовами (14) та (15). Зазначимо, що у разі, коли силами поверхневого натягу можна знехтувати, умова (14) набуває вигляду  $p = p_0$ , а умова (15) зникає. Умова (15) буде, таким чином, наслідком більш високого порядку рівнянь, які слід інтегрувати при врахуванні сил поверхневого натягу, щоб отримати рівняння виду (2). Рівняння (14), (15) і вільної поверхні, зрозуміло, випадають.

Рівняння (13) мають вигляд звичайних рівнянь Лагранжа  $p = 0$ , що відповідає випадку відсутності рідини в об'ємі, то рівняння (13) будуть рівняння Лагранжа для одного твердого тіла.

### Список використаної літератури

1. Джента Г., Морелло Л. Автомобільні шасі (серія машинобудування 2). Берлін: Springer-Verlag, 2009.
2. С. Овсянніков, Є. Калінін, І. Колісник. Коливальний процес багатоопорних машин при проїзді нерівностей. Міжнародна науково-практична конференція «Енергоменеджмент муніципальних об'єктів та стійкі енергетичні технології: досягнення інтелектуальних систем та обчислень ЕММФТ. 2018. Вип. 982. С. 307–317. doi: 10.1007/978-3-030-19756-8\_28.



3. Паувелуссен Дж. Основи динаміки автомобіля. Оксфорд: Butterworth-Heinemann, 2014.
4. Пацейка Х. Динаміка шин і транспортних засобів. Оксфорд: Butterworth-Heinemann, 2006.
5. Ребров О., Кожушко А., Кальченко Б., Мамонтов А., Заковоротний А., Калінін Є., Головіна Є. Математична модель характеристик дизеля для визначення показників тягової динаміки колісного трактора. EUREKA Phys Eng. 2020. Том. 4. С. 90–100. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001352>
6. Луйтен М. Бічна динамічна поведінка зчленованих комерційних транспортних засобів [Магістерська робота]. Ейндховен: Технологічний університет Ейндховена, 2010.
7. Калінін Ю., Клец Д., Шуляк М., Холодов А. Інформаційна система керування транспортно-технологічним агрегатом із змінною масою. Матеріали семінару CEUR. 2020. Том. 2732. С. 303–312.
8. Смирнов О., Борисенко А., Марченко А., Грицук І. та ін. Нова концепція створення гібридної силової установки автомобіля. Технічний документ SAE 2020-01-2248, 2020. <https://doi.org/10.4271/2020-01-2248>.
9. Калінін Ю., Сайчук О., Романченко В., Колісник І., Кожушко А. Визначення напружень у балках за короткочасним впливом на їх опори. У: Важливість нових технологій і підприємництва в розвитку бізнесу: у контексті економічної різноманітності в країнах, що розвиваються. ICBT. Конспект лекцій з мереж і систем. Т. 194. 2021. С. 617–328. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-69221-6\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69221-6_47)

### References

1. Genta G., Morello L. (2009) Automotive chassis (mechanical engineering series 2). Berlin: Springer-Verlag;.
2. S. Ovsyannikov, E. Kalinin, I. Kolisnyk. (2018). Oscillating process of multi-support machines when driving over irregularities. International scientific and practical conference “Energy management of municipal facilities and sustainable energy technologies: achievements of intelligent systems and calculations EMMFT 2018. Issue 982. 307–317. doi: 10.1007/978-3-030-19756-8\_28.
3. Pauwelussen J. (2014) Fundamentals of Vehicle Dynamics. Oxford: Butterworth-Heinemann;
4. Patseyka H. (2006) Dynamics of Tires and Vehicles. Oxford: Butterworth-Heinemann;
5. Rebrov O., Kozhushko A., Kalchenko B., Mamontov A., Zakovorotny A., Kalinin E., Golovina E. (2020) Mathematical model of diesel engine characteristics for determining traction dynamics indicators of a wheeled tractor. EUREKA Phys Eng. vol. 4. 90–100. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001352>
6. Luyten M. (2010) Lateral dynamic behavior of articulated commercial vehicles [Master’s thesis]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
7. Kalinin Y., Klets D., Shulyak M., Kholodov A. (2020) Information control system for a transport and technological unit with variable mass. Proceedings of the CEUR seminar. vol. 2732. 303–312.
8. Smirnov O., Borisenko A., Marchenko A., Hrytsuk I. et al. (2020) A new concept for creating a hybrid vehicle power plant. Technical document SAE 2020-01-2248, <https://doi.org/10.4271/2020-01-2248>.
9. Kalinin Yu., Saychuk O., Romanchenko V., Kolisnyk I., Kozhushko A (2021). Determination of stresses in beams by short-term impact on their supports. In: The importance of new technologies and entrepreneurship in business development: in the context of economic diversity in developing countries. ICBT 2020. Lecture notes on networks and systems. Vol. 194. Pp. 617–328. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-69221-6\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69221-6_47)

**А. О. КЕЛЕМЕШ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту  
Полтавський державний аграрний університет  
ORCID: 0000-0001-9429-8570

**О. А. БУРЛАКА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту  
Полтавський державний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-2296-7234

**С. В. ЛЯШЕНКО**

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту  
Полтавський державний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-3227-3738

**В. В. ЛАВРЕНКО**

старший викладач кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту  
Полтавський державний аграрний університет  
ORCID: 0009-0001-6145-9224

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БРОНЗОВИХ ВТУЛОК В АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНАХ

У науковій публікації наведено результати дослідження по визначенню впливу пластичного вібраційного деформування бронзових втулок автомобільних двигунів внутрішнього згоряння при їх відновленні. Основну увагу теоретичного та експериментального дослідження приділено удосконаленню складових технологій відновлення деталей автомобільних двигунів методами вібраційного пластичного деформування та вивченню механічних властивостей робочих поверхонь відновлених деталей таких автомобільних двигунів. На основі теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано механізми підвищення зносостійкості робочих поверхонь бронзових втулок системи газорозподілу автомобільних двигунів як застосування вібраційного пластичного деформування поверхневого шару бронзових втулок. Низка експериментального дослідження виконувалась при відновленні вібраційним пластичним деформуванням бронзових втулок розподільчого валу автомобіля КРАЗ.

Отримані закономірності зміни маси зсунутого на торець бронзової втулки металу за умови варіації кількісними значеннями кутів ухилу робочої поверхні пуансона та зусилля деформування при звичайній та вібраційній пластичній деформації підтверджують перевагу технологій вібраційного відновлення бронзових втулок автомобільних двигунів.

За порівняльними результатами дослідження мікроструктури робочих поверхонь бронзових втулок автомобільних двигунів зазначено, що при відновленні таких деталей вібраційним пластичним деформуванням, поверхнева зміцнена структура стає більш дрібнозернистою та має більшу ступінь рівномірності в порівнянні зі звичайною пластичною деформацією таких зразків. Збільшення глибини пластичного деформування призводить до додаткового зміцнення приконттактних відносно оброблюваного інструменту шарів робочої поверхні бронзової втулки. За умови застосування вібраційної пластичної деформації такі процеси відбуваються з більшою інтенсивністю.

**Ключові слова:** вібраційне деформування, автомобільний двигун, машинобудування, бронзова втулка, пластичність, зносостійкість, відновлення, пластична деформація.

**A. O. KELEMESH**

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering  
and Automobile Transport  
Poltava State Agrarian University  
ORCID: 0000-0001-9429-8570

O. A. BURLAKA

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering  
and Automobile Transport  
Poltava State Agrarian University  
ORCID: 0000-0002-2296-7234

S. V. LIASHENKO

PhD, Associate Professor,  
Head of the Department of Agricultural Engineering  
and Automobile Transport  
Poltava State Agrarian University  
ORCID: 0000-0002-3227-3738

V. V. LAVRENKO

Senior Lecturer at the Department of Agricultural Engineering  
and Automobile Transport  
Poltava State Agrarian University  
ORCID: 0009-0001-6145-9224

## RESEARCH ON THE INFLUENCE OF PLASTIC DEFORMATION ON THE WEAR RESISTANCE OF BRONZE BUSHINGS IN AUTOMOTIVE ENGINES

*The scientific publication presents the results of a study on determining the influence of plastic vibration deformation of bronze bushings of automobile internal combustion engines during their restoration. The main attention of theoretical and experimental research is paid to improving the components of the technology for restoring automobile engine parts by methods of vibration plastic deformation and studying the mechanical properties of the working surfaces of restored parts of such automobile engines. Based on theoretical and experimental research, mechanisms for increasing the wear resistance of the working surfaces of bronze bushings of the gas distribution system of automobile engines are proposed as the application of vibration plastic deformation of the surface layer of bronze bushings. A series of experimental studies was carried out during the restoration of bronze bushings of the KRAZ vehicle camshaft by vibration plastic deformation.*

*The obtained regularities of the change in the mass of the metal shifted to the end of the bronze bushing under the condition of varying the quantitative values of the angles of inclination of the working surface of the punch and the deformation force during conventional and vibrational plastic deformation confirm the superiority of the technologies of vibrational restoration of bronze bushings of automobile engines.*

*According to the comparative results of the study of the microstructure of the working surfaces of bronze bushings of automobile engines, it is noted that when restoring such parts by vibrational plastic deformation, the surface strengthened structure becomes finer-grained and has a greater degree of uniformity compared to conventional plastic deformation of such samples. An increase in the depth of plastic deformation leads to additional strengthening of the layers of the working surface of the bronze bushing in contact with the tool being processed. When using vibrational plastic deformation, such processes occur with greater intensity.*

**Key words:** vibration deformation, automobile engine, mechanical engineering, bronze bushing, plasticity, wear resistance, recovery, plastic deformation.

### Постановка проблеми

Рівень технічного стану вантажного та спеціалізованого автомобільного транспорту виробничих підприємств, що використовується для перевезення значної кількості вантажів, можливо визначати ступенем технічної справності та експлуатаційної надійності вузлів і агрегатів таких машин.

Відповідно, дослідження, експериментальна перевірка та виробниче впровадження нових технологічних процесів щодо ремонтного відновлення, а також виготовлення деталей дає змогу підвищити ступінь надійності та термін міжремонтного використання автомобільного транспорту.

З урахуванням сучасних важких умов використання автомобілів, зумовлених в тому числі і воєнним станом, особливо вантажних, призводить до значного збільшення витрат на відновлення автомобілів як фінансових, так людських ресурсів [1].

Можливо зауважити, що в сучасному автомобілебудуванні все більшого поширення набуває використання деталей, виготовлених з кольорових металів і сплавів. Відомо, що такі деталі при використанні у вузлах та агрегатах автомобільного транспорту витримують значні питомі динамічні та статичні навантаження та працюють при високих швидкостях. Більшість таких деталей виконані у формі бронзових підшипників ковзання типу «втулка» [2]. Прикладом використання описаних кінематичних пар, що використовують бронзові деталі,

є підшипники ковзання в розподільчих валах механізму газорозподілу та підшипники ковзання в турбонаддуві системи забезпечення повітрям двигуна внутрішнього згоряння.

На основі виробничої перевірки механічних властивостей робочих поверхонь бронзових деталей, що відновлені або зміцнені при виготовленні вібраційним пластичним деформуванням, можливо запропонувати таку технологію відносно бронзових втулок, що використовуються в автомобільних двигунах.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Відомо, що використання вібраційних коливань та пластичної деформації у якості складових технологічних процесів відновлення просторових форм та зміцнення робочих поверхонь деталей типу «втулка», і в ремонтному виробництві, і при виготовленні нових, дає змогу отримати суттєві переваги в порівнянні з загальнопоширеними традиційними методами обробки та виготовлення таких деталей, що використовуються в машинобудуванні.

Відносно сучасних досліджень з даної тематики, то дослідження експериментального характеру [1], представлені як результати вивчення впливу пластичної деформації на міцність, на розрив і втомну довговічність при крученні бронзового сплаву  $\text{CuSn7Zn4Pb7}$ . Такі дослідження спрямовані на систематизацію різних видів пошкоджень при пластичній деформації, з урахуванням різних комбінацій пластичної деформації та навантажень. Додатково було розглянуто мікроструктуру деформованого матеріалу [1] з перевіркою на відповідність стандартам бронзи. А в нашому випадку пропонується досліджувати пластичну деформацію як елемент технологічного процесу з відновлення геометричних форм і розмірів бронзових деталей автомобільних двигунів без руйнування.

Результати досліджень щодо пластичної деформації та бронзового покриття [2] може ефективно використовуватися при покращенні з'єднання втулка-вал. Нанесення на попередньо насичений вуглецем цементований шар м'якого антифрикційного шару, в тому числі з олов'яної бронзи, дає змогу підвищити втомну міцність валу.

У праці [3] розглядається та пропонується стратегія «внутрішньогранулярного ультрананоосадження». Мета – доволі сильна пластифікація з одночасним зміцненням полікристалічних сплавів  $\text{Cu}$ . При цьому, за твердженням авторів, внутрішньогранулярна дисперсія ультрананочастинок підвищує пластичність сплаву олов'яної бронзи на розтяг більш ніж у 2 рази, а також на 20% підвищує міцність сплаву.

Автори роботи [4] презентують результати досліджень щодо поведінки гарячої деформації сплаву  $\text{C83600 Tin Bronze}$  за підвищених температур. Отримано модифіковану модель типу Арреніуса поведінки гарячої деформації сплаву олов'яної бронзи  $\text{C83600}$ , що має кращу передбачуваність. При цьому отримано реальну криву напруження-деформація сплаву  $\text{C83600 Tin Bronze}$  під час ізотермічного випробування на стиск з температурним діапазоном  $873\text{--}1073\text{ K}$  і діапазоном швидкості деформації  $0,001\text{--}1\text{ s}^{-1}$ . Були встановлені основні рівняння для опису високо-температурного напруження течії цього сплаву.

Тобто пластична деформація бронзи, характер поведінки такого матеріалу при різних навантаженнях та температурних режимах, є досить актуальною науковою проблемою, питання подальшого дослідження можуть бути проведені в напрямку здійснення пластичної деформації з використанням вібраційного інструменту.

Фізична природа вібраційного зміцнення в своїй основі містить коливальні гармонійні рухи відносно поверхні деталі, що піддається обробці при взаємодії з оброблювальним інструментом [5]. В наукових працях [6–7] авторами визначено підвищення опору втому металу за умови здійснення віброударних навантажень, крім цього, зазначено покращення механічних властивостей робочих поверхонь за умови використання відцентрового вібраційного зміцнення. Авторами у праці [7–8] зазначається зменшення використання матеріальних та трудових ресурсів в ремонтному виробництві за умови використання вібраційних технологій.

Фізична природа вібраційної обробки може бути охарактеризована циклічним періодичним відривом робочої поверхні інструмента відносно поверхні, що обробляється. Останнє дає змогу утворювати мікропроцеси розвантаження вказаних поверхонь. Ступінь динамічного навантаження при вібраційному зміцненні деталей збільшується зі збільшенням таких параметрів, як амплітуда та частота коливань [9–10]. Викладені в науковій літературі результати дослідження щодо впливу технологічних та технічних параметрів вібраційного пластичного деформування на робочі поверхні деталей є недостатніми.

Відомо, що ступінь зносостійкості матеріалу деталей, які пройшли вібраційну обробку, в значній мірі можливо визначити глибиною зміцненого шару, при цьому, за твердженням авторів [11–12] конкретні рекомендації по такій технології відсутні.

Відповідно, з урахуванням вищевикладеного, вважаємо за необхідне проведення розширених досліджень щодо визначення закономірностей вібраційного деформування деталей автомобілів.

#### **Формулювання мети дослідження**

Мета дослідження при цьому може бути визначена як поглиблене дослідження та визначення оптимальних параметрів технологій вібраційної обробки робочих поверхонь бронзових деталей автомобільних двигунів за умови підвищення їхньої експлуатаційної надійності та зносостійкості. Отримані при цьому результати дослідження мають як теоретичний, так і практичний інтерес.

Для досягнення поставленої мети нами передбачено вирішення наступних задач дослідження:

1) провести обґрунтування технологічного процесу вібраційного пластичного деформування бронзових втулок автомобільних двигунів, спрямованих на підвищення надійності та зносостійкості робочих поверхонь таких втулок;

2) здійснити порівняльний аналіз механічних властивостей деталей автомобільних двигунів, що виготовлені або відновлені за допомогою звичайного та вібраційного пластичного деформування.

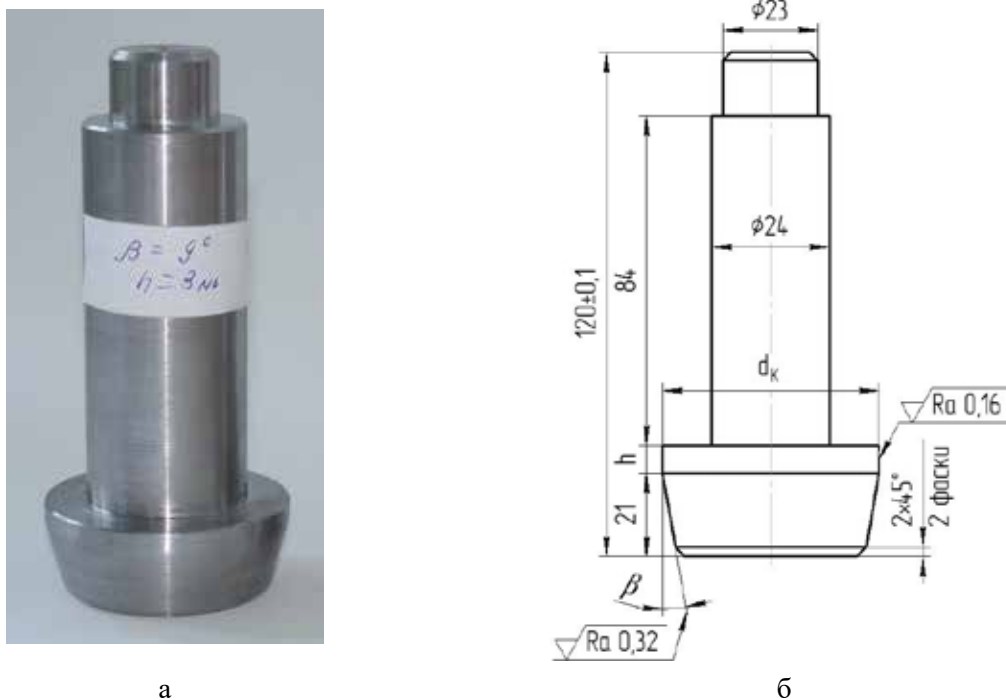
#### Викладення основного матеріалу дослідження

Предметом дослідження було обрано зразки натуральних зношених деталей автомобільних двигунів.

За досліджувані зразки використовували опорні втулки розподільчого валу двигуна автомобіля КРАЗ, виготовлені з бронзи БрОЦС 5-5-5 у двох розмірних групах: перша розмірна група –  $L = 38,5$  мм;  $d = 68$  мм;  $d_0 = 54$  мм; друга розмірна група –  $L = 30$  мм;  $d = 68$  мм;  $d_0 = 54$  мм.

Вібраційне відновлення та зміцнення внутрішньої поверхні досліджуваних зразків було виконано з використанням спеціального пуансону, що в свою чергу виготовлений з інструментальної сталі У7 [13].

Технологія виготовлення основного робочого інструменту – пуансонів (рис. 1) включала технологічну операцію термічного загартування в оливі з попереднім нагріванням пуансона до температури 780–800°C. Після цього здійснювався термічний відпуск при температурі 400–420°C, подальша витримка протягом 15...20 хв та охолодження. Важливо, що після термічної обробки твердість робочої поверхні пуансона становила 55–58 одиниць HRC, при цьому твердість хвостовика пуансона складала 40–45 одиниць HRC.

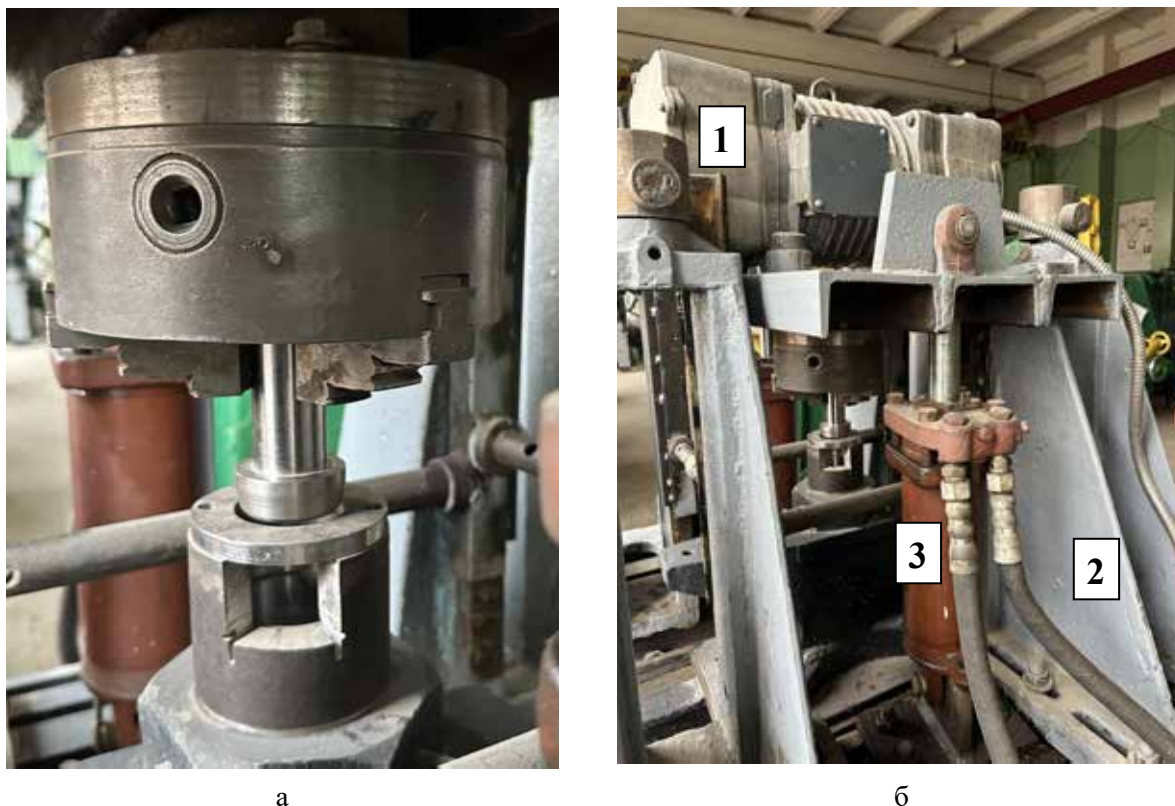


**Рис. 1. Пуансон, що використаний для обробки робочих поверхонь бронзових втулок автомобільних двигунів: а – натурний зразок; б – компоновальна схема [13]**

Одним з важливих факторів експериментального дослідження було визначення ступеню впливу зміни кута нахилу робочої поверхні пуансона на міцнісні характеристики обробленої поверхні бронзових втулок автомобільних двигунів. Експериментальні дослідження були проведені у варіаціях кута нахилу робочої поверхні пуансона  $\beta$ : 8°, 9°, 10°. Щодо особливості методики проведення експериментального дослідження, то у варіаціях експерименти по пластичному вібраційному деформуванню зношених бронзових втулок автомобільних двигунів було виконано як із застосуванням мастильної речовини, так і без неї. В якості останньої було використано моторне мастило М10Г2.

Експериментальні дослідження щодо віднайдення закономірностей та режимів вібраційної пластичної деформації відносно відновлення та зміцнення робочих поверхонь бронзових втулок автомобільних двигунів було здійснено з використанням спеціального експериментального обладнання (рис. 2). Основними складовими такого обладнання – експериментальної вібраційної установки визначено: збудувач вібраційних коливань (1), що змонтований на основі. Вертикальний рух збудувача вібраційних коливань, а відповідно і робочого пуансона став

можливий за допомогою системи гідравлічного приводу (3). Масивність основи установки (2) та віброізоляція запобігали передачі коливань відносно підлоги виробничого приміщення, рамна конструкція призначена для надійного кріплення вібраційного вузла.



**Рис. 2.** Загальний вигляд експериментального обладнання для дослідження режимів вібраційної пластичної деформації при відновленні та зміцненні робочих поверхонь бронзових втулок автомобільних двигунів: а – система пуансон-матриця, б – силова вібраційно-гідравлічна система

За допомогою використаного в нашому дослідженні спеціального експериментального обладнання стало можливо виконувати низку дослідів з вібраційного пластичного деформування бронзових деталей, а саме: роздачі внутрішньої робочої поверхні, зовнішнього обтискання деталей типу «втулка» з одночасним зміцненням робочих поверхонь.

При одночасному використанні гідравлічного дроселя в системі гідроприводу даного експериментального обладнання, а також з урахуванням технічних та технологічних характеристик вібраційного вузла установки стало можливим змінювати основні режими проведення процесу вібраційного пластичного деформування: амплітуда, частота коливань робочого інструменту, швидкість руху вібраційного вузла.

Щодо методики визначення механічних та міцнісних властивостей оброблених бронзових втулок автомобільних двигунів, то такі дослідження було виконано з використанням спеціально відшліфованих пластин, що в свою чергу виготовлені з опорних втулок розподільчих валів автомобільних двигунів автомобіля КРАЗ за умов їхнього відновлення (чи виготовлення нових) із застосуванням звичайної технології та вібраційного пластичного деформування. При дослідженні мікроструктури досліджуваного матеріалу використано мікроскоп з кратністю збільшення зображення 100–400.

Додатково величину шорсткості обробленої вібраційним пластичним деформуванням поверхні було виміряно з використанням портативного профілометра моделі 296 по параметру  $R_a$ .

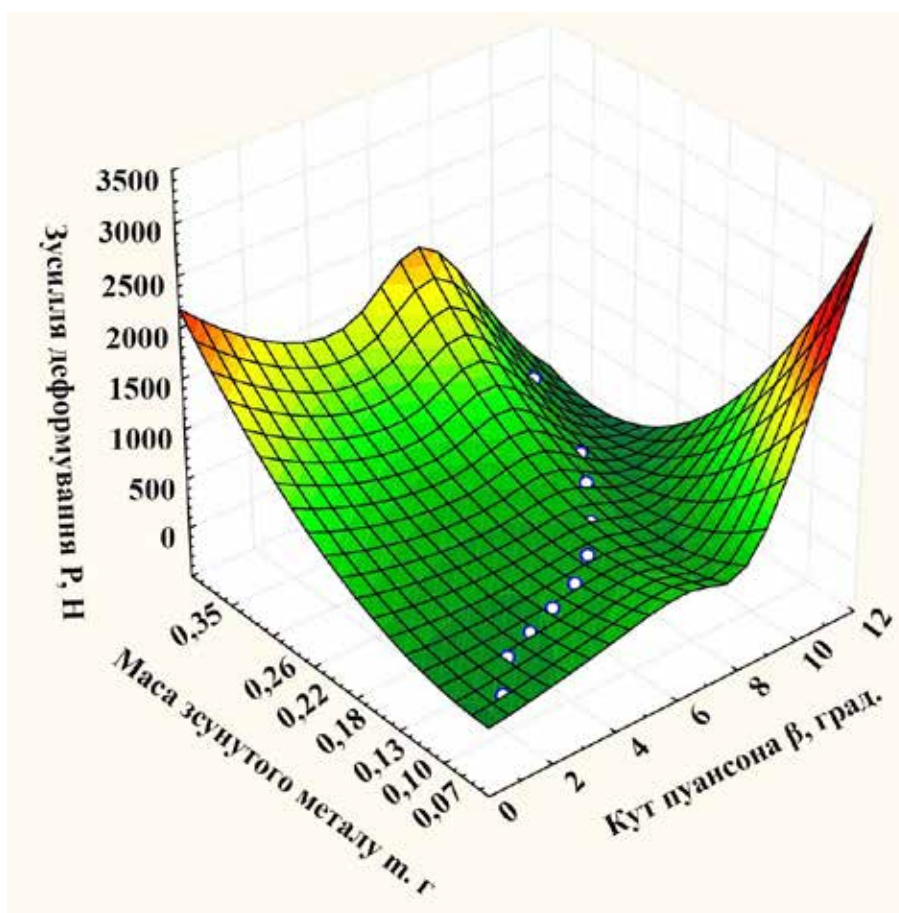
Щодо визначення інтенсивності зношування оброблених пластичним вібраційним деформуванням робочих поверхонь бронзових втулок автомобільних двигунів, то в такому випадку застосовано машину МІ-1М. Режими випробувань було визначено з урахуванням роботи кінематичної пари спряження: бронзова втулка – розподільчий вал автомобільного двигуна ЯМЗ-238, відповідно частота обертання ролика склала  $550 \text{ хв}^{-1}$ , навантаження на пару тертя – 460 Н.

За результатами експериментального дослідження, як мінімум з десятикратною повторністю (для забезпечення достатнього рівня достовірності експериментальних даних), було виявлено, що кількість зсунутого металу

поверхневого обробленого шару бронзової втулки має суттєву ступінь впливу від величину кута нахилу  $\beta$ , а також припуску на обробку та швидкості вібраційного деформування.

Виявлено, що при збільшенні швидкості руху пуансона маса зсунутого поверхневого шару металу на торець досліджуваного зразка бронзової втулки автомобільного двигуна збільшується. Прийняте для проведення дослідів кількісне значення припуску на обробку  $\Pi = 0,4$  мм.

Результати експериментального дослідження щодо залежностей величини зсунутого поверхневого шару металу на торець досліджуваних зразків бронзових втулок автомобільних двигунів за умови зміни кількісних характеристик кутів нахилу робочої поверхні пуансона та швидкості пластичного деформування  $0,03$  м/с подано на рис. 3 у вигляді поверхні відгуку другого порядку.



**Рис. 3. Поверхня відгуку зміни маси  $m$  зсунутого на торець бронзової втулки металу за умови варіації кількісними значеннями кутів нахилу робочої поверхні пуансона  $\beta$  та зусилля деформування  $P$  при звичайній пластичній деформації**

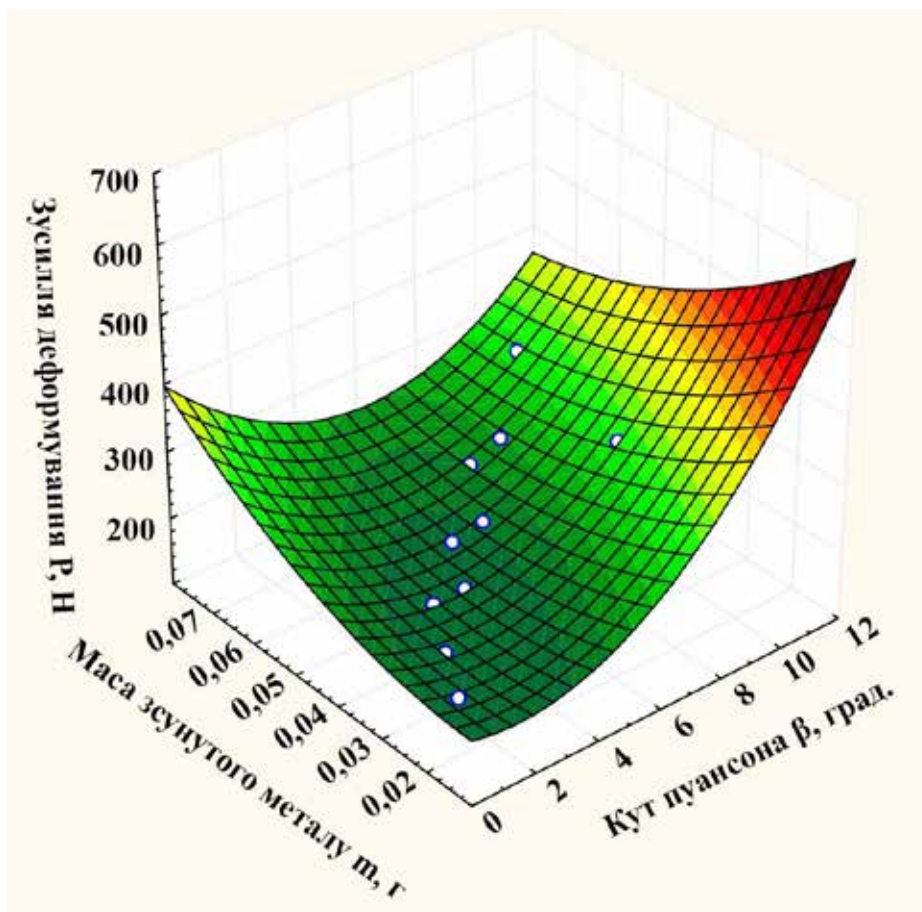
Експериментальними дослідженнями було визначено, що оптимальна за умови відновлення кількість зсунутого металу на поверхневому шарі обробленого зразка бронзової втулки автомобільного двигуна мала місце за умови значення кута нахилу робочої поверхні пуансона  $\beta = 9^\circ$ . При цьому, застосування вібраційного пластичного деформування дало змогу отримати значно меншу інтенсивність зсунутого металу на поверхневому обробленому шарі бронзової втулки (довжина обробленої поверхні  $L = 38,5$  мм) автомобільного двигуна в порівнянні зі звичайним деформуванням.

Як приклад, можливо зазначити, що при встановленні кута нахилу робочої поверхні пуансона  $\beta = 9^\circ$ , обраного припуску  $\Pi = 0,4$  мм та із застосуванням пластичного вібраційного деформування маса зсунутого металу поверхневого обробленого шару складала величину у  $6,5$  разів менше в порівнянні зі звичайним пластичним деформуванням.

Важливо, що оцінку технологічного процесу пластичного вібраційного деформування та звичайного пластичного деформування можливо здійснювати при встановленні кількісних характеристик зусиль обробки досліджуваних бронзових зразків деталей автомобільних двигунів.

В нашому випадку такі зусилля визначено за показниками манометра гідравлічного приводу вібраційного столу експериментальної установки та шляхом тензометрування з використанням тензометричних датчиків.

На рис. 4 відтворено поверхню відгуку зміни маси  $m$  зсунутого на торець бронзової втулки металу за умови варіації кількісними значеннями кутів нахилу робочої поверхні пуансона  $\beta$  та зусилля деформування  $P$  при вібраційній пластичній деформації.



**Рис. 4. Поверхня відгуку зміни маси  $m$  зсунутого на торець бронзової втулки металу за умови варіації кількісними значеннями кутів нахилу робочої поверхні пуансона  $\beta$  та зусилля деформування  $P$  при вібраційній пластичній деформації**

При здійсненні дослідів величина зміни зусилля деформування зразків із бронзи БрОЦС 5-5-5 за умови встановлення припуску на обробку  $\Pi = 0,4$  мм та значенню кута ухилу робочої поверхні пуансона  $\beta = 9^\circ$  у 1,15 та 1,33 рази менше, в порівнянні з кутом нахилу  $\beta = 8^\circ$  і  $\beta = 9^\circ$  відповідно.

З метою порівняння якості матеріалу зразків бронзових втулок автомобільного двигуна, що були відновлені звичайною пластичною деформацією та вібраційним пластичним деформуванням, було здійснено металографічне дослідження на відповідних шліфах, що виготовлені з опорних втулок розподільчого валу автомобільного двигуна.

Відомо, що основні механічні властивості бронзи визначаються її мікроструктурою, а саме видом та складом елементів такого сплаву – фазовим складом [12].

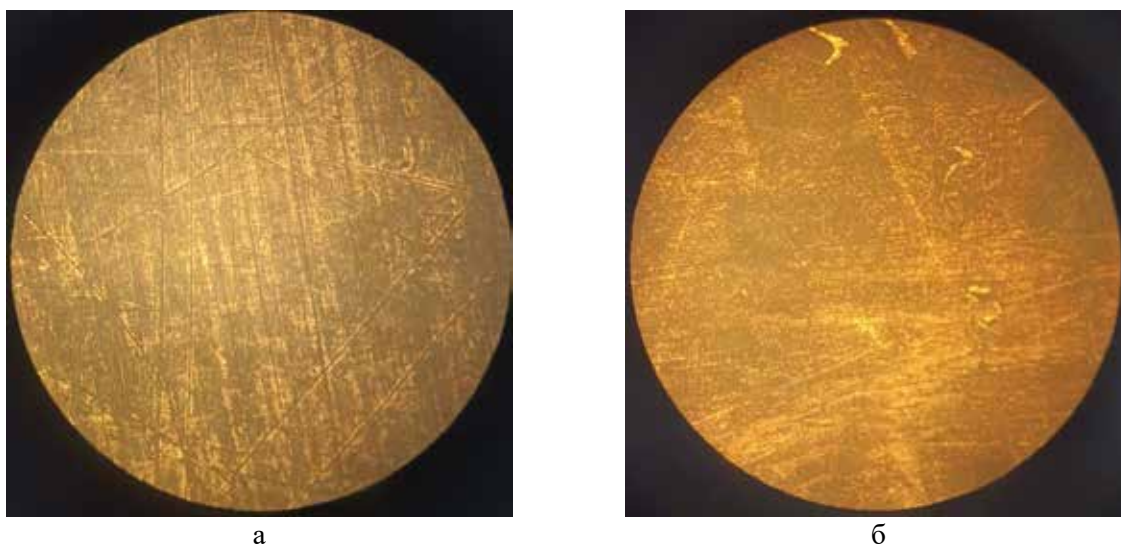
Відповідні зображення мікроструктури досліджуваних зразків з метою порівняння при звичайному та вібраційному пластичному деформуванні подано на рис. 5.

Дослідження такої мікроструктури дали змогу зробити висновки, що при вібраційному пластичному деформуванні поверхнева зміцнена структура стає більш дрібнозернистою та має більшу ступінь рівномірності в порівнянні зі звичайною пластичною деформацією таких зразків.

Збільшення глибини пластичного деформування призводить до додаткового зміцнення приконттактних відносно оброблюваного інструменту шарів робочої поверхні бронзової втулки. За умови застосування вібраційної пластичної деформації такі процеси відбуваються з більшою інтенсивністю.



За умови застосування звичайного пластичного деформування, залежності зміни кількості зсунутого металу обробленої поверхні на торець бронзової втулки носять нелінійний стохастичний характер в межах припусків  $\Pi = 0,4$  мм; при вібраційному пластичному деформуванні такі залежності мають практично пропорційний характер.



**Рис. 5. Мікроструктура зразків бронзи БрОЦС 5-5-5 за умови збільшення  $\times 100$ :  
а – звичайне деформування; б – вібраційне деформування**

Співставлена з вимогами щодо відновлення втулок автомобільних двигунів, мінімально можлива кількість зсунутого на торець бронзової втулки матеріалу, так і матеріалу бронзи, що налипає на пуансон за умови застосування звичайного та вібраційного деформування має місце з встановленим кутом ухилу робочої поверхні пуансона  $\beta = 9^\circ$ .

Таке явище можливо пояснити тим, що менші значення кута ухилу призводять до збільшення поверхні контакту бронзової втулки з робочою поверхнею пуансона, збільшенню місць контакту та, відповідно – збільшенню налипання бронзи на пуансон.

При збільшенні кута ухилу робочої поверхні пуансона спостерігається зменшення площі контактної поверхні, але при цьому збільшується питомий тиск на оброблюваний матеріал деталі, що також сприяє налипанню часточок бронзи на робочу поверхню пуансона.

Якщо застосовувати вібраційне пластичне деформування бронзового зразка типу «втулка», то унаслідок циклічно повторюваних відривів пуансона має місце зниження сили тертя. Останнє, в свою чергу, зменшує зсув поверхневого шару бронзи на торець оброблюваного зразка та підвищує величину пластичної деформації у радіальному напрямку. Додаткові напруження розтягу колового характеру, що виникають при таких процесах, призводять до переміщень металу в шарах, що дотичні до пуансона. Як наслідок – центральні шари деформованого металу отримають значні видовження, а такі умови сприяють утворенню додаткових поздовжніх та поперечних напружень в поверхневих шарах та напружень стискання у центральних шарах досліджуваних зразків.

Проведені нами дослідження дали змогу стверджувати, що за умови застосування вібраційної пластичної деформації має місце вирівнювання складу структури обробленої поверхні бронзової втулки автомобільного двигуна. Таке вирівнювання спрямовано на отримання більш рівномірної та дрібнозернистої структури. Тобто при вібраційному пластичному деформуванні утворюються більше дрібних зерен та створюються сприятливі умови для зародження дислокацій. При цьому дислокації в свою чергу сприяють підвищенню ступеня деформації в радіальному напрямку.

Під час контакту пуансона з бронзовою втулкою автомобільного двигуна відбувається зростання величини деформації, збільшується кількість дефектів кристалічної будови. Таке явище створює додаткові перешкоди щодо руху дислокацій та призводить до їх зміцнення, останнє відповідно підвищує зносостійкість обробленої деталі.

Останнє твердження можливо пояснити циклічним відривом пуансона відносно оброблюваної поверхні. Відповідно, за умови застосування вібраційного пластичного деформування лінії ковзання будуть перетинати оброблювану поверхню під кутом, що змінюється від  $45^\circ$  до  $90^\circ$ .

Тому, за умови застосування вібраційного пластичного деформування зусилля та величина деформації у радіальному напрямку будуть мати суттєве значення в порівнянні зі звичайним пластичним деформуванням. Відповідно, вібраційні процеси в такому випадку сприяють більшому зміцненню поверхневого шару оброблюваної поверхні.

### Висновки

1. За проведеними експериментальними дослідженнями можливо зазначити, що доцільно використовувати вібраційне пластичне деформування при відновленні ремонтних та виготовленні нових бронзових втулок автомобільних двигунів.

2. На основі кількісних та якісних результатів експериментального дослідження отримані оптимальні параметри технологічного процесу щодо застосування вібраційного пластичного деформування при зміцненні робочої поверхні бронзових опорних втулок розподільного валу автомобільних двигунів, як ремонтних, так і нових.

3. Застосування вібраційної обробки дає змогу зменшити експлуатаційний знос. Зменшення величини зношування свідчить щодо підвищення рівня зносостійкості деталей типу «втулка», що відновлені з використанням методу вібраційного пластичного деформування в порівнянні з традиційними методами пластичного відновлення.

### Список використаної літератури

1. Hebda A., Łagoda T., Małecka J. Investigating the effects of preliminary overloading and fatigue on the mechanical strength and fractographic characteristics of CuSn7Zn4Pb7 bronze alloy fractures. *Engineering Failure Analysis*. 2024. Vol. 163, Part B. P. 108593. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108593>.

2. Tarelnyk V., Haponova O., Mościcki T., Tarelnyk N. Improving a Process for Completing a Positive Connection of Hub-Shaft Type Using Combine Methods. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2024. Springer, Cham. P. 392-402. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_34).

3. Kaixuan Chen, Jiangxu Shen, Zongxuan Li, Xiangkai Chen, Kaisheng Ming, Yuzhi Zhu, Xiaohua Chen, Tianxin Weng, Zidong Wang. Extra-ductile and strong tin bronze alloy via high-density intragranular ultra-nano precipitation with minimal lattice misfit. *Scripta Materialia*. 2023. Volume 234. P. 115535. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2023.115535>.

4. Yangbiao Zeng, Lirong Huang, Wen Liu, Chungue Wang, Chaoyang Wang, Xiang Yan, Chaoyan Lian. The hot deformation of c83600 tin bronze alloy based on Arrhenius constitutive models. *Proc. SPIE 13082, Fourth International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing, and Automation Technology (MEMAT 2023)*, (1 April 2024). <https://doi.org/10.1117/12.3026109>.

5. Marquis G., Mikkola E., Yildirim H., Zuheir B. Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact: proposed fatigue assessment guidelines. *Weld World*. 2013. Vol. 57(6). P. 803–822. <https://doi.org/10.1007/s40194-013-0075-x>.

6. Djema M., Hamouda K., Babichev A., Saidi D., Halimi D. Effect of vibro-impact strengthening on the fatigue strength of metallic surfaces. *Metal*. 2012. Vol.5. P.23–25.

7. Stotsko Z., Kusy J., Topilnytskyj V. Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindrical long-sized machine parts. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*. 2012. Vol. 11. P.15–17.

8. Mamalis A., Grabchenko A., Mitsyk A., Fedorovich V., Kundrak J. Mathematical simulation of motion of working medium at finishing–grinding treatment in the oscillating reservoir. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. N.70(1). P.263–276. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5257-6>

9. Hamouda K., Bournine H., Tamarkin M., Babichev A., Saidi D., Amrou H. Effect of the Velocity of Rotation in the Process of Vibration Grinding on the Surface State. *Materials Science*. 2016. Vol. 52. P.216–221. <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9946-9>

10. Gichan V. Active control of the process and results of treatment. *Journal of Vibroengineering*. 2011. Vol. 13. P.371–375.

11. Jurcius A., Valiulis A., Kumslytis V. Vibratory stress relieving – It's advantages as an alternative to thermal treatment. *Journal of Vibroengineering*. 2008. Vol. 10 (1). P.123–127.

12. Djema M., Hamouda K., Babichev A., Saidi D., Halimi D. The Impact of Mechanical Vibration on the Hardening of Metallic Surface. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 626. P.90–94. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.90>

13. Kelemesh A., Gorbenko O., Dudnikov A., Dudnikov I. Research of wear resistance of bronze bushings during plastic vibration deformation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2(11 (86)). P. 16–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97534>.

### References

1. Hebda, A., Łagoda, T., Małecka, J. (2024). Investigating the effects of preliminary overloading and fatigue on the mechanical strength and fractographic characteristics of CuSn7Zn4Pb7 bronze alloy fractures. *Engineering Failure Analysis*, 163 (B), 108593. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108593>.

2. Tarelnyk, V., Haponova, O., & Tarelnyk, N. (2024). Improving a Process for Completing a Positive Connection of Hub-Shaft Type Using Combine Methods. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer, Cham, 392-402. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_34).

3. Kaixuan Chen, Jiangxu Shen, & Zidong Wang. (2023). Extra-ductile and strong tin bronze alloy via high-density intragranular ultra-nano precipitation with minimal lattice misfit. *Scripta Materialia*, 234, 115535. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2023.115535>.
4. Yangbiao Zeng, Lirong Huang, & Chaoyan Lian. (2023). The hot deformation of c83600 tin bronze alloy based on Arrhenius constitutive models. *Proc. SPIE 13082, Fourth International Conference on Mechanical Engineering, Intelligent Manufacturing, and Automation Technology (MEMAT 2023), (1 April 2024)*. <https://doi.org/10.1117/12.3026109>.
5. Marquis G., Mikkola E., Yildirim H., Zuheir B. (2013). Fatigue strength improvement of steel structures by high-frequency mechanical impact: proposed fatigue assessment guidelines. *Weld World*, 57(6), 803–822. <https://doi.org/10.1007/s40194-013-0075-x>.
6. Djema M., Hamouda K., & Halimi D. (2012). Effect of vibro-impact strengthening on the fatigue strength of metallic surfaces. *Metal*, 5, 23–25.
7. Stotsko Z., Kusyj J., Topilnytskyj V. (2012). Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindrical long-sized machine parts. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*, 11, P.15–17.
8. Mamalis A., Grabchenko A., & Kundrak J. (2014). Mathematical simulation of motion of working medium at finishing–grinding treatment in the oscillating reservoir. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(1), 263–276. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5257-6>
9. Hamouda K., Bourmine H., & Amrou H. (2016). Effect of the Velocity of Rotation in the Process of Vibration Grinding on the Surface State. *Materials Science*, 52, 216–221. <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9946-9>
10. Gichan V. (2011). Active control of the process and results of treatment. *Journal of Vibroengineering*, 13, 371–375.
11. Jurcius A., Valiulis A., Kumslytis V. (2008). Vibratory stress relieving – It’s advantages as an alternative to thermal treatment. *Journal of Vibroengineering*, 10 (1), 23–127.
12. Djema M., Hamouda K., & Halimi D. (2013). The Impact of Mechanical Vibration on the Hardening of Metallic Surface. *Advanced Materials Research*, 626, 90–94. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.626.90>
13. Kelemesh A., Gorbenko O., Dudnikov A. & Dudnikov I. (2017). Research of wear resistance of bronze bushings during plastic vibration deformation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(11(86), 16–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97534>

**I. V. KOVINCHUK**

Postgraduate Student at the Department of Physical Chemistry  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,  
University of Palermo, Palermo, Italy  
ORCID: 0000-0003-4841-992X

**G. LAZZARA**

Doctor of Chemical Sciences,  
Professor at the Department of Chemistry and Physics  
University of Palermo, Palermo, Italy  
ORCID: 0000-0003-1953-5817

**A. V. RAGULYA**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Department of Physics, Chemistry  
and Technology of Nanostructured Ceramics and Nanocomposites  
Frantsevich Institute for Problems of Materials Science  
National Academy of Science of Ukraine  
ORCID: 0000-0002-0859-0004

**M. M. KRŽMANC**

Doctor of Chemical Sciences,  
Senior Researcher at the Advanced Materials Department  
Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia  
ORCID: 0000-0003-3436-5692

**G. V. SOKOLSKY**

Doctor of Chemical Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Physical Chemistry  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-6665-2744

## EVALUATION OF NANOPARTICLES' SIZE CHARACTERISTICS OF MANGANESE OXIDE/HYDROXIDE BASED PHOTOCATALYSTS

*Since size is a key characteristic determining whether a material belongs to the nanomaterial class, its accurate assessment is critical. In addition, the size effect in nanoparticles defines the efficiency of the material for catalytic and photocatalytic applications. A series of composite materials composed of manganese oxide/hydroxide compounds with halloysite nanotubes were synthesized and characterized, with a focus on nanoparticles size parameters critical for functional applications. Multiple analytical techniques, including transmission and scanning electron microscopy (TEM/SEM) combined with IMAGJ software, dynamic light scattering (DLS), and X-ray diffraction (XRD), were employed to evaluate sizes of nanoparticles. Samples were chemically synthesized at ambient temperature of 15–20°C from a solution of MnSO<sub>4</sub> with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as an oxidising agent at different pH. The size distribution half-width was identified as a key factor in estimating the error associated with size effects in nanomaterials. It can be seen that the relative error towards even critical for quantum effects revealing size of 100 nm makes up about 10% for synthesized samples and about 20% for standard MnO<sub>2</sub> from Pridneprovsky Chemical Plant (Ukraine). These error values are large enough for quantitative evaluations and highlight the need for improved control over size distribution through optimized synthesis conditions, in particular, temperature. Furthermore, while XRD primarily reflects the sizes of crystallites, often smaller than the actual nanoparticles' sizes observed via TEM/SEM, DLS tends to overestimate sizes due to particle agglomeration. From the analysis of nanoparticle size data of studied Samples, the Rietveld refinement resulted in good agreement with IMAGJ software data for particular cases of Samples taken for analysis. The comprehensive characterization of the samples underscores their potential for future nanoapplications, providing a foundation for further research and development.*

**Key words:** nanoparticle, size, evaluation, manganese oxides/hydroxides, photocatalysis.

І. В. КОВІНЧУК

аспірантка кафедри фізичної хімії  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
Університет Палермо, Палермо, Італія  
ORCID: 0000-0003-4841-992X

Д. ЛАЗЗАРА

доктор хімічних наук, професор кафедри хімії та фізики  
Університет Палермо, Палермо, Італія  
ORCID: 0000-0003-1953-5817

А. В. РАГУЛЯ

доктор технічних наук, професор,  
завідувач відділу фізики, хімії  
та технології наноструктурної кераміки та нанокомпозитів  
Інститут проблем матеріалознавства імені Францевича  
Національної академії наук України  
ORCID: 0000-0002-0859-0004

М. М. КРЖМАНЦ

доктор хімічних наук,  
старший науковий співробітник відділення перспективних матеріалів  
Інститут Йозефа Стефана, Любляна, Словенія  
ORCID: 0000-0003-3436-5692

Г. В. СОКОЛЬСЬКИЙ

доктор хімічних наук, професор,  
професор кафедри фізичної хімії  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-6665-2744

## ОЦІНКА РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОЧАСТИНОК ФОТОКАТАЛІЗАТОРІВ НА ОСНОВІ ОКСИД/ГІДРОКСИДУ МАНГАНУ

Оскільки розмір є ключовою характеристикою, що визначає приналежність матеріалу до класу наноматеріалів, його точна оцінка має критичне значення. Крім того, розмір наночастинок (НЧ) впливає на ефективність матеріалу для каталітичних і фотокаталітичних застосувань. Було синтезовано та охарактеризовано низку композиційних матеріалів, що складаються із оксид/гідроксидних сполук мангану з нанотрубками гауазиту, приділяючи особливу увагу параметрам розміру наночастинок, критичних для функціонального застосування. Кілька аналітичних методів, включаючи трансмісійну та скануючу електронну мікроскопію (TEM/SEM) у поєднанні з програмним забезпеченням IMAGJ, динамічне розсіювання світла (DLS) і рентгенівську дифракцію (XRD), використовувалися для оцінки розмірів НЧ. Зразки хімічно синтезували при температурі навколишнього середовища 15–20°C з розчину  $MnSO_4$  за участю окисника  $H_2O_2$  при контролі рН на рівні 6, 10. Навиширина розподілу за розміром була визначена як ключовий фактор при оцінці помилки, пов'язаної з ефектами розміру в наноматеріалах. Показано, що відносна похибка щодо навіть критичного для квантових ефектів розміру 100 нм становить приблизно 10% для хімічно синтезованих зразків та приблизно 20% для  $MnO_2$  Придніпровського хімічного заводу (Україна). Ці значення похибок достатньо великі для кількісних оцінок і підкреслюють потребу в покращеному контролі розподілу за розміром за допомогою оптимізованих умов синтезу, зокрема температури. Крім того, у той час як XRD в основному відображає розміри кристалітів, часто менші за фактичні розміри наночастинок, які спостерігаються за допомогою TEM/SEM, DLS має тенденцію завищувати розміри через агрегацію частинок. Дані щодо розміру частинок досліджуваних зразків, отримані методом Рітвельда, добре узгоджуються із результатами оцінки в програмному забезпеченні IMAGJ для окремих випадків хімічно синтезованих зразків, взятих для аналізу. Комплексна характеристика зразків підкреслює їхній потенціал для майбутніх нанозастосувань, забезпечуючи основу для подальших досліджень і розробок.

**Ключові слова:** наночастинка, розмір, оцінка, оксиди/гідроксиди мангану, фотокаталіз.

### Formulation of the problem

The growing need for modern electronics and other high-tech industries creates constant demand for new and improved materials and technologies. The miniaturisation trend in aforementioned areas during the last decades becomes a peculiar response toward the famous R. Feynman Nobel Prize lecture “There’s Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics” formulating ability to manipulate matter on an atomic or nanoscale [1]. The quintessence of this tendency is the intensive development of nanotechnologies, which is concentrated on quantum-scale size effects that arise at particle sizes of about 10–100 nm.

Traditional synthetic procedures for many materials, including oxides, should be revised in order to meet modern requirements. It is well-known that oxides of transition metals have found wide practical applications. The evaluation of approaching existing synthesis methods of these oxides toward nanotechnology needs is subjected to numerous in-depth studies.

Manganese dioxide is a cheap and widely distributed natural material. It is characterised by structural diversity and, as a result, unique properties. That is why it is widely used as an electrode material in batteries [2–4], a catalyst of oxidation processes [5], and a photocatalyst in water treatment [6]. The functional properties of non-stoichiometric oxides directly depend on the material particles’ origin, morphology, dispersion, shape, and size. Therefore, it is essential to control these parameters when synthesising new materials.

According to European Commission recommendations, a nanomaterial is a natural, incidental, or manufactured material containing particles in an unbound state or as an aggregate or agglomerate, and where 50% or more of the particles in the number size distribution have one or more external dimensions in the size range 1 nm – 100 nm [7]. Since “nanomaterial” is defined by particle size, measuring the size distribution of products is essential to confirm whether they meet these parameters. However, due to technical challenges, there has been a growing discussion aimed at identifying practical solutions for accurately measuring size distribution [8]. Transmission electron microscopy (TEM) is considered a promising technique for measuring the size distribution of nanomaterials. In addition to detailed morphological observations, TEM provides the necessary information for particle size distribution.

### Analysis of recent research and publications

Manganese dioxide has found applications in batteries more than a century ago [9,10]. Manganese oxide compounds with versatility of structure behaviour have practically important oxidising agent, catalytic, and electrocatalytic properties [11, 12]. Recent studies revealed their potential as a photocatalyst [13], including the water-splitting process.

By combining semiconductive nanoparticles of MnO<sub>2</sub> with C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, active composite photocatalysts of water-splitting Hydrogen Evolving Reaction (HER) were prepared [14,15]. MnOOH is an oxyhydroxide of Mn(III)-state. It exists in 3 crystalline polymorphs:  $\alpha$ -groutite,  $\beta$ -feitknechtite and  $\gamma$ -manganite. It found wide use as chemical catalysts, molecular sieves, and cathode materials in primary and rechargeable batteries [16].

Numerous studies have explored the effectiveness of hausmannite in the photodegradation of various dyes, including Alizarin Yellow, Methylene Blue, and Methyl Orange. It is reported as an excellent sensor material for identifying volatile organic compounds [17]. Furthermore, it is a significant energy storage medium, particularly as an anode material for lithium-ion batteries [18]. Additionally, its role as an efficient catalyst [13] in a wide range of oxidation and reduction reactions underscores its importance in catalysis.

The advantages of applying nanomaterials in photocatalysis include the shorter electron-hole pair path and lower this pair recombination probability [19].

### Formulation of the purpose of the research

Thus, this study aim is to test the opportunities of modern software, namely IMAGJ and QTIPLLOT, in evaluating nanodimensional characteristics of obtained materials to study further functionality size effects.

### Presentation of the main research material

**Synthetic procedures.** Powder samples of manganese oxide materials were obtained by chemical deposition methods. A typical chemical synthesis of oxide materials was as follows: dissolution of 13.85 g of MnSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O in 100 ml of water, adding (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> to achieve a ratio of ions Mn<sup>2+</sup>: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> equal 1:2 for samples 2 and 6. Halloysite nanotubes (HNTs) of 1 g for samples 1, 2, 6, and 7 were also added (Table 1). For samples with HNTs, 1 hour of vacuuming was applied to achieve complete removal of air and fill the lumen with a solution. pH was adjusted through the addition of ammonium hydroxide. Hydrogen peroxide was added dropwise as an oxidant while maintaining continuous mechanical stirring. The product was centrifuged, washed with distilled water and dried at 160°C until constant mass. Samples considered as a standard were also used (MnO<sub>2</sub>, Pridneprovsky Chemical Plant (PCP), Kamianske and HNTs, Sigma Aldrich).

**Characterization methods.**  $\zeta$ -potential and Dynamic light scattering analysis (DLS).  $\zeta$ -potential and dynamic light scattering measurements were performed in 0.001 mass % aqueous dispersions by a Zetasizer NANO-ZS (Malvern Instruments) at 25 ± 0.1°C. For  $\zeta$ -Potential experiments, a disposable folded capillary cell was used. Analysis of the intensity of scattered light made it possible to obtain data on the hydrodynamic diameter of the particles and their  $\zeta$ -potential. These results provided a description of the particle sizes and surface charge properties.

The characterization of samples also included: thermogravimetry (Thermogravimetric Analyzer Discovery TGA550 with TRIOS Software); energy-dispersive X-ray fluorescence (mobile precision analyzer Olympus Innov-X DS-2000 Delta);

X-ray diffraction method (X-ray diffractometer Rigaku, MiniFlex600 with a CuK $\alpha$  radiation source); FTIR spectroscopy was performed on PerkinElmer Spectrometer Frontier. The composite sample was mixed with KBr in 1 : 100 ratio and pressed into tablets that had a grayish-brown color. Spectra were registered in the range of 400–4000 cm<sup>-1</sup>.

Table 1

Samples and their synthesis conditions

Sample name	Sample composition	HNTs content, g	1.5M NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	pH
CS-1	Mn-HNT-pH10-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1		10
CS-2	Mn-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -HNT-pH10-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	+	10
CS-3	Mn-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -pH10		+	10
CS-4	Mn-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -pH5-6-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		+	5-6
CS-5	Mn-pH5-6-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>			5-6
CS-6	Mn-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -HNT-pH5-7.5-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1	+	5-7.5
CS-7	Mn-HNT-pH5-6-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1		5-6
CS-8	Mn-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -HNT-pH5-7.5-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> slow (72h)		+	5-7.5
CS-9	Mn-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -HNT-pH5-8-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> express (2h)		+	5-8

To determine the size of nanoparticles, the following procedure was used: high-quality microscope images from Scanning Electron Microscopy (SEM, Tescan, Czechia) or Transmission Electron Microscopy (TEM, JEM 1200-EX, JEOL, Japan) were used to perform at least 60 measurements of the diameter, length in the case of anisotropic nanoparticles (NP), and the sizes of aggregates by means of the ImageJ software (Fig. 1).

**Results and Discussion.** Synthesized samples after washing, drying, and grinding were fine powders from beige to black colour. The yield of products has varied between low and relatively high depending on the presence of HNTs. For instance, the yield of samples synthesized without HNTs was minimal (to within 2–30% by mass) and was 50–65% by mass at the same conditions with HNTs. To address the objectives of this study, a subset of samples from the series listed in Table 1 was selected for further analysis, as shown in Table 2.

Qualitative XRD phase analysis of prospective phase candidates included comparing their main reflexes with diffraction databases of XRD patterns using PDF-2 database of the International Centre for Diffraction Data (PCPDFWIN version 2.0, ICDD, 1998), Match 2.0, and Profex Version 5.2.5. The phase composition of Samples CS1-CS9 was complex and included Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> at pH=10 and MnOOH/MnO<sub>2</sub> at pH about 6 as the main components. The peaks of HNTs were also identified.

TEM studies were performed to reveal the morphology, size, and dimensions of the obtained NPs. Powdered samples were subjected to preliminary ultrasound processing for several minutes in the aqueous medium to improve the visibility of NPs. Some typical TEM images are shown in Fig. 2.

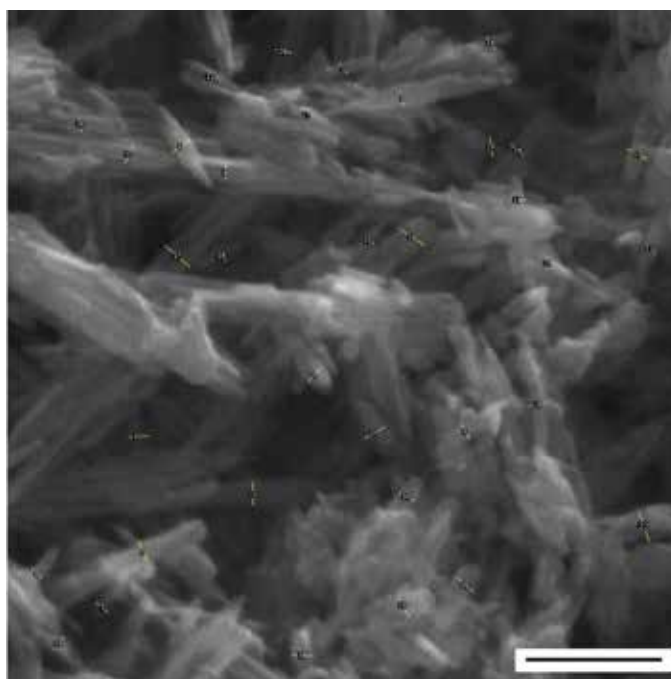
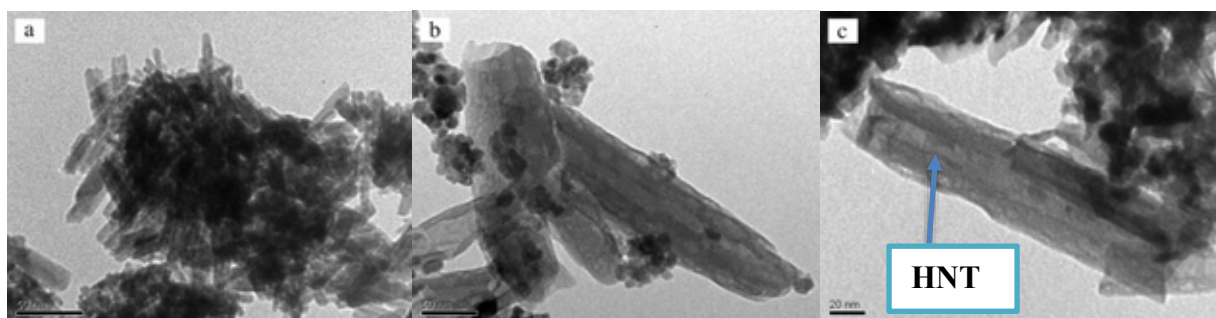


Fig. 1. SEM image of PCP MnO<sub>2</sub> (standard) with measurements performed on nanoparticles shown by marks. The scale bar corresponds to 200 nm



**Fig. 2. TEM images of Samples: CS-5 of manganese oxide/hydroxide (a), and heterostructures with HNTs of CS-1 (b) and CS-6 (c)**

The first observation that can be made is related to the manganese oxide/hydroxide morphology dependence on pH: elongated NPs forming agglomerates are typical for pH close to 6, and very tiny and small shapeless NPs were observed at pH = 10. The decoration effect of HNTs by oxide/hydroxide NPs can be visible in Fig. 2(b). The HNT’s lumens in Fig. 2 b, c are not filled with oxide/hydroxide NPs.

ImageJ software was applied to evaluate the parameters of NPs in Samples (Fig. 3). Statistical processing of the obtained results was carried out using the Qtiplot program, and it was established that the diameter of the nanoparticles of the synthesized sample is, on average, half that of the PCP, and the sizes of the nanoparticles fluctuate in a much smaller range. The average particle size is 10.4–15.2 nm (78% of measurements fall into this range). The PCP sample’ average size is between 26 and 34 nm (for 70% of measurements), Table 2.

Table 2

**Evaluated parameters of NPs from the Gaussian peak**

Sample name	Averaged size of NPs / nm	Maximum of distribution curve, size / nm	Distribution curve width at half-height / nm
MnO <sub>2</sub> PCP	27.84±8.19	22.85±0.8	19.23
CS-1. Mn-HNT-pH10-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	14.96±5.64	11.69±0.38	9.89
CS-2. Mn-NH <sub>4</sub> -HNT-pH10-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	12.11±6.35	7.57±0.2	9.89
CS-5. Mn-pH5-6-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	10.79±3.62	8.68±0.19	9.89
CS-6. Mn-NH <sub>4</sub> -HNT-pH5-7.5-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	10.89±4.84	6.92±0.45	7.14
CS-7. Mn-HNT-pH5-6-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	14.45±5.06	11.67±0.12	9.89

The distribution curve width at its half-height is an important characteristic of a nanomaterial for studying the size effects of functionality, including photocatalytic activity. It describes the distribution of NPs around the average value of size. This parameter shown in Table 2 is practically identical for samples obtained by one method and independent of the presence of HNTs. The narrowest distribution demonstrates Sample 6. The widest distribution has MnO<sub>2</sub> PCP Sample (19.23 nm). The smallest average size have manganese oxide/hydroxide NPs in Sample 6, and the maximal size display MnO<sub>2</sub> PCP NPs.

It can be seen that data of columns 1 and 2 in Table 2 differ by 20–50%. At the same width of the distribution curve at its half-height it is preferable to operate by the maximum of the distribution curve versus the average value of NP’s size. Even at some scattered values, distribution curve analysis shows the most useful information to evaluate applicability of data to study size effects in nanomaterials.

DLS method demonstrates the tendency to NPs agglomeration (Table 3). As it was expected, the maximal tendency to form aggregates demonstrates MnO<sub>2</sub> PCP Sample. In general, average size data obtained by DLS method by about 10 times larger than the data of direct measurements processed by IMAGJ software. ζ-potential values in Table 3 and of pure HNTs (-30 mV in the pH range from 2 to 8 [20]) confirm the incipient instability of NPs of Samples.

The data of Rietveld refinement of the Samples performed by Powder Cell v.2.3 software were also used to evaluate the sizes of coherent scattering regions(CSR). It can be concluded that results are in agreement with data in Table 2 for main phase components such as Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and MnOOH. On the other hand, XRD diffraction patterns of all Samples demonstrate amorphous halo and low values of the signal/noise ratio. These obstacles were taken into account by subtracting an amorphous background when possible. Evaluations by modelling of semiamorphous phase components contributing XRD patterns resulted in lower CSR sizes to within 4–6 nm.

The specific surface area of the PCP sample, as determined by the BET method, is 22 m<sup>2</sup>/g, whereas the chemically synthesized samples exhibit significantly higher values, ranging from 50 to 70 m<sup>2</sup>/g. From this, we can conclude that the PCP sample has a high degree of aggregation, which is confirmed by visual observations.



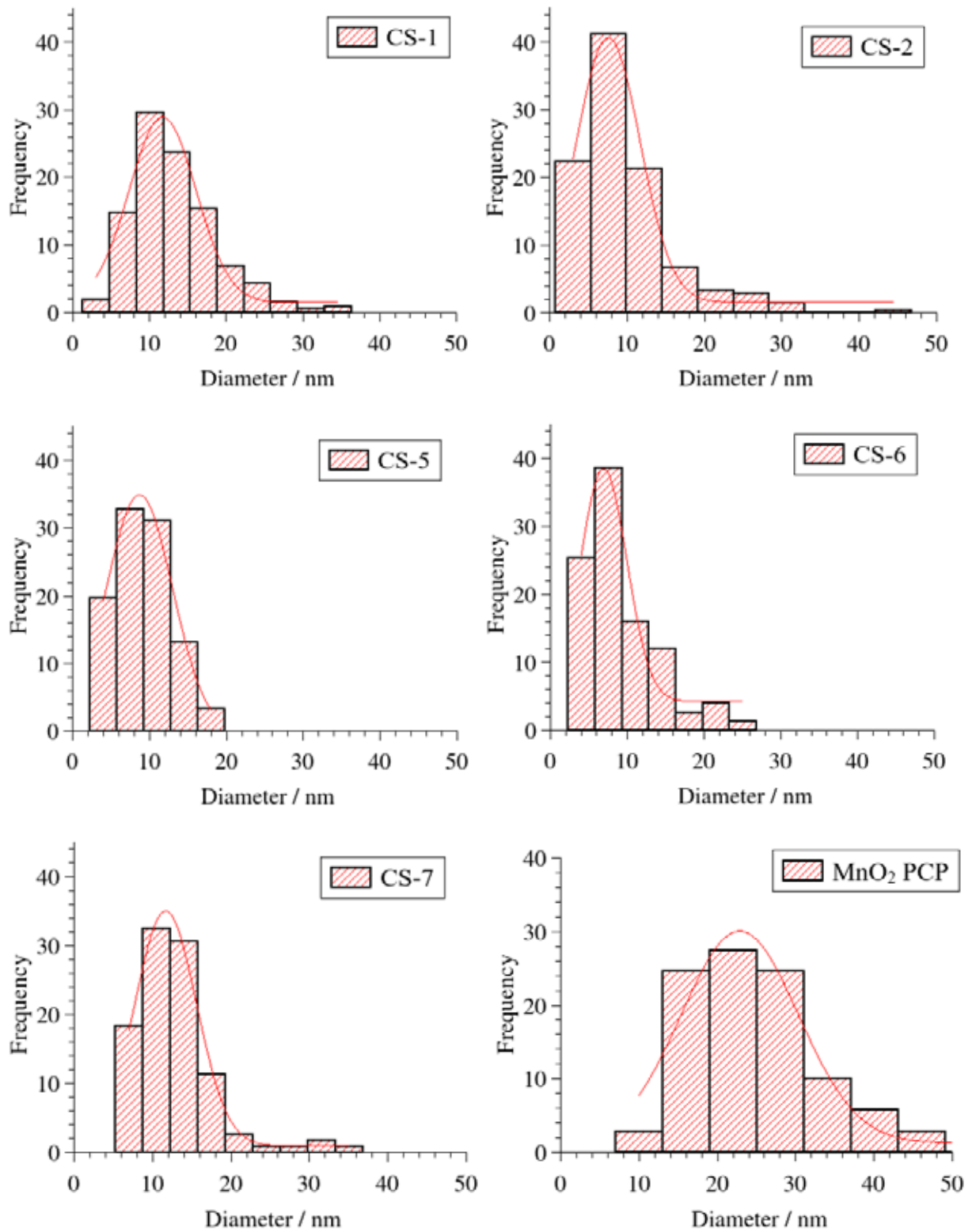


Fig. 3. The dependence of the percentage of appearance on the nanoparticle size is shown for the synthesised samples and PCP MnO<sub>2</sub>

Table 3

## Data obtained using DLS

Sample name	Average size / nm	ζ-potential / mV
MnO <sub>2</sub> PCP	222.447±83.21	-21.97±0.85
CS-1. Mn-HNT-pH10-H2O2	119.08±48.68	-18.10±0.56
CS-2. Mn-NH4-HNT-pH10-H2O2	141.16±43.05	-16.13±0.90
CS-5. Mn-pH5-6-H2O2	175.44±86.19	-19.2±1.11
CS-6. Mn-NH4-HNT-pH5-7.5-H2O2	143.02±52.38	-19.4±1.7
CS-7. Mn-HNT-pH5-6-H2O2	118.2±36.08	-15.8±0.75

## Conclusions

The series of chemically deposited composites of oxide/hydroxide compounds of manganese with halloysite nanotubes was synthesized. The characterisation of them was made focused on the parameters related closely to NPs. Bearing in mind the aim to study size effects in further experiments with such functional applications as catalysis and photocatalysis, the evaluations of sizes of nanoparticles were made by available methods of TEM/SEM combined with IMAGJ software, DLS, and XRD. Direct measurements of NPs' morphology parameters have advantages over classical methods such as XRD, DLS, etc. IMAGJ software represents a suitable user interface for SEM/TEM image analysis and supplies a researcher with valuable information not equivalent to the results of the other aforementioned methods.

The obtained results of size distribution half-width are the suitable measure of size effect evaluation error in nanomaterials. It can be seen that the relative error towards even critical for quantum effects revealing size of 100 nm makes up about 10% for Samples CS1-9 and about 20% for MnO<sub>2</sub> PCP. These error values are large enough for quantitative evaluations. Therefore, the size distribution half-width needs further control by synthetic or other procedures. The most prospective parameter for optimisation in this case could be temperature of chemical deposition since our experiment maintained at constant ambient temperature of approximately 15–20°C. As we know, XRD signal broadening shows the sizes of coherent scattering regions or crystallites that are generally less and not equal to the actual sizes of NPs that can be seen in SEM/TEM images. On the contrary, average sizes of NPs received from the DLS method are usually larger than true sizes since NPs' agglomeration occurs. It can be concluded from performed analysis of NPs sizes data of studied Samples that the exact method of Rietveld refinement resulted in good agreement with IMAGJ software for particular cases of Samples CS1-9 taken for analysis. It is also clear that all information from characterisation of Samples is valuable for further nanoapplications.

## Acknowledgements

Authors thank to the European Union for funding of this study within H-GREEN project "Innovative Functional Oxide Materials for Green Hydrogen Energy Production (HORIZON-TMA-MSCA-SE action).

## References

1. Feynman, R. P. (2011). There's plenty of room at the bottom: An invitation to enter a new field of physics. *Resonance*, 16(9), 890–905. <https://doi.org/10.1007/s12045-011-0109-x>
2. Cheng, F., Zhao, J., Song, W., Li, C., Ma, H., Chen, J., & Shen, P. (2006). Facile Controlled Synthesis of MnO<sub>2</sub> Nanostructures of Novel Shapes and Their Application in Batteries. *Inorganic Chemistry*, 45(5), 2038–2044. <https://doi.org/10.1021/ic051715b>
3. Liu, X., Chen, C., Zhao, Y., & Jia, B. (2013). A Review on the Synthesis of Manganese Oxide Nanomaterials and Their Applications on Lithium-Ion Batteries. *Journal of Nanomaterials*, 2013(1), 736375. <https://doi.org/10.1155/2013/736375>
4. Dose, W., Sharma, N., Webster, N., Peterson, V., & Donne, S. (2014). Kinetics of the Thermally-Induced Structural Rearrangement of γ-MnO<sub>2</sub>. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118, 24257–24265. <https://doi.org/10.1021/jp506914j>
5. Qi, L., Liu, Y., Tang, Y., Jiang, X., Xie, F., Wan, L., Wang, Z., Wang, X., & Lü, C. (2024). Highly coupled MnO<sub>2</sub>/Mn<sub>5</sub>O<sub>8</sub> Z-scheme heterojunction modified by Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> co-catalyst: An efficient and stable photocatalyst to decompose gaseous benzene. *Applied Catalysis B: Environment and Energy*, 353, 124099. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2024.124099>
6. Yang, R., Fan, Y., Ye, R., Tang, Y., Cao, X., Yin, Z., & Zeng, Z. (2021). MnO<sub>2</sub>-Based Materials for Environmental Applications. *Advanced Materials*, 33. <https://doi.org/10.1002/adma.202004862>
7. European Commission. (2011). *Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial Text with EEA relevance. Off. J. Eur. Union*(L275),38–40. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:EN:PDF>
8. Kumagai, K. (2015). Optimization of Image Contrast for Size Distribution Measurements of Nanomaterials by Transmission Electron Microscopies Including TEM and T-SEM. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 4(6), 475–480. <https://doi.org/10.1007/s13632-015-0237-x>

9. Desai, B. D., Fernandes, J. B., & Dalal, V. N. K. (1985). Manganese dioxide—A review of a battery chemical Part II. Solid state and electrochemical properties of manganese dioxides. *Journal of Power Sources*, 16(1), 1–43. [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(85\)80001-X](https://doi.org/10.1016/0378-7753(85)80001-X)
10. Tang, Y., Zheng, S., Xu, Y., Xiao, X., Xue, H., & Pang, H. (2018). Advanced batteries based on manganese dioxide and its composites. *Energy Storage Materials*, 12, 284–309. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2018.02.010>
11. Yunxuan, Z., Chang, C., Teng, F., Zhao, Y., Chen, G., Shi, R., Waterhouse, G., Huang, W., & Zhang, T. (2017). Defect-Engineered Ultrathin  $\delta$ -MnO<sub>2</sub> Nanosheet Arrays as Bifunctional Electrodes for Efficient Overall Water Splitting. *Advanced Energy Materials*, 2017. <https://doi.org/10.1002/aenm.201700005>
12. Meng, Y., Song, W., Huang, H., Ren, Z., Chen, S.-Y., & Suib, S. L. (2014). Structure–Property Relationship of Bifunctional MnO<sub>2</sub> Nanostructures: Highly Efficient, Ultra-Stable Electrochemical Water Oxidation and Oxygen Reduction Reaction Catalysts Identified in Alkaline Media. *Journal of the American Chemical Society*, 136(32), 11452–11464. <https://doi.org/10.1021/ja505186m>
13. Li, N., He, M., Lu, X., Liang, L., Li, R., Yan, B., & Chen, G. (2021). Enhanced norfloxacin degradation by visible-light-driven Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ $\gamma$ -MnOOH photocatalysis under weak magnetic field. *Science of The Total Environment*, 761, 143268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143268>
14. Wang, N., Li, J., Wu, L., Li, X., & Shu, J. (2016). MnO<sub>2</sub> and carbon nanotube co-modified C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> composite catalyst for enhanced water splitting activity under visible light irradiation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(48), 22743–22750. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.10.068>
15. Li, X., Fang, G., Qian, X., & Tian, Q. (2022). Z-scheme heterojunction of low conduction band potential MnO<sub>2</sub> and biochar-based g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> for efficient formaldehyde degradation. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131052. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131052>
16. Crisostomo, V. M. B., Ngala, J. K., Alia, S., Doble, A., Morein, C., Chen, C.-H., Shen, X., & Suib, S. L. (2007). New Synthetic Route, Characterization, and Electrocatalytic Activity of Nanosized Manganite. *Chemistry of Materials*, 19(7), 1832–1839. <https://doi.org/10.1021/cm062871z>
17. Bai, Z., Sun, B., Fan, N., Ju, Z., Li, M., Xu, L., & Qian, Y. (2012). Branched Mesoporous Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanorods: Facile Synthesis and Catalysis in the Degradation of Methylene Blue. *Chemistry – A European Journal*, 18(17), 5319–5324. <https://doi.org/10.1002/chem.201102944>
18. Kong, Y., Jiao, R., Zeng, S., Cui, C., Li, H., Xu, S., & Wang, L. (2020). Study on the Synthesis of Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanooctahedrons and Their Performance for Lithium Ion Batteries. *Nanomaterials*, 10(2), 367. <https://doi.org/10.3390/nano10020367>
19. Nakade, S., Saito, Y., Kubo, W., Kitamura, T., Wada, Y., & Yanagida, S. (2003). Influence of TiO<sub>2</sub> Nanoparticle Size on Electron Diffusion and Recombination in Dye-Sensitized TiO<sub>2</sub> Solar Cells. *The Journal of Physical Chemistry B*, 107(33), 8607–8611. <https://doi.org/10.1021/jp034773w>
20. Abdullayev, E., & Lvov, Y. (2013). Halloysite clay nanotubes as a ceramic “skeleton” for functional biopolymer composites with sustained drug release. *Journal of Materials Chemistry B*, 1(23), 2894. <https://doi.org/10.1039/c3tb20059k>

**В. І. КОПИЛОВ**

доктор технічних наук, професор  
Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-1789-3226

**О. А. КУЗІН**

доктор технічних наук, доцент  
Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-8375-9789

**М. О. КУЗІН**

доктор технічних наук, професор  
Національний університет «Львівська політехніка»  
ORCID: 0000-0002-6032-4598

**І. А. СЕЛІВЕРСТОВ**

кандидат технічних наук, доцент  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0009-6135-8165

**В. М. ЛАЗОРИК**

аспірант  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-2244-6815

## ХАРАКТЕР РОЗСІЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ПЛАЗМОВИХ БАГАТОФАЗОВИХ ПОКРИТТІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХНЬОЇ МІКРОСТРУКТУРИ

Досліджено загасання пружних коливань в матеріалах з покриттями складної мікроструктури з наноскладовими у вигляді аеросилів. Для досліджень в якості основи були обрані прості і високолеговані сталі, а також армко-залізо, а для покриттів використовувалися одно- і багатокомпонентні порошки. Досліджувалися також покриття у вигляді композиційних систем на основі нанопорошків діоксиду кремнію  $\text{SiO}_2$  (аеросил), алюмоаеросилу та титанаеросилу ( $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2\cdot\text{SiO}_2$ ), позначені, як  $\text{AlaL}$  і  $\text{TiaL}$ , відповідно. Ці високодисперсні оксиди (наноматеріали) отримані методом пірогенного синтезу. Також була задіяна суміш, яка містила порошки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та  $\text{SiO}_2$ , компоненти яких були плаковані іонно-плазмовим способом мікрочастинками титану  $\text{Ti}$  та алюмінію  $\text{Al}$  – ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$ ), ( $\text{SiO}_2/\text{Al}$ ).

Аналіз властивостей системи покриття-основа проводиться на основі розрахунку параметрів дислокаційної структури, оцінки амплітудних залежностей внутрішнього тертя (АЗВТ), що дає можливість визначення механізмів впливу покриття на процеси руйнування та деформування і умови впливу покриттів на процеси зміцнення або розміцнення основного матеріалу. Визначено мікроструктурні параметри – амплітуда мікропластичної деформації ( $\gamma''_{\text{кр}}$ ), параметри дислокаційної структури покриття та поверхневих шарів основи ( $c_1$ ,  $c_2$ ), що дозволяють оцінити роль покриття у процесах руйнування КМ. Збільшення здатності матеріалів до розсіювання запасеної пружної енергії після нанесення плазмових покриттів відбувається переважно для матеріалів з тими покриттями, структура яких має велику протяжність міжфазних границь. Це показано на прикладі багатокомпонентних покриттів, що містять наноскладові у вигляді нанопорошків. Нанесення покриття вносить принципіальні зміни в дефектну структуру як в поверхневих шарах матеріалу, прилеглих до зони контакту, так і глибинних шарів в об'ємі основного матеріалу.

**Ключові слова:** плазмове напilenня, багатофазне покриття, внутрішнє тертя, розсіювання енергії, демпфування, наноскладові, аеросили.

V. I. KOPYLOV

Doctor of Technical Sciences, Professor  
E. O. Paton Institute of Materials Science and Welding  
of the National Technical University of Ukraine  
“Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-1789-3226

O. A. KUZIN

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor  
E. O. Paton Institute of Materials Science and Welding  
of the National Technical University of Ukraine  
“Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-8375-9789

M. O. KUZIN

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Lviv Polytechnic National University  
ORCID: 0000-0002-6032-4598

I. A. SELIVERSTOV

Ph.D., Associate Professor  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0009-6135-8165

V. M. LAZORYK

Postgraduate Student  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-2244-6815

## THE CHARACTER OF ENERGY DISSIPATION OF ELASTIC OSCILLATIONS DURING INTERNAL FRICTION STUDIES OF PLASMA MULTIPHASE COATINGS DEPENDING ON THEIR MICROSTRUCTURE

*Damping of elastic vibrations in materials with coatings of a complex microstructure with nanocomponents in the form of aerosols was studied. Simple and highly alloyed steels, as well as armco-iron, were chosen as the basis for research, and single- and multi-component powders were used for coatings. Coatings in the form of composite systems based on nanopowders of silicon dioxide  $\text{SiO}_2$  (aerosil), aluminum aerosil and titanaerosil ( $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2\cdot\text{SiO}_2$ ), designated as AlaL and TiaL, respectively, were also studied. These highly dispersed oxides (nanomaterials) were obtained by pyrogenic synthesis. A mixture containing  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  powders was also used, the components of which were plated by the ion-plasma method with microparticles of titanium Ti and aluminum Al – ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$ ), ( $\text{SiO}_2/\text{Al}$ ).*

*The analysis of the properties of the coating-base system is carried out on the basis of the calculation of the dislocation structure parameters, the estimation of the amplitude dependence of the internal friction (ADIF), which makes it possible to determine the mechanisms of the effect of the coating on the processes of destruction and deformation and the conditions of the effect of the coatings on the processes of strengthening or strengthening of the base material. Microstructural parameters were determined – the amplitude of microplastic deformation ( $\gamma''kr$ ), the parameters of the dislocation structure of the coating and the surface layers of the base ( $c1$ ,  $c2$ ), which allow us to assess the role of the coating in the processes of CM destruction. The increase in the ability of materials to dissipate the stored elastic energy after the application of plasma coatings occurs mainly for materials with those coatings, the structure of which has a large length of interphase boundaries. This is shown on the example of multicomponent coatings containing nanocomponents in the form of nanopowders. The application of the coating introduces fundamental changes to the defective structure both in the surface layers of the material adjacent to the contact zone and in the deep layers in the volume of the main material.*

**Key words:** *plasma sputtering, multiphase coating, internal friction, energy dissipation, damping, nanocomponents, aeroforces.*

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

На даний час накопичений досвід по створенню шляхом плазмового напилення композиційних покриттів, що формуються із складних сумішей оксидів, металів, сплавів, кераміки, і які містять, у тому числі, нанопорошки. Подальше напилення подібної порошкової суміші приводить до утворення структур покриттів з нанорозмірними складовими (100 нм), певним чином розподілених по об'єму, що забезпечує отримання абсолютно нових властивостей композицій [1-3].

Структура та склад такого багатофазового плазмового покриття впливають не тільки на макровластивості (механічні характеристики) системи «основа – покриття», але і на її мікровластивості, що визначається тонкою структурою. Внаслідок фізико-хімічних процесів формується покриття, що є багатошаровою і багатокомпонентною композицією у вигляді хаотично розподілених і пов'язаних між собою розплющених частинок дископодібної форми з певними когезійно-адгезійними зв'язками [4-6].

Зміна енергетичного стану поверхні при формуванні покриттів або по всій зоні, або в окремих локальних ділянках контакту основи з покриттям, що характеризується певним атомарно-структурним станом і пружними постійними, пов'язується з перерозподілом полів напружень в міжфазній зоні за рахунок зміщення різнорідних атомів при їх взаємодії та рухом певної групи дислокацій, що яка залежить від ефективності впливу покриття на основу, у тому числі і від суцільності контакту, сили зв'язків між атомами покриття та матриці, тобто фактичної (фізичної) площі контакту [7].

З фізико-механічними випробуваннями (на розтяг або вигин) зразків з покриттями пов'язані дослідження розсіювання енергії пружних коливань. У цьому випадку використовуються дані щодо внутрішнього тертя ( $Q^{-1}$ ), або декременту коливань ( $\delta$ ) [8].

Ці зміни супроводжуються протіканням мікропроцесів, які можна поставити у відповідність макровластивостям. Дослідження внутрішнього тертя (ВТ) дозволяють оцінити рівень розсіювання енергії пружних коливань і тим самим визначити схильність основного матеріалу до пластифікації або крихкості, тобто оцінити процеси деформації і руйнування. Розсіювання (затухання) енергії пружних коливань, або іншими словами внутрішнє тертя описується величинами [8-11]:

$$Q^{-1} = \Delta W / 2\pi W = \psi / 2\pi = \delta / \pi, \quad (1)$$

де  $\Delta W$  – енергія, що розсіюється за один період у всьому об'ємі зразка;  $W$  – енергія коливань усього зразка, що відповідає амплітудним значенням напруження і деформації;  $\psi = \Delta W / W$  – коефіцієнт поглинання.

Коефіцієнт внутрішнього тертя розраховується за формулою

$$Q^{-1} = \frac{1}{2\pi n} \ln\left(\frac{A_0}{A_n}\right) \text{ або } \delta = \ln \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_{n+1}} \quad (2)$$

де  $A_0$  і  $A_n$  – амплітуди коливань на нульовому періоді і через  $n$  періодів;  $\varepsilon_{n,n+1}$  – амплітуди деформації.

Простим і зручним із всіх інфразвукових способів вимірювання ВТ і отримати спектр поглинання пружної енергії для даного матеріалу є метод крутильного маятника. Метод крутильних коливань має багато переваг, але є недоліки, наприклад, основними недоліками є – неоднорідність деформації в зразку та наявність постійно діючого розтягуючого навантаження, що необхідно враховувати при обробці даних.

#### Формулювання мети дослідження

Аналіз впливу структурних особливостей сформованих плазмових багатофазових покриттів на поглинання (релаксацію) енергії пружних коливань (ВТ) у системі «основа – покриття», що містять ультрадисперсні включення у вигляді нанопорошків і інших наноскладових.

Дані питання мають науковий інтерес з погляду зіставлення параметрів внутрішнього тертя (мікровластивості) з фізико-механічними характеристиками (макровластивості) КМ – міцністю, мікротвердістю, пластичністю, тріщиностійкістю композиційного матеріалу [1, 2, 6, 11].

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Для досліджень в якості основи були обрані прості і високолеговані сталі, а також армо-залізо, а для покриттів використовувалися одно- і багатокомпонентні порошки [1, 11, 12]. Досліджувалися також покриття у вигляді композиційних систем на основі нанопорошків діоксиду кремнію  $\text{SiO}_2$  (аеросил), алюмоаеросилу та титанаеросилу ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ ), позначені, як  $\text{AlaL}$  і  $\text{TiaL}$ , відповідно [1, 2, 5]. Ці високодисперсні оксиди (наноматеріали) отримані методом пірогенного синтезу. Також була задіяна суміш, яка містила порошки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та  $\text{SiO}_2$ , компоненти яких були плаковані іонно-плазмовим способом мікрочастинками титану  $\text{Ti}$  та алюмінію  $\text{Al}$  – ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$ ), ( $\text{SiO}_2/\text{Al}$ ) [13-15].

Ці наноскладові, які містяться у порошковій суміші, можна розглядати як дисперсні включення. В цьому випадку елементами структури матеріалу з дисперсними включеннями та параметрами їх просторового розподілу, згідно з підходами Гензамера – Мовчана, виступають – середній розмір зерна  $D$ , середній діаметр сферичних частинок  $d$  та об'ємна частка частинок другої фази  $f$ , середня вільна відстань між частинками дисперсної фази  $\Lambda$ , середня відстань між найближчими частинками цієї фази  $\lambda$ . Відстань між частинками визначаються за допомогою співвідношень [16]:

$$\Lambda = \lambda \left( \frac{2}{3f} \right)^{1/2}, \quad \lambda = \left( \frac{2}{3f} \right)^{1/2} d(1-f) \quad (3)$$

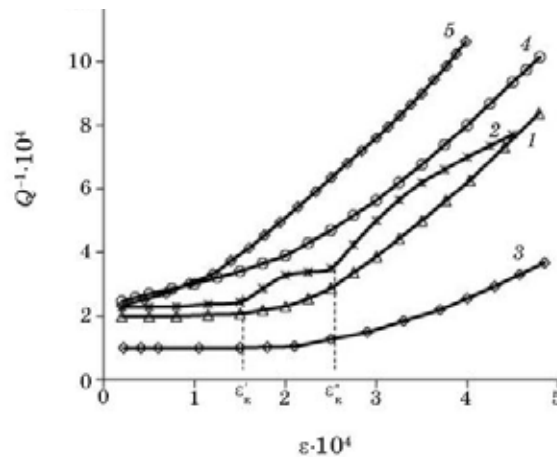
Залежність механічних показників полікристалічного композиційного матеріалу (КМ) описується видозміненим співвідношенням Холла – Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + m\Delta_c^{-1/2}, \tag{4}$$

де  $\sigma_0, m$  – постійні величини даного матеріалу матриці.

Розмір параметра структури ( $\Delta_c$ ) у виразі (4) відповідає значенням  $D \approx \Lambda \approx \lambda$  (рів. 3) у ступені (-1/2). Крім того, цей параметр включає модуль зсуву  $G$  і вектор Бюргерса  $b$  матриці з розміром зерна  $D$ , а також залежить від величини дислокаційної структури  $L$ , а для покриттів від товщини  $h$ .

Аналіз дислокаційної структури КМ, яка описується розмірно-структурними умовами (3), проводиться за результатами вимірювань декременту коливань  $\delta$  (внутрішнього тертя  $Q^{-1}$ ). Для оцінки параметрів дислокаційної структури широко використовують метод амплітудної залежності внутрішнього тертя (АЗВТ) [1, 8, 10]. Результати вимірювань коефіцієнта згасання енергії залежно від амплітуди коливань приведені на рис. 1, на якому представлені дані, що характеризують вплив різної технології нанесення покриттів на зміну динаміки дислокацій – зміна початкового рівня напруж дислокацій ( $\epsilon''_{кр}$ ). Зменшення цієї амплітуди при напilenні покриття свідчить про більш ранню мікропластичну деформацію, і, навпаки.



**Рис. 1.** Амплітудні залежності внутрішнього тертя для зразків з армко-заліза після відпалу (1); після деформації (2); із покриттям на основі NiAl (3); на основі системи NiAl + (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>) (4); NiAl+(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ti) (5); TiO<sub>2</sub>+(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>)/Al (6); 5, 6 – плакований порошок Ti та Al

Мікроструктура та специфічний склад сформованого в процесі плазмового напilenня покриття, велика кількість точкових та лінійних дефектів фіксується на кривих ВТ. Введення дисперсних частинок у матеріал при напilenні призводить до зміни дислокаційної структури усього об'єму композиції. Кількісна оцінка впливу покриттів здійснена за значеннями параметрів дислокаційної структури, обчислених з кривих АЗВТ (рис. 2, 3), згідно з моделлю Гранатто-Люкке [1, 8, 11]. Відповідно до теорії, загасання визначається залежно від амплітуди наступним чином:

$$\delta_H = c_1/\gamma_0 \exp(-c_2/\gamma_0) \tag{5}$$

де  $\gamma_0$  – амплітуда деформації;  $c_1$  і  $c_2$  – величини, що характеризують щільність дислокацій та концентрацію домішкових атомів у зонах Котрелла.

Характеристики АЗВТ прямо пов'язані з параметрами дислокаційної сітки  $L_N$ , дислокаційних сегментів  $L_C$  і щільністю дислокацій  $\rho$ . Аналіз дислокаційної структури проводиться шляхом перебудови залежності декременту коливань  $\delta$  від відносної деформації кручення (рис. 2, 3) в координати  $\ln(\delta\gamma) = f(1/\gamma)$ . Залежність  $\ln(\delta\gamma)$  від  $1/\gamma$  виражається у вигляді прямої (рис. 2):

$$\ln(\delta\gamma) = \ln\left(\frac{A\rho L_N^3}{L_c^2}\right) - \frac{1}{\gamma} k\eta a / L_c, \tag{6}$$

нахил якої

$$c_2 = k\eta a / L_c \tag{7}$$

де  $A$  – постійна;  $\rho$  – щільність дислокацій;  $L_N$  – середня довжина відрізків дислокаційних ліній;  $L_C$  – середня довжина сегментів дислокаційних ліній;  $\eta$  – різниця атомних радіусів металу-розчинника та домішки;  $a$  – параметр решітки.

Нахил  $c_2$  прямої залежності  $\ln(\delta\gamma) = f(1/\gamma)$  є мірою концентрації атомів, що закріплюють дислокації.

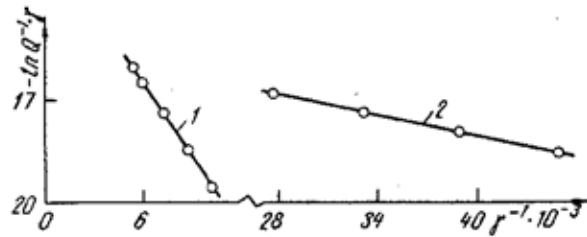


Рис. 2. АЗВТ зразків чистого заліза (1) та з плазмовим покриттям (AlNi)

Величини  $c_1$ , що відсікаються в координатах Гранато і Люкке на осі ординат, є мірою щільності дислокацій у матеріалі, в якому загасання коливань відбувається відповідно до теорії Гранато і Люкке:

$$c_1 = \frac{A\rho L_N^3}{\gamma' L_c^2} \tag{8}$$

Відповідно до теорії ВТ у твердих тілах існують дві критичні амплітуди деформації:  $\gamma'_{кр}$  – характеризує початок амплітудної залежності декременту згасання (описує пружні властивості);  $\gamma''_{кр}$  – характеризує початок мікропластичної деформації. Критична амплітуда відриву  $\gamma'_{кр}$  також залежить від ступеня закріплення дислокацій атомами – домішками:

$$\gamma'_{кр} = \frac{Q \cdot c}{E \cdot b^3} \tag{9}$$

де  $Q$  – енергія зв'язку блокуючого атома з дислокацією;  $c$  – концентрація домішкових атомів у сфері дислокації;  $E$  – модуль пружності;  $b$  – Вектор Бюргерса.

Виходячи з відомих фактів, можна констатувати, що при амплітудах вище критичних  $\gamma'_{кр}$  та  $\gamma''_{кр}$ , згасання обумовлюють різні джерела внутрішнього розсіювання енергії, однак один з них відіграє першорядну роль. Амплітуда деформації  $\gamma''_{кр}$ , що відповідає зростанню фону внутрішнього тертя, вказує на появу внутрішнього розсіювання енергії за рахунок мікропластичної локальної деформації у структурних складових плазмового покриття.

Визначені мікроструктурні параметри, такі як амплітуда мікропластичної деформації ( $\gamma''_{кр}$ ), параметри дислокаційної структури покриття та поверхневих шарів основи ( $c_1, c_2$ ) дозволяють оцінити роль покриття у процесах руйнування КМ. Важливим є встановлений факт, що нанесення покриттів вносить принципові відмінності у характер змін поглинання енергії пружних коливань по перерізу композиційного матеріалу. Вплив покриттів на основний матеріал оцінюється за показниками загального рівня (фону ВТ), по куту нахилу кривих залежно від  $Q^{-1} = f(\gamma)$ . Нанесення покриттів супроводжується зміною критичної амплітуди  $\gamma''_{кр}$ , що характеризує початок мікропластичної деформації, що обумовлено зміною загальної густини дислокацій, як в основі, так і в шарах самого покриття. Знаючи величину  $\gamma''_{кр}$ , визначаємо довжину дислокаційного відрізка  $L_N$ :

$$L_N = \frac{b}{\gamma''_{кр}} = \frac{bG}{\tau_{кр2}} \tag{12}$$

Разом з тим, нанесення покриттів призводить до зміни дислокаційної, тобто. тонкої структури, як поверхневих шарів, прилеглих до зони контакту, і глибинних областях основного матеріалу [1].

Із розрахунково-експериментального аналізу результатів, представлених на рис. 1–3 витікає наступне. Вплив покриття не однозначний, атомна будова, пористість (щільність), фазовий склад мають конкуруючий вплив на дислокаційну структуру приповерхневих шарів. На величину критичної амплітуди  $\gamma''_{кр}$  впливають стан структури металу та перешкоди для генерування джерел дислокацій у вигляді дисперсних частинок. Внутрішнє розсіювання енергії обумовлено мікропластичною деформацією в локальних об'ємах найслабшої складової структури композиційного матеріалу. При амплітудах напруг, вище критичної  $\gamma''_{кр}$ , рухливість дислокацій велика, у результаті виникає локальна деформація всередині окремих зерен і декремент коливань зростає. Однак, при подальшому підвищенні рівня напруги вільні дислокації зустрічають перешкоди у вигляді границь зерен, спостерігається їхнє скупчення, зменшується рухливість внаслідок утворення поля напруги, декремент коливань зменшується, на АЗВТ формується максимум (рис. 1). Роль границь блоків і зерен в утворенні максимуму згасання на амплітудній залежності можлива за умови, що внутрішньо-зеренна структура має максимальну пластичність, а межі зерен зміцнені. При підвищенні рівня напруг, що прикладаються, новому зростанню декременту будуть відповідати деформації вже в макрооб'ємах, що захоплюють кілька сусідніх зерен. Функціональні властивості покриттів, що утворюються в процесі наплення і подальшої термообробки, залежатимуть не лише від структури, що



сформувалася, фазового і хімічного складу даного покриття, але також і від стану контактної зони, її міжфазної міцності, тобто адгезійних властивостей системи матриця – покриття.

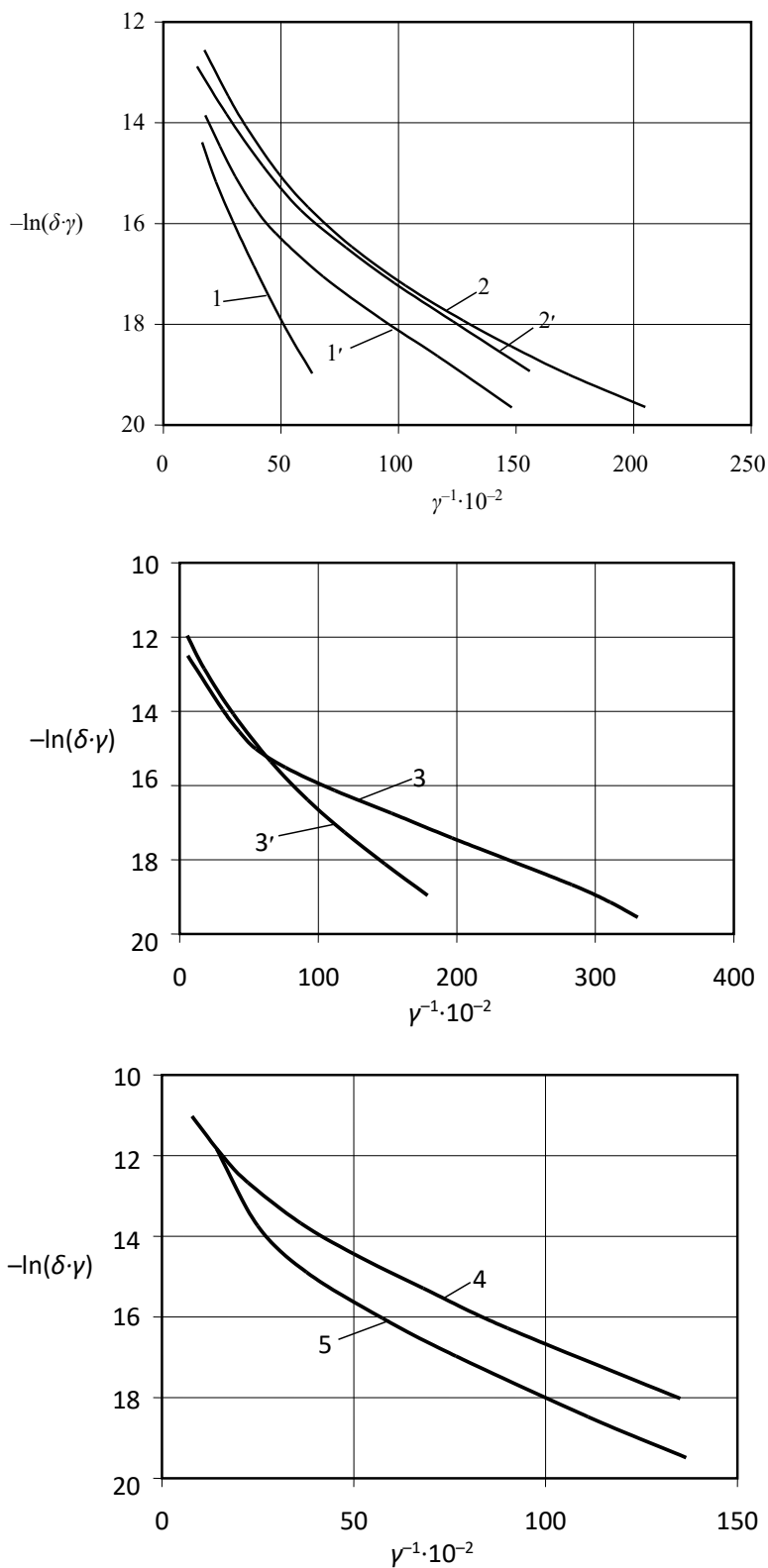
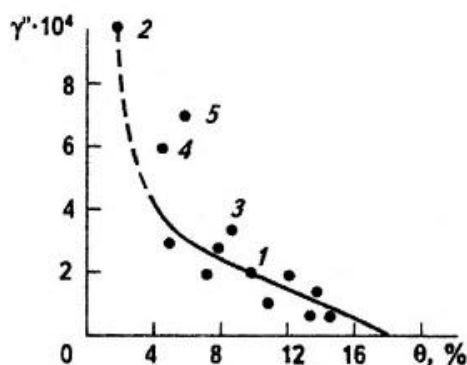


Рис. 3. Амплітудні залежності внутрішнього тертя системи «основа – покриття», що перебудовані у координати  $\ln(\delta \gamma) = f(1/\gamma)$ , згідно експериментальним даним, представленим на рис. 1

Створення оптимальних композицій можна реалізувати за умови встановлення взаємозв'язку між відповідними параметрами, що забезпечують формування певної макро- та мікроструктури, високий або підвищений рівень когезійної міцності багатофазного покриття, а також необхідну адгезію його до поверхні основного матеріалу. Фізико-хімічні процеси, що протікають безпосередньо при ударі частинок об поверхню, обумовлюють формування певної площі контакту і відповідний цій площі рівень міцності зчеплення [7, 17]. Відомо, що присутність на поверхні окремих дефектів, домішок, сторонніх атомів і фаз, не кажучи про суцільні покриття, навіть дуже тонкі, призводить до зміни властивостей матеріалів, так як змінюється напружений стан поверхневих шарів в результаті взаємодія адсорбованих елементів покриття і атомів матриці.

Вплив покриття, можна розглядати з точки зору його дефектності, пористості (щільності), оскільки в таких покриттях підвищена ймовірність зародження тріщин при дії зовнішніх напружень, залишкові напружки сприяють розтріскуванню і відшаруванню покриттів. В таких умовах мікроструктура, фазовий склад, атомна будова, з одного боку, а дефектність, пористість, з іншого боку, надають конкуруючий вплив на дислокаційну структуру у приповерхневих шарів, і тому вплив покриття не однозначний. Структура будь-якого напilenого покриття характеризується певним ступенем пористості, яка також є одним з основних параметрів, що активно впливають на ефективність взаємодії поверхневих шарів основного матеріалу та елементів покриття. Використовуючи теоретичні (або експериментальні) залежності фізичної площі контакту від технологічних параметрів напilenня, а також маючи експериментальні дані, що зв'язують пористість  $\theta$ , критичну деформацію  $\gamma''_{кр}$ , можна знайти функціональну залежність між цими параметрами.

На рис. 4 представлені експериментальні залежності межі критичної деформації від величини пористості покриття (на прикладі Mo), яке отримано шляхом використання різних технологічних прийомів і параметрів.



**Рис. 4.** Залежність критичної деформації  $\gamma''$  від пористості  $\theta$  і різних технологічних прийомів напilenних молибденових покриттів у широкому діапазоні швидкостей та дисперсності частинок (цифри відповідають додатковому режиму напilenня та обробки): 1 – попередня груба обробка поверхні основи; 2 – напilenня у динамічному вакуумі; 3 – напilenня у захисному соплі; 4 – (зразки з покриттям відпал) при 1100 ° C протягом 2 год; 5 – напilenня у рідку фазу

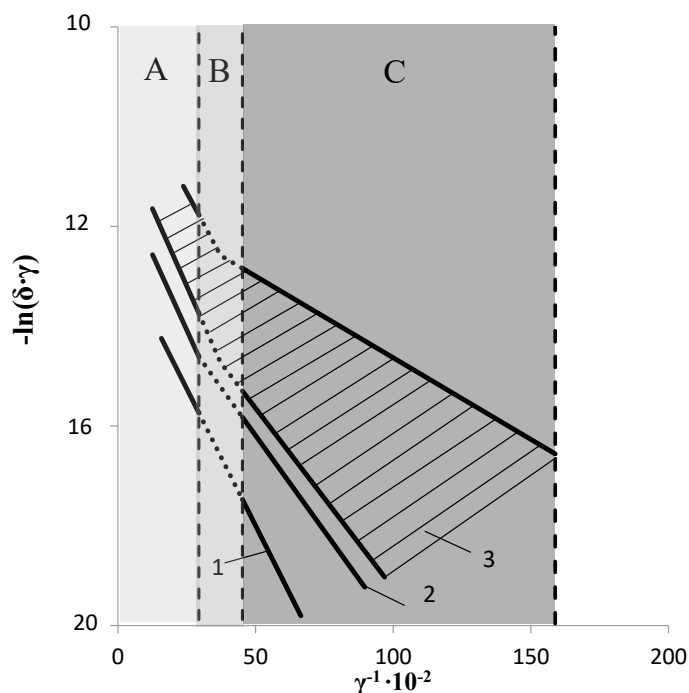
За результатами апробації розглянутої вище концепції, згідно з рис. 4, запропонований критерій на прикладі низки композицій, для яких притаманні підвищені значення цього критерію –  $\gamma'' \sqrt{1-\theta}$ . Запропоновані підходи з використанням критерію  $\gamma'' \sqrt{1-\theta}$  визначають взаємозв'язок і співвідношення між різними групами факторів, які діють на різних етапах плазмового напilenня, починаючи від введення матеріалів у плазмовий потік до формування покриття [1]. Вони є вихідними, базовими для подальшого оптимального вибору конкретних технологій отримання покриттів з підвищеною міцністю і відповідною структурою.

На рис. 5 в узагальненому вигляді для розглянутих вище, а також для широкого кола інших покриттів наведено результати вимірювання ВТ композиційних матеріалів. Представлені для КМ залежності, характеризуються двома лінійними ділянками, розташованими паралельно (зона А) і лініями з різними кутами нахилу (зона С), на відміну від відпаленого заліза без покриттів (кр. 1).

На цих лініях спостерігається злам, який ділить їх на дві ділянки, що відносяться до інтервалів, що охоплюють високі та низькі амплітуди деформації, при цьому обробка даних можлива окремо для кожної ділянки.

Дослідження АЗВТ зразків із плазмовими покриттями та аналіз змін приповерхневої дислокаційної структури матриці в результаті напilenня дозволяють підійти диференційовано до ролі безпосередньо поверхневих та глибоких шарів. Якщо зразки без покриттів піддати поверхневій деформації, цим штучно змінити

дислокаційну структуру приповерхневих шарів, то крива залежності внутрішнього тертя (кр. 2) розбивається на дві ділянки. При цьому, як впливає з результатів обробки даних ВТ, довжина сегментації, що визначається нахилом кривої на першій ділянці, залишається незмінною і характеризує глибинні шари (зона А). Для цієї зони (зона А) кут нахилу кривих в області великих значень межі критичної деформації  $\gamma''_{кр}$  практично той самий для всіх досліджуваних матеріалів. Поява другої ділянки (зона С) відповідає зміні довжини дислокаційних сегментів у приповерхневих шарах, яка збільшується у кілька разів. Цей факт характерний як для зразків поверхнево-деформованих (кр. 2), так і з покриттями (кр. 3). Найбільша відмінність ВТ залежно від складу різних покриттів спостерігається в ділянці малих значень деформацій  $\gamma''_{кр}$  (зона С). Зона (В) є перехідною ділянкою, в якій для кожного покриття є своя критична деформація, пов'язана з різними умовами (сприятливими або несприятливими) для генерування джерел дислокацій, однак один механізм дисипації енергії не може повністю замінити іншу.



**Рис. 5. Залежність енергії згасання від амплітуди деформації для зразків із заліза: 1 – без покриттів відпаленого; 2 – поверхнево – деформованого; 3 – із покриттями, різними за складом. А – зона, яка відповідає глибинним шарам матеріалу; В – перехідна зона, відповідає міжфазній зоні основа-покриття; С – зона, відповідальна за поверхневі шари матеріалу**

У таблиці представлені експериментальні та розрахункові параметри структури для низки досліджуваних покриттів. Нанесення простих покриттів призводить до зменшення межі критичної мікроскопічної деформації  $\gamma''_{кр}$ . У той самий час наявність дисперсних фаз у вигляді нанокластових (12–16) призводить до протилежного результату.

Плазмові покриття, як показали дослідження, незалежно від складу не надають помітного впливу на  $L_c$  у глибинних шарах, проте змінюють дислокаційну структуру приповерхневих шарів, що обумовлено відмінністю в рівні напруги, що виникають на межі розділу основа-покриття. Наявність дисперсних частинок у матриці металу викликає помітну зміну розміру дислокаційної лінії  $L_N$ . Додаткова термодифузійна обробка призводить переважно до зменшення елементів дислокаційної лінії  $L_c$  та  $L_N$ .

Дисперсні частинки в матриці значною мірою затримують розвиток процесів, що призводять до розміцнення. Не виключена можливість зниження  $\gamma''_{кр}$  за рахунок виникнення за відповідних (великих) деформацій порушення суцільності на межі розділу «матриця – частка». У досліджуваних композиціях значне зміцнення в мікрообластях покриття супроводжується зниженням мікроскопічної межі пружності, і, навпаки, у разі зміцнення.

Таблиця 1

## Параметри дислокаційної структури досліджуваних плазмових покриттів

N п/п	Покриття Композиція	Режим	Параметри, 10 <sup>-4</sup>			
			$\gamma''_{кр}$	$L_N$ , см	$L_C$ , см	$\gamma^* \sqrt{1-\theta}$
1	Fe – основа		2,3-7,5	1,08	0,59	–
2	Mo	Н	1-2	2,5	1,3	3,0
3	Ti		1,8	1,1	0,6	–
4	NiAl	Н	1,9-3,2	1,38	0,39	3,10
5	NiAl+Ti		1,7	1,77	0,36	–
6	NiCr	Н	2,9	2,06	0,7	2,76
7	NiNb		5	0,5	0,165	–
12	NiAl+AlAl	Д/в/Від.	5	0,5	0,034	7,69/9,6
13	Ni-B-Nb-SiO <sub>2</sub>	Від/Лаз	5	0,5	0,022	10/9,2
14	ПГ10+AlAl	Д/в/Від.	5,75	0,43	0,03	6,7/7,6
15	ПГ12+TiAl	Н/Д.в.	9,4	0,26	0,022	9,0/8,7
16	ПГ12+Mo+TiAl	Н/Д.в.	7,9	0,31	0,064	7,70/6,9

Примітка: Н – звичайне напilenня; Д/в – напilenня динамічному вакуумі; Від. – відпал після напilenня при 1373 До протягом 2 год; Лаз. – лазерна обробка після напilenня. (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>). В пунктах (14–16) умовні позначення – ПГ10 и ПГ12 відносяться до порошків ПГ – 10Н – 01 и ПГ – 12Н – 01.

## Висновки

Наведено узагальнені результати досліджень впливу складу та структури плазмових покриттів на основі складних багатокомпонентних сумішей, що включають ультрадисперсні складові, на амплітудне внутрішнє тертя композиційних матеріалів. Прояв ефектів затухання енергії обумовлено наявністю покриттів з новими фазами та наноскладовими. Дана поведінка поставлена у відповідність до приповерхневої та об'ємної зон відповідальності в композиційному матеріалі, а також з фазовим складом та мікроструктурою цих зон.

У широкому інтервалі вимірювань деформацій досліджувалися плазмові покриття на основі (NiAl–SiO<sub>2</sub>·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Встановлено суттєвий вплив плазмових покриттів з наноскладовими у вигляді аеросилів на амплітудні залежності внутрішнього тертя досліджуваних композиційних матеріалів.

Визначено мікроструктурні параметри – амплітуда мікропластичної деформації ( $\gamma''_{кр}$ ), параметри дислокаційної структури покриття та поверхневих шарів основи ( $c_1$ ,  $c_2$ ), що дозволяють оцінити роль покриття у процесах руйнування КМ.

## Список використаної літератури

1. Копылов В.И., Смирнов И.В., Селиверстов И.А. Формирование и свойства плазменных многофазных покрытий с наноразмерными составляющими. Монография. В ред. Киев: «Наукова думка», 2019. 480 с.
2. Kopylov, V. I. Effect of multiphase structure of plasma coatings on their elastic and strength properties. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 5/5 (83). P. 49–57.
3. Смирнов И.В., Копылов В.И., Черный А.В. Влияние нанодисперсных инеградиентов на свойства плазменных покрытий. МФиНТ, т. 42, в. 6, 2020, С. 797–814.
4. Morks M. F., Tsunekawa Y., Okumiya M., Shoeib M. A. Splat Microstructure of Plasma Sprayed Cast Iron With Different Chamber Pressures. Journal of Thermal Spray Technology. June 2003. volume 12(2). P. 282–289.
5. Копылов В.И., Смирнов И.В., Рыбаков С.В. Влияние состава и микроструктуры керамических оксидных покрытий на физико-механические свойства композиционных материалов. Проблемы техники. 2005. № 2. С. 3–19.
6. Антоненко Д.А. Копылов В.И. Трещиностойкость композитных материалов с нанокерамическими составляющими. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2012. № 3(28). С. 24–30.
7. Копылов В.И., Смирнов И.В. Влияние параметров частинок и микрорельефа поверхности на формирование физической площади контакта при газотермическом напылении. Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. 2008, 53. С. 5–16.
8. Олійнич-Лисюк А.В. Внутрішнє тертя і структура твердого тіла: Навчальний посібник. Чернівці: Рута, 2006. 117 с.
9. M.S. Blanter, H. Neuhauser, H. R. Sinninig and I. S. Golovin. Internal Friction in Metallic Materials. NY: Springer Verlag. 2007. 539 p.
10. Копылов, В. И. Рево С.Л., Смирнов И.В., Иваненко Е.А., Лозовый Ф.В., Антоненко Д.А. Влияние плазменных покрытий из порошков с наноразмерными составляющими на внутреннее трение железа. Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. Збірник наукових праць. 2010. Том. 8. Випуск 1. С. 209–215.
11. Копылов, В.И., Антоненко Д.А. Физико-механические характеристики и внутреннее трение материалов с многофазными плазменными покрытиями. Проблемы техники. 2014. № 2. С. 72–89.

12. Порошок для плазмового нанесення покриттів: пат. 69338 Україна, МПК С23С4/10.№ 2011 12209; заявл. 18.10.2011; опубл. 25.04.2012 бюл. № 8.
13. Спосіб отримання металізованого керамічного порошку: пат. 44494 України, МПК (2009) С23С 4/04. № 44494; заявл. 30.03.09; опубл. 12.10.09, Бюл. № 19.
14. Селіверстов І.А. Вплив параметрів процесу вакуумно-дугової металізації на якість порошкового матеріалу. Вісник ХНТУ. 2008. № 3(32). С. 142–148.
15. Копілов В.І., Смирнов І.В., Селіверстов І.А. Процеси іонно-плазмового плакування порошків для газотермічних покриттів. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2009. № 3(65). С. 11–20.
16. Мовчан Б. А. Механические размерные эффекты двухфазных неорганических материалов. Автоматическая сварка. 2008. № 11. С. 166–170.
17. Копілов В.І., Смирнов І.В., Антоненко Д.О. Адгезійні властивості і міцність зчеплення газотермічних покриттів. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2010. № 1. С. 93–103.

### References

1. Kopylov V.I., Smirnov I.V., Sieliverstov I.A. (2019). Formirovanie i svojstva plazmennyyh mnogofaznyh pokrytij s nanorazmernymi sostavlyayushimi. Monografiya. V red. Kiev: «Naukova dumka», – 480 s. (in Russ.)
2. Kopylov, V. I. (2016). Effect of multiphase structure of plasma coatings on their elastic and strength properties. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/5 (83), 49–57.
3. Smirnov I.V., Kopylov V.I., Chernyj A.V. (2020). Vliyanie nanodispersnyh inegradientov na svojstva plazmennyyh pokrytij. MFiNT., t. 42, v. 6, 797–814. (in Russ.)
4. Morks M. F., Tsunekawa Y., Okumiya M., Shoeib M. A. Splat (2003). Microstructure of Plasma Sprayed Cast Iron With Different Chamber Pressures. Journal of Thermal Spray Technology. volume 12(2). – P. 282–289.
5. Kopylov V.I., Smirnov I.V., Rybakov S.V. (2005). Vliyanie sostava i mikrostruktury keramicheskikh oksidnyh pokrytij na fiziko-mehaniicheskie svojstva kompozitsionnyh materialov. Problemy tehniki, № 2, 3–19 (in Russ.).
6. Antonenko D.A., Kopylov V.I. (2012). Treshinostojkost kompozitnyh materialov s nanokeramicheskimi sostavlyayushimi. Visnik Donbaskoyi derzhavnoyi mashinobudivnoyi akademiyi, № 3(28), 24–30. (in Russ.)
7. Kopilov V.I., Smirnov I.V. (2008). Vpliv parametriv chastinok i mikrorelyefu poverhni na formuvannya fizichnoyi ploshi kontaktu pri gazotermichnomu napilenni. Vestnik NTUU «KPI». Mashinostroenie, 53, 5–16. (in Ukr.).
8. Olijnich-Lisyuk A.V. (2006). Vnutrishnye tertya i struktura tverdogo tila: Navchalnij posibnik – Chernivci: Ruta 117 (in Ukr.).
9. M.S. Blanter, H. Neuhauser, H. R. Sinninig and I. S. Golovin. (2007). Internal Friction in Metallic Materials. – NY: Springer Verlag. 539 p.
10. Kopylov, V. I. Revo S.L., Smirnov I.V., Ivanenko E.A., Lozovyy F.V., Antonenko D.A. (2010). Vliyanie plazmennyyh pokrytij iz poroshkov s nanorazmernymi sostavlyayushimi na vnutrennee trenie zheleza. Nanosistemi, nanomateriali, nanotehnologiyi. Zbirnik naukovih prac, tom. 8. Vipusk 1, 209–215. (in Russ.)
11. Kopylov, V.I., Antonenko D.A. (2014). Fiziko-mehaniicheskie harakteristiki i vnutrennee trenie materialov s mnogofaznymi plazmennymi pokrytyami. Problemy tehniki, № 2, 72–89. (in Russ.)
12. Poroshok dlya plazmovogo nanesennya pokrittiv: pat. 69338 Ukraina, MPK S23S4/10.№ 2011 12209; yayavl. 18.10.2011; opubl. 25.04.2012 byul. № 8. (in Ukr.).
13. Sposib otrimannya metalizovanogo keramichnogo poroshku: pat. 44494 Ukrayini, MPK (2009) S23S 4/04.– № 44494; yayavl. 30.03.09; opubl. 12.10.09, Byul. № 19. (in Ukr.).
14. Sieliverstov I.A. (2008). Vpliv parametriv procesu vakuumno-dugovoyi metalizaciyi na yakist poroshkovogo materialu. Visnik HNTU, № 3(32), 142–148. (in Ukr.).
15. Kopilov V.I., Smirnov I.V., Sieliverstov I.A. (2009). Prosesi ionno-plazmovogo plakuvannya poroshkiv dlya gazotermichnih pokrittiv. Naukovi visti NTUU «KPI», № 3(65), 11–20. (in Ukr.).
16. Movchan B. A. (2008). Mehanicheskie razmernye efekty dvuhfaznyh neorganicheskikh materialov. Avtomaticheskaya svarka, № 11, 166–170. (in Russ.)
17. Kopilov V.I., Smirnov I.V., Antonenko D.O. (2010). Adgezijni vlastivosti i micnist zchepлення gazotermichnih pokrittiv. Naukovi visti NTUU «KPI», № 1, 93–103. (in Ukr.).

УДК 621.865.8

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.8>**В. О. КРАВЕЦЬ**

інженер кафедри конструювання машин  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0009-0005-6867-4858

**О. М. КРАВЕЦЬ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри конструювання машин  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-7468-0956

**В. К. ФРОЛОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-3697-286X

**С. В. ЛАПКОВСЬКИЙ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-9870-9231

**М. М. ГЛАДСЬКИЙ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-4547-7131

**Л. М. ДАНИЛОВА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-4442-3959

## **ВИКОРИСТАННЯ МОРФОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ**

*Використання промислових роботів у виробництві – безальтернативний шлях підвищення якості та продуктивності сучасного виробництва. Вже багато років роботизоване маніпулювання об'єктами виробництва є найпопулярнішою роботизованою операцією. Промислові роботи, які оснащені захватним пристроєм, можуть виконувати дуже багато завдань, що традиційно були притаманні руці людини, і можуть використовувати захватний пристрій в широкому діапазоні захвату та утримання об'єктів виробництва. Однак, незважаючи на різноманіття захватних пристроїв, які зараз доступні на ринку, існує багато завдань, які важко або навіть неможливо виконати існуючими захватними пристроями. Тому є попит на нові конструкції захватних пристроїв, які здатні конкурувати з людською рукою. Стаття присвячена вдосконаленню процесу проєктування нових конструкцій механічних захватних пристроїв за рахунок використання морфологічних методів. Морфологічні методи неодноразово виявлялися доволі ефективним засобом при проєктуванні нових та вдосконалених вже існуючих механічних систем. Метою даної статті є вирішення задачі створення нових конструкцій механічних захватних пристроїв. У статті виявлені ознаки структурних елементів механічних захватних пристроїв і побудована їх на*

основі морфологічна матриця. Загальна кількість альтернативних варіантів конструкцій механічних захватних пристроїв для цієї морфологічної матриці виявилася досить великою для того, щоб отримати нові незвичайні варіанти конструкцій механічних захватних пристроїв, які при звичайному переборі альтернатив можна просто втратити. Цей факт підтвердив ефективність використання морфологічних методів при вирішенні задачі синтезу нових конструкцій механічних захватних пристроїв. У статті наведено декілька варіантів спроектованих механічних захватних пристроїв.

**Ключові слова:** захватний пристрій, конструкція, проектування, морфологічний метод, морфологічний ящик, морфологічна матриця, структурні елементи, синтез варіантів.

V. O. KRAVETS

Engineer at the Department of Machine Design  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0009-0005-6867-4858

O. M. KRAVETS

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Machine Design  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-7468-0956

V. K. FROLOV

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-3697-286X

S. V. LAPKOVSKY

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-9870-9231

M. M. GLADSKYI

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-4547-7131

L. M. DANYLOVA

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-4442-3959

## USING THE MORPHOLOGICAL METHODS IN GRIPPERS DESIGN

*The use of industrial robots in production is an indispensable way to improve the quality and productivity of modern production. For many years, robotic manipulation of production objects has been the most popular robotic operation. Industrial robots that are equipped with a gripper can perform many tasks that have traditionally been performed by the human hand, and can use the gripper in a very wide range of gripping and holding production objects. However, despite the number of grippers currently available on the market, there are still many tasks that are difficult or even impossible for grippers to perform, clearly indicating a demand for new gripper designs that can compete with the human hand. The article is devoted to the improvement of the methods of designing new designs of mechanical grippers due to the use of morphological methods. Morphological methods have repeatedly*

*proven to be quite an effective tool for designing new and improving existing mechanical systems. The purpose of this article is to solve the problem of obtaining new designs of mechanical grippers. The article examines the features of the structural elements of mechanical grippers and the construction of a morphological matrix based on the latter. The total number of alternative mechanical gripper design options for this morphological matrix turned out to be large enough to yield new unusual mechanical gripper design options that would simply be lost in the usual sorting of alternatives. This fact confirmed the effectiveness of using morphological methods in solving the problem of synthesis of new designs of mechanical grippers. The article presents several options for the designed constructions of new mechanical grippers.*

**Key words:** gripper, construction, design, morphological method, morphological box, morphological matrix, structural elements, synthesis of variants.

### Постановка проблеми

За даними звіту IFR – Міжнародної федерації робототехніки – в останні роки серед усіх роботизованих технологічних операцій саме маніпулювання об'єктами виробництва є найпоширенішою роботизованою операцією (рис. 1) [1-3].

Слід відзначити, що у порівнянні з 2021 роком у 2022 році кількість інсталяцій промислових роботів у складанні та зварюванні впали відповідно на 3% і 7%, тоді як у маніпулюванні об'єктами виробництва вона зросла на 10% (рис. 1) [1-3].

Зрозуміло, що роботизоване маніпулювання об'єктами виробництва можливе тільки тоді, коли робот оснащений захватним пристроєм (ЗП). Таким чином, розвиток теорії проектування ЗП є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанню проектування та дослідження ЗП присвячено багато публікацій зарубіжних авторів. Так, тільки у роботі науковців з Університету Віконсин-Мілуокі (США) «Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review» [4] у списку використаної літератури наведено 98 посилань з досліджуваного питання, 76 з яких (78%) надруковані за останні 10 років.

За даною тематикою досліджень і публікацій вітчизняних авторів, на жаль, не так вже і багато. До таких робіт вітчизняних авторів, перш за все, можна віднести такі наукові праці, як [5-9]. Але слід відзначити, що в роботах [5, 7, 8] стосовно ЗП наведена майже однакова інформація. Найбільш цінними роботами, на думку авторів даної статті, можна вважати роботи [6, 9].

### Формулювання мети дослідження

Метою даної статті є вдосконалення процесу проектування нових конструкцій механічних захватних пристроїв (МЗП) за рахунок використання морфологічних методів.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Морфологічні методи дозволяють досліджувати всі можливі варіанти розв'язання задач створення технічних систем із структурних позицій [10, 11]. Ці задачі впливають із закономірностей морфології будови технічної системи, і тим самим, з'являється можливість враховувати, окрім відомих, нові незвичайні варіанти, якими при звичайному переборі альтернатив можна просто знехтувати. Ідея даних методів полягає в тому, щоб потрапити в зону альтернативних варіантів рішень, які далекі від того, що лежить на видноті [10, 11]. Суть цих методів полягає в тому, що в системі, яка повинна бути удосконалена, виділяють декілька характерних для неї структурних елементів, для кожного з яких складають максимально повну множину різних конкретних альтернатив його функціонування [10, 11]. Таким чином, кожна ознака структурного елемента може характеризувати якийсь конструктивний елемент структури системи, якусь функцію, якийсь режим її стану, якусь форму взаємодії елементів (вузлів), тобто параметри характеристики системи, від яких залежить вирішення проблеми та досягнення основної мети [10, 11].

Одна з переваг даного методу – його багатоваріантність. Оскільки метод заснований на використанні морфології об'єктів, він дозволяє організувати простір ознак об'єкта (морфологічний ящик) і систематично його проаналізувати. При цьому, на відміну від простого перебору, виключається пропуск якихось альтернатив, що дозволяє подолати інерцію мислення спеціалістів, знайти оригінальні рішення при повному переборі всього переліку можливих рішень.

Альтернативні ознаки розташовують у вигляді таблиці, яка називається морфологічною матрицею (морфологічним ящиком), що надає можливість краще уявити поле пошуку. Морфологічні матриці можуть бути подані у цифровому або буквенному вигляді по рядках або по стовпцях [10, 11].

Морфологічна матриця конструкцій МЗП наведена у табл. 1.





а)



б)



в)

Рис. 1. Відсоткове співвідношення кількості інсталяцій промислових робіт у виробництво:  
а – у 2022 році, б – у 2021 році, в – у 2020 році

Таблиця 1

Морфологічна матриця конструкцій МЗП

№ з/п	Ознака структурного елементу МЗП	Варіант виконання
1	Тип приводу	1.1 – Електричний 1.2 – Пневматичний 1.3 – Гідравлічний
2	Механізм	2.1 – Важільний 2.2 – Гвинтовий 2.3 – Клиновий
3	Кількість пальців	3.1 – 2 3.2 – 3 3.3 – 4 3.4 – 5 3.5 – Більше 5
4	Конструкція пальців	4.1 – Суцільна 4.2 – Дискретна
5	Пружність пальців	5.1 – Є 5.2 – Немає
6	Рух пальців	6.1 – Поступальний 6.2 – Обертальний
7	Форма губок	7.1 – Плоска 7.2 – Призматична 7.3 – Циліндрична 7.4 – Сферична 7.5 – Конічна 7.6 – Асиметрична
8	Конструкція губок	8.1 – Суцільна 8.2 – Дискретна
9	Пружність губок	9.1 – Є 9.2 – Немає
10	Рух губок відносно пальців	10.1 – Поступальний 10.2 – Обертальний 10.3 – Немає
11	Можливість автоматичного повернення губок у вихідне положення	11.1 – Є 11.2 – Немає

Загальна кількість варіантів конструкцій МЗП з даної морфологічної матриці буде дорівнювати:

$$N = \prod_{i=1}^{11} K_i = 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 = 51\ 840.$$

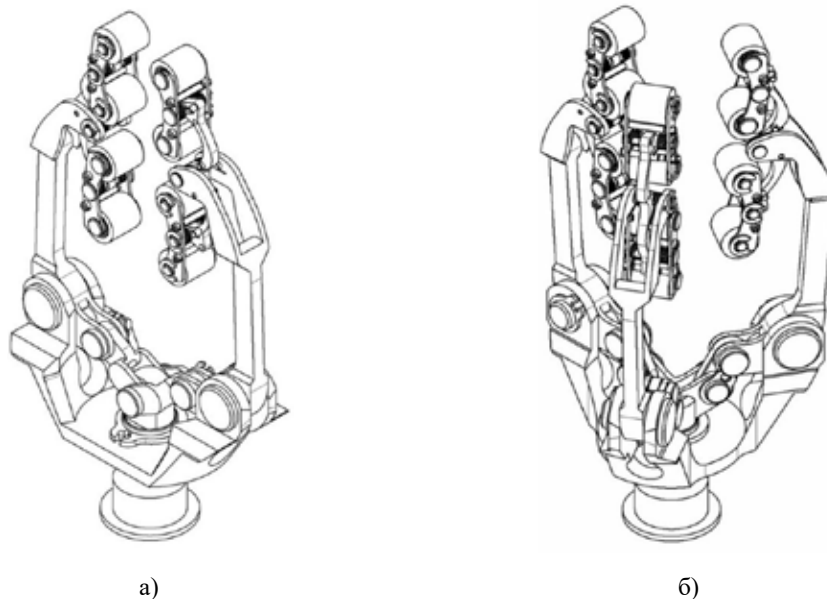


Рис. 2. Варіанти конструкцій МЗП: а – згідно 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.2 – 6.2 – 7.3 – 8.2 – 9.2 – 10.2 – 11.1, б – згідно 1.1 – 2.1 – 3.2 – 4.1 – 5.2 – 6.2 – 7.3 – 8.2 – 9.2 – 10.2 – 11.1

Проте кількість альтернативних варіантів конструкцій МЗП для цієї морфологічної матриці може бути збільшена шляхом комбінації деяких альтернатив. Так, наприклад, можна отримати ще один вид руху пальців МЗП комбінацією альтернатив 6.1 і 6.2 або 10.1 і 10.2 (комбінований рух) тощо.

Після синтезу варіантів конструкцій МЗП можна отримати різноманітні комбінації альтернатив. На рис. 2 наведено варіанти конструкцій МЗП, що були створені згідно з деякими з них.

#### Висновки

Використання морфологічних методів при проектуванні нових конструкцій МЗП є досить ефективним, дозволяє отримати оригінальні конструкційні рішення при несподіваному поєднанні ознак банальних структурних елементів.

#### Список використаної літератури

1. *World Robotics 2023*. IFR International Federation of Robotics, 2023, 49 p. URL: [https://ifr.org/img/worldrobotics/2023\\_WR\\_extended\\_version.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/2023_WR_extended_version.pdf).
2. Кравець, В., Кравець, О., Адаменко, Ю., Лапковський, С., Кореньков, В., & Фролов, В. (2023). Аналіз розмірних зв'язків роботизованого комплексу. *Технічні науки та технології*, 3 (33), 40–52. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-40-52](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-40-52)
3. Кравець, В., Кравець, О., Лапковський, С., Фролов, В., Гладський, М., & Приходько, В. (2024). Аналіз розмірних зв'язків роботизованої складальної системи. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 1 (88), 54–62. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.7>
4. Hernandez, J., Sunny, M.S.H., Sanjuan, J., Rulik, I., Zarif, M.I.I., Ahamed, S.I., Ahmed, H.U., & Rahman, M.H. Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review. *Robotics 2023*, 12 (1), 5. <https://doi.org/10.3390/robotics12010005>
5. Ковальов, Ю.А., Кошель, С.О., & Манойленко, О.П. (2020). *Проектування промислових роботів та маніпуляторів*. Центр учбової літератури.
6. Павленко, І.І., & Годунко, М.О. (2020). *Захватні пристрої роботів*. ТОВ «КОД».
7. Пелевін, Л.Є., Почка, К.І., Гаркавенко, О.М., Міщук, Д.О., & Русан, І.В. (2016). *Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні*. ТОВ «НВП «Інтерсервіс».
8. Поліщук, М.М., & Ткач, М.М. (2021). *Робототехнічні системи: проектування і моделювання*. КПІ ім. Ігоря Сікорського.
9. Проць, Я.І. (2008). *Захоплювальні пристрої промислових роботів*. Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя.
10. Zwicky, F. (1962). *Morphology of Propulsive Power*. Society for Morphological Research.
11. Кузнецов, Ю.М., & Придальний, Б.І. (2023). *Теорія технічних систем в аспектах досліджень та технічної творчості*. Вежа-Друк.

#### References

1. *World Robotics 2023*. IFR International Federation of Robotics, 2023, 49 p. URL: [https://ifr.org/img/worldrobotics/2023\\_WR\\_extended\\_version.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/2023_WR_extended_version.pdf).
2. Kravets, V., Kravets, O., Adamenko, Yu., Lapkovskiy, S., Korenkov, V., & Frolov, V. (2023). Analiz rozmirnykh zviazkiv robotyzovanoho kompleksu. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 3 (33), 40–52. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-40-52](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-40-52)
3. Kravets, V., Kravets, O., Lapkovskiy, S., Frolov, V., Hladykiy, M., & Prykhodko, V. (2024). Analiz rozmirnykh zviazkiv robotyzovanoi skladalnoi systemy. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 1 (88), 54–62. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.7>
4. Hernandez, J., Sunny, M.S.H., Sanjuan, J., Rulik, I., Zarif, M.I.I., Ahamed, S.I., Ahmed, H.U., & Rahman, M.H. Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review. *Robotics 2023*, 12 (1), 5. <https://doi.org/10.3390/robotics12010005>
5. Kovalov, Yu.A., Koshel, S.O., & Manoilenko, O.P. (2020). *Proektuvannia promyslovykh robotiv ta manipulatoriv*. Tsentr uchbovoi literatury.
6. Pavlenko, I.I., & Hodunko, M.O. (2020). *Zakhvatni prystroi robotiv*. TOV „KOD“.
7. Pelevin, L.Ie., Pochka, K.I., Harkavenko, O.M., Mishchuk, D.O., & Rusan, I.V. (2016). *Syntezy robototekhnichnykh system v mashynobuduvanni*. TOV „NVP „Interservis“.
8. Polishchuk, M.M., & Tkach, M.M. (2021). *Robototekhnichni systemy: proiektuvannia i modeliuvannia*. KPI im. Ihoria Sikorskoho.
9. Prots, Ya.I. (2008). *Zakhopliuvalni prystroi promyslovykh robotiv*. Ternopilskiy derzhavnyi tekhnichnyi universytet im. I. Puliua.
10. Zwicky, F. (1962). *Morphology of Propulsive Power*. Society for Morphological Research.
11. Kuznietsov, Yu.M., & Prydalnyi, B.I. (2023). *Teoriia tekhnichnykh system v aspektakh doslidzhen ta tekhnichnoi tvorchosti*. Vezha-Druk.

**S. I. KUZNIETSOV**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Chemical Technologies, Expertise  
and Provisions Production Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-1766-931 X

**O. O. VENHER**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Chemical Technologies, Expertise  
and Provisions Production Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-0065-0375

**V. M. BEZPALCHENKO**

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Chemical Technologies, Expertise  
and Provisions Production Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-1355-7938

**O. O. SEMENCHENKO**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Chemical Technologies, Expertise  
and Provisions Production Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-1251-2711

**V. O. CHABAN**

Doctor of Agricultural Sciences,  
Professor at the Department of Health and Safety, Professional  
and Applied Physical Training  
Kherson State Maritime Academy  
ORCID: 0000-0003-0900-2128

## OXIDATION OF NITROGEN OXIDES IN THE PRESENCE OF LOW-TEMPERATURE CATALYSTS

*The paper presents the results of the study of the properties of some natural and artificial materials, as well as well-known catalysts in chemical synthesis for the use of increasing the rate of the chemical reaction of nitrogen (II) oxide oxidation. Platinum-based catalysts are very expensive and prone to mechanical erosion, so studying the catalytic properties of new materials is relevant today. The effectiveness of the catalyst was evaluated by comparing the concentration of nitric acid in the case of using a catalyst and in its absence, when oxidation occurred only in the gas phase. The work studied the influence of such factors as the nature of the catalyst, concentration of nitrogen (II) oxide, oxygen concentration, temperature and contact time on the rate of oxidation of nitrogen (II) oxide. It was found that hopkalite, carboalumogel, silica gel, coal, and coke are the most effective of the twelve samples of catalysts. The effect of temperature in the range of 25–80°C on the catalytic properties of materials was studied. At a temperature of 50°C, hopkalite exhibits significant catalytic activity. It was determined that the method of dosing nitrogen (IV) oxide in order to accelerate the degree of oxidation of nitrogen (II) oxide is possible for systems with a low gas concentration (0.1–0.5%). The work describes the use of oxidizing methods of gas purification in industrial atomizing absorbers as a promising method of sanitary purification of gases from nitrogen oxides. Schemes, working principles and the mechanism of chemical processes for sewage treatment plants with two or more stages of absorption are given.*

**Key words:** oxidation nitrogen (II) oxide, low-temperature catalyst, sanitary purification of gases, industrial absorbers.

С. І. КУЗНЄЦОВ

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри хімічних технологій, експертизи  
та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-1766-931X

О. О. ВЕНГЕР

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри хімічних технологій, експертизи  
та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-0065-0375

В. М. БЕЗПАЛЬЧЕНКО

кандидат хімічних наук, доцент,  
доцент кафедри хімічних технологій, експертизи  
та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-1355-7938

О. О. СЕМЕНЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри хімічних технологій, експертизи  
та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-1251-2711

В. О. ЧАБАН

доктор сільськогосподарських наук,  
професор кафедри безпеки життєдіяльності  
та професійно-прикладної фізичної підготовки  
Херсонська державна морська академія  
ORCID: 0000-0003-0900-2128

## ОКИСНЕННЯ ОКСИДІВ НІТРОГЕНУ В ПРИСУТНОСТІ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ КАТАЛІЗАТОРІВ

В роботі приведені результати дослідження властивостей деяких природних і штучних матеріалів, а також добре відомих у хімічному синтезі каталізаторів для застосування підвищення швидкості хімічної реакції окиснення оксиду нітрогену (II). Каталізатори на платиновій основі дуже коштовні та схильні до механічної ерозії, тому вивчення каталітичних властивостей нових матеріалів на сьогодні є актуальним. Ефективність каталізатора оцінювали методом порівняння концентрації нітратної кислоти у випадку із застосуванням каталізатора і при його відсутності, коли окиснення відбувалось тільки в газовій фазі. В роботі вивчали вплив на швидкість окиснення оксиду нітрогену (II) таких чинників, як природа каталізатора, концентрація оксиду нітрогену (II), концентрація кисню, температура і час контакту. Дослідили, що з дванадцяти зразків каталізаторів найбільш ефективними є гопкаліт, карбоалюмогель, силікагель, кісточкове вугілля, кокс. Вивчали вплив на каталітичні властивості матеріалів температури в межах 25-80°C. За температури 50°C виявляється значна каталітична активність гопкаліту. Визначили, що метод дозування оксиду нітрогену (IV) з метою пришвидшення степені окиснення оксиду нітрогену (II) можливий для систем з низькою концентрацією газу (0,1-0,5%). В роботі описано застосування окиснюючих методів очищення газів в промислових розпорошуючих абсорберах в якості перспективного методу санітарного очищення газів від оксидів нітрогену. Наведено схеми, принципи роботи і механізм хімічних процесів для очисних споруд з дво- і більше ступінчастою абсорбцією.

**Ключові слова:** окиснення оксиду нітрогену (II), низькотемпературний каталізатор, санітарне очищення газів, промислові абсорбери.

### Statement of the problem

One of the stages of nitric acid production is the oxidation of nitrogen (II) oxide. Nitrous gases obtained at the stage of ammonia oxidation contain nitrogen (II) oxide, nitrogen, oxygen and water vapor [1, 2]. During the oxidation of nitrogen (II) oxide to nitrogen (IV) oxide, three parallel reactions occur:



All reactions are reversible, occur in a homogeneous system with the release of heat and a decrease in volume. As a result, a decrease in temperature and an increase in pressure shift their equilibrium to the right.

All reactions are reversible, occur in a homogeneous system with the release of heat and a decrease in volume. As a result, a decrease in temperature and an increase in pressure shift their equilibrium to the right.

It is known that the rate of oxidation of nitrogen oxide by gaseous oxygen increases in the presence of certain solid selective catalysts. The greatest activity is exhibited by catalysts prepared on the basis of precious metals [3, 4]. For example, in nitrogen fertilizer plants, metal platinoid systems, consisting mainly of platinum, rhodium, ruthenium and palladium, are usually used as catalysts [1, 5]. Platinum mesh, as catalysts, have a number of disadvantages. Firstly, they are subject to mechanical erosion at the conversion temperature due to mechanical impurities contained in the oxidizing gas and air. Chemical erosion occurs under the influence of the reaction mixture. Secondly, platinum ones mesh and are susceptible to the influence of catalytic poisons, which often leads to irreversible losses of expensive catalyst and a decrease in the yield of nitrogen oxides [6]. The developed platinoid catalysts sufficiently satisfy industrial conditions, however, due to the high cost and shortage of platinoids, especially in Ukraine, continuous research is being conducted to develop new catalyst formulations in two directions: replacing platinoids with cheaper metals and creating competitive non-platinum catalysts based on metal oxides [7, 8, 9]. The catalytic properties of oxides of 3d-transition elements deposited on a fused  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (corundum) [10].

**The purpose of the study** – to study the catalytic properties of a number of natural and artificial materials, known catalysts for increasing the rate of oxidation of nitrogen (II) oxide with their subsequent use in industry.

#### **Presentation of the main research material**

It is known that the rate of oxidation of nitrogen oxide by gaseous oxygen increases in the presence of some solid catalysts. The greatest activity is demonstrated by catalysts prepared on the basis of precious metals.

In this work, the catalytic properties of a number of natural and artificial materials and catalysts were investigated with the aim of using them in industry to increase the rate of NO oxidation.

The study was conducted on a setup consisting of a NO oxidation reactor and a nitrogen oxide absorption reactor. The setup is equipped with auxiliary devices and control and measuring instruments for carrying out the process.

Based on the amount of absorbed nitrogen oxide, one can state the degree of NO oxidation, assuming that the degree of absorption is directly proportional to the degree of gas oxidation.

The studies were conducted by comparing with the variant when there was no catalyst in the reactor, and oxidation occurred only in the gas phase.

During the studies, the influence of some factors on the rate of NO oxidation was studied. Such as the nature of the catalyst, nitrogen oxide concentration, oxygen concentration, temperature, contact time. The parameters were varied within the following limits: concentration NO ( $C_{\text{NO}} = 1 \div 2,25\%$ ); concentration  $\text{O}_2$  ( $C_{\text{O}_2} = 5 \div 20\%$ ); contact time ( $\tau = 0,52 \div 1,26\text{s}$ ); temperature  $t$  ( $26 \div 30^\circ\text{C}$ ); initial oxidation state NO ( $d_0 = 25\%$ ).

The following substances were tested as catalysts:

- large-pore and fine-pore silica gel, contact mass, calculated as  $\text{V}_2\text{O}_5$ ;
- hopcalite in the form of a mixture of copper oxide and manganese oxide on a ceramic carrier;
- vanadium catalyst (BAS) with a content of  $7.5 \div 8\%$  vanadium in the dry;
- manganese (IV) oxide  $\text{MnO}_2$ ;
- alumogel;
- carboalumogel;
- catalysts LTK-4;
- GIAP-10;
- coke;
- apricot kernel coal and a number of catalysts obtained by impregnating coke with catalytically active substances.

The results of studies of various catalysts are presented in Table 1.

The presented data indicate that some catalysts are capable of increasing the rate of heterogeneous oxidation reaction by 1.5-2.5 times (these data are somewhat underestimated due to incomplete absorption of oxidized nitrogen oxides). The reaction of heterogeneous catalytic oxidation of nitrogen oxide has a positive temperature coefficient, which is associated with the manifestation of increased catalytic activity of catalysts with increasing temperature. Of all the tested catalysts, the most effective effect on the rate of NO oxidation was exerted by: hopcalite, which made it possible to increase the degree of absorption of nitrogen oxides by 2.51 times. Second place is occupied by carboalumogel – 1.91 times. In third, fourth and fifth places are silica gel by 1.46 times, stone coal by 1.31 times and coke by 1.17 times. The use of these

catalysts allowed to increase the degree of nitrogen oxide absorption by 2.51>1.91>1.46>1.31>1.17 times, respectively. Hopcalite turned out to be the most active which is also mainly used as a catalyst for low-temperature oxidation of carbon (II) oxide [11]. Therefore, more complete studies of this catalyst were carried out. Significant catalytic activity of hopcalite manifests itself already at a temperature of 50°C. Increasing the temperature above 80-100°C is impractical due to the large heat costs for heating the gas and its subsequent cooling before absorption. With an increase in the volumetric gas velocity, the amount of oxidized NO decreases, which is associated with a shorter residence time of NO in the catalysis zone. With an increase in the concentration of O<sub>2</sub> and NO, an increase in the oxidation rate is observed.

Table 1

**Results of the study of the catalytic activity of catalysts**

Name of the catalyst	T°C	Concentration of obtained HNO <sub>3</sub> , g/dm <sup>3</sup>		Increasing the degree of absorption in the presence of a catalyst
		Without catalyst	In the presence of a catalyst	
Silica gel (KCK)	25	7.35	8.12	1.105
	50	7.93	8.43	1.064
	80	7.86	11.48	1.460
Silica gel (KCM)	25	7.30	4.53	0.622
	50	6.73	4.92	0.73
	80	6.11	5.92	0.968
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25	6.74	5.48	0.814
	50	6.35	5.48	0.873
	80	5.53	5.48	0.990
Alumogel	25	8.85	6.65	0.765
	50	7.73	7.55	0.977
	80	7.30	9.55	1.31
Carboalumogel	25	9.0	9.63	1.05
	50	8.80	10.3	1.17
	80	8.37	16.0	1.91
Hopcalite	25	9.17	9.63	1.05
	50	9.00	14.3	1.59
	80	8.37	21.0	2.51
MnO <sub>2</sub>	25	7.70	8.08	1.05
	50	7.40	7.62	1.03
	80	7.35	7.25	0.986
Coke 1	25	6.55	6.55	1.0
	50	6.36	6.73	1.06
	80	6.05	7.05	1.17
Coke 2	25	9.56	8.76	0.917
	50	8.89	8.30	0.934
	80	8.43	8.05	0.955
Coke impregnated with salts Mn и Cu	25	6.30	6.67	1.06
	50	6.11	6.35	1.04
	80	5.22	6.23	1.13
GIAP-10	25	9.17	7.87	0.859
	50	8.95	8.75	0.989
	80	8.55	8.81	1.030
Apricot kernel charcoal	25	7.68	6.66	0.87
	50	5.67	7.16	1.27
	80	5.67	7.41	1.31

**Increasing the degree of NO oxidation by adding concentrated nitrogen dioxide to the gas**

Along with the intensification of the NO oxidation process, which is necessary to increase the rate of nitrogen oxide absorption, a similar effect can be achieved by dosing the gas with an appropriate amount of NO<sub>2</sub>.

The trioxide obtained in this way can be successfully absorbed using one of the known methods.

To increase the degree of NO oxidation by α<sub>1</sub> до α<sub>2</sub> nitrogen dioxide must be added to the gas mixture, the amount of which can be determined from the equation

$$\Delta V_{NO_2} = \frac{Vr \cdot Cr}{100} \left( \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{1 - \alpha_2} \right), \text{ m}^3/\text{h} \tag{1}$$

where, Vr и Cr – respectively the quantity (m<sup>3</sup>/h) and concentration of the initial gas mixture (%).

The concentration of gas after dosing NO<sub>2</sub> and depending on the required degree of gas oxidation will be

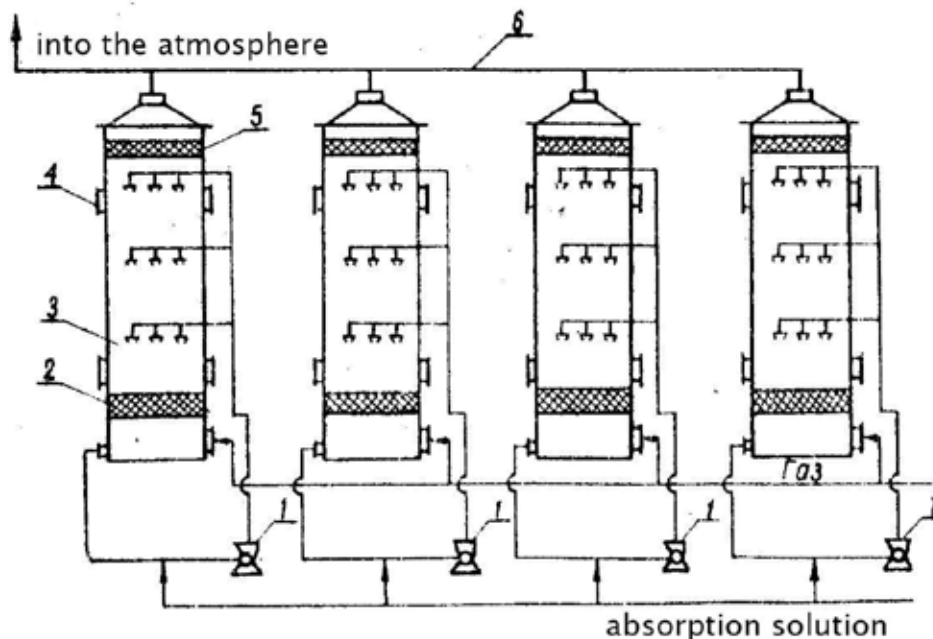
$$C'r = Cr \left( \frac{1 - \alpha_1}{1 - \alpha_2} \right) \quad (2)$$

The NO<sub>2</sub> dosing method for increasing the NO oxidation degree is only acceptable for systems with a low initial gas concentration (0.1-0.5%) and a low NO oxidation degree. In this case, the NO<sub>2</sub> dosing method for obtaining a reactive mixture N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is more economically advantageous than the method of oxidation of NO to N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in oxidizing volumes.

**Introduction of oxidizing methods of sanitary gas purification from nitrogen oxides in industry**

Of the new methods of sanitary gas purification from nitrogen oxides developed, the most promising are widely used in industry. Oxidizing methods of gas purification in hollow spray absorbers have proven themselves well.

The degree of purification of 0.1-0.5% gas with an oxidation degree of 0.2-0.3 is 80-85%. A higher degree of gas purification from nitrogen oxides is achieved in devices with lower productivity (Fig. 1).



**Fig. 1. Scheme of industrial installation for gas cleaning in hollow devices: 1 – pumps; 2 – distribution screen, 3 – nozzles; 4 – manhole; 5 – drip separator; 8 – discharge manifold**

To purify 75 thousand m<sup>3</sup>/hour of nitrous gas, one of the enterprises has 4 hollow spray towers installed in parallel. Impact spray nozzles are arranged in four tiers along the height of each tower. With a spray density of 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> hour and a volumetric gas velocity of 150-200 h<sup>-1</sup>, the degree of purification of highly oxidized gas with a Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution is 96-88%. Long-term operation of treatment facilities of this design has confirmed the reliability and high efficiency of hollow spray devices.

At some enterprises that emit gases with a high content of nitrogen oxides into the atmosphere, the developed treatment facilities with two-stage absorption are successfully used. Such installations have proven themselves well in operation in a variable mode (in terms of the amount and composition of emitted gases), as well as with periodic emissions of exhaust gases. At one of the operating installations (Fig. 2), a NaOH solution is used as the first stage absorber, and at the second stage, an aqueous ammonia solution containing 1.5-2.0% ammonia is used for additional purification.

The gases to be purified are characterized by inconstant composition, temperature and pressure. Therefore, the system provides for preliminary gas preparation. The gases supplied for purification pass through valves 1, 2 and are directed to the common manifold 3. After passing the pressure regulator 4, the gas is directed through the main valve 6 along the gas duct 14 to the first-stage absorber 12. If the temperature of the incoming gas is below 0°C, it is heated to 10-20°C in the heat exchanger 5, into the inter-pipe space of which steam is supplied. The pressure regulator 4 automatically, regardless of the pressure in the common manifold, ensures a certain uniform gas flow during the entire period of its supply to the absorber. If the gas has a temperature of 250-350°C, it, as a rule, contains a large amount of NO and therefore, in addition to cooling, requires additional oxidation. For this purpose, the gas is directed through valve 9 to heat exchanger 8, where it is pre-cooled to a temperature of 20-30°C and then through pressure regulator 7 is directed to post-oxidizer 13. Air or oxygen is supplied here by high-pressure fan 10 through valve 11 in the amount necessary for oxidation of nitrogen oxide.



The volume of post-oxidizer is calculated in such a way that the gas passing through it has time to oxidize by at least 50%, which is necessary for successful gas purification with alkaline solutions. The gas prepared for purification enters first-stage absorber 12 through gas duct 14. This absorber is made in the form of a hollow stainless steel cylinder. The first stage absorber is irrigated with an 8-10% aqueous solution of NaOH from tank 17, the second stage – with a 1.5-2.0% solution of  $\text{NH}_4\text{OH}$  using centrifugal pumps 15. The preparation of working solutions of NaOH and  $\text{NH}_4\text{OH}$  is carried out in tanks 17, 16 and 19.

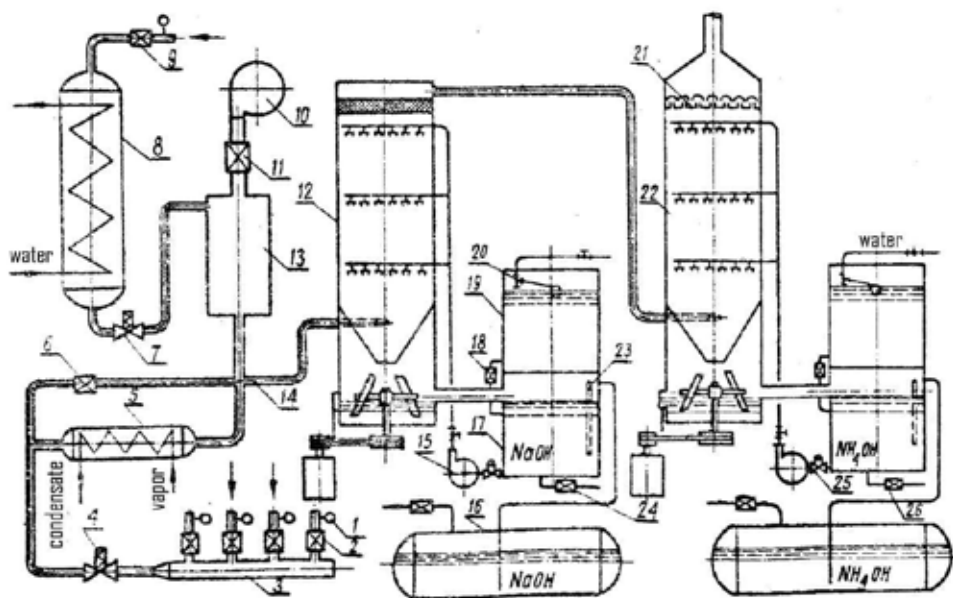


Fig. 2. Diagram of a two-stage industrial installation for cleaning gases from nitrogen oxides

The operation of the unit is fully automated. The level of solutions in the preparation tanks is maintained automatically by a level gauge 23, floats 20 and regulators 18. The waste liquid is drained through valves 24, 26, the liquid supply to the absorbers is adjusted by valve 25. In order to prevent splash entrainment, a drip separator 21 is provided on the second-stage absorber 22. The system capacity is 2.5-3.0 m<sup>3</sup>/s. The nitrogen oxide content in the feed gas is 0.5-12%. The first stage provides a gas purification degree of 95-99%, reducing its concentration to 0.12-0.63%. After the second stage, the purification degree is 99.9-100%. The use of ammonia solution as an absorbent in the second stage leads to the formation of an aerosol of nitrite and ammonium nitrate in the exhaust gases, which decomposes into nitrogen and water in the air atmosphere. At low ambient temperatures, a thermal reactor must be used to decompose aerosols, in which at  $t=200^{\circ}\text{C}$  the aerosols completely decompose into nitrogen and water. With an initial concentration of nitrogen oxides in the gas of up to 7%, the sanitary standard can be achieved in the first-stage absorber. Installations of this design are accepted as standard and are successfully operated at a number of related enterprises. Hollow spray absorbers are widely used in the sulfuric acid industry to capture nitrogen oxides in the absorption zone. The oxidative method, where the oxidation and absorption of oxides was carried out using ammonium carbonate solutions of hydrogen peroxide, also passed the stage of semi-industrial tests. The pilot plant, the general appearance of which is shown in Fig. 3, was mounted in the hydroxylamine sulfate shop of one of the chemical plants. The basis of the plant consists of three absorption devices 6 with foam phase contact. The devices are made of Czech glass of standard dimensions (diameter – 300 mm, height – 1.5 m). In the lower part of each device a grid with a live cross-section of 11% (diameter – 2 mm, thickness – 6 mm) is installed.

A drain threshold 5 is mounted in the grate, the lower end of which is connected to the drain tank 2 via a seal 4 and a foam suppressor 3. To drain the failing liquid, the lower part of the absorber is connected to the drain tank via a valve 11. The working solution was circulated in the absorbers using pumps 12. The solution supply for irrigation was regulated using a valve 13 and a rotameter 14. The ammonium carbonate solution and hydrogen peroxide were supplied from pressure tanks 14 and 8 via rotameters 15 and 7. The installation is equipped with gas sampling points 9, 10 and liquid 1 after each absorber. Gas and liquid analysis were performed twice per shift with 3-5-fold duplication.

The gas consumption in all studies was 76 m<sup>3</sup>/h, the consumption of fresh solution containing 300 g/dm<sup>3</sup> of ammonium carbonate was 20 dm<sup>3</sup>/h with an irrigation rate of 6, which provided an irrigation density of 1.6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·h. The foam height in each absorber was 200 mm. The operation of the installation in this mode was characterized by the data given in Table 2.

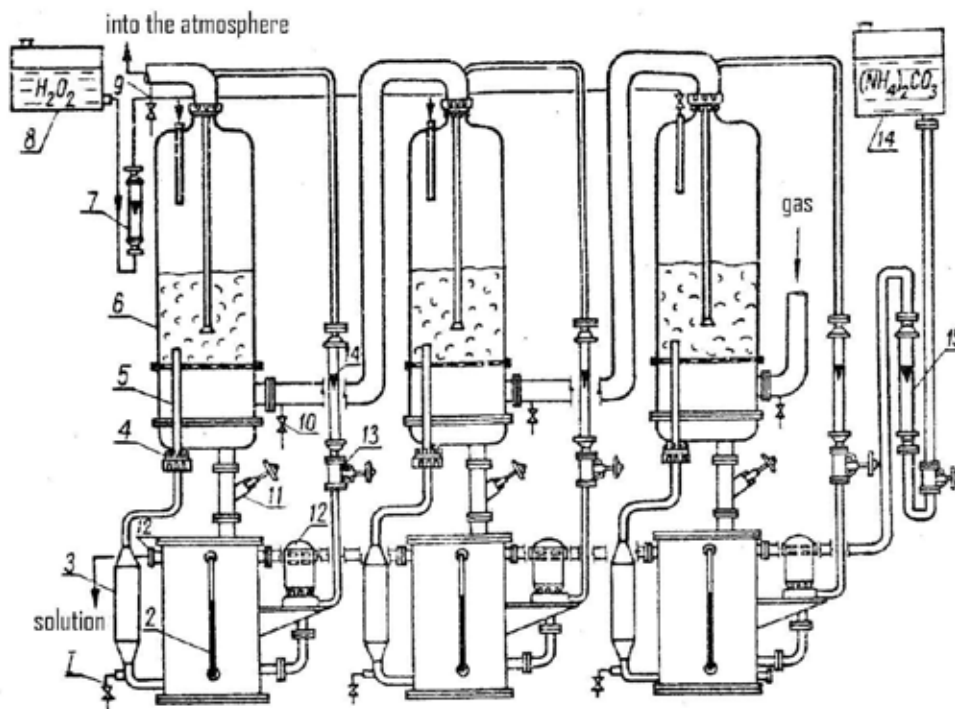


Fig. 3. Scheme of a pilot plant for cleaning gases from nitrogen oxides in the production of ammonium nitrite

Table 2

Pilot unit operating mode

Parameter	Sampling points			
	At the entrance	After 1 absorber	After 2 absorber	After 3 absorber
Concentration of nitrogen oxides, % (vol)	0.213	0.145	0.102	0.075
Degree of purification	-	30	52	64.8

Considering that the spent solution contained some amount of free hydrogen peroxide in addition to nitrite-nitrate mixtures, and this led to its direct loss. Further studies were carried out in a continuous mode for gas and periodic for liquid, i.e. according to a circulation scheme similar to the operation of alkaline absorption departments of nitric acid shops. In this mode, fresh solution was supplied to the unit and spent solution was drained from the system once every two shifts. Hydrogen peroxide was supplied during the entire period of operation directly to each absorber and stopped 1 hour before the solution was released from the system. Such supply allowed for more complete processing of the working solution and the release of alkali from the system that did not contain free hydrogen peroxide. This significantly reduced the consumption of  $H_2O_2$ . Long-term operation of the unit has shown that the optimal conditions for its operation are: linear gas velocity in the free section of the apparatus – 0.5 m/s; ammonium carbonate concentration at the beginning of the process –  $100 \div 120 \text{ g/dm}^3$ ; ammonium carbonate concentration at the end –  $10 \div 15 \text{ g/dm}^3$ ; irrigation density –  $1.5 \div 2.0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ; foam layer height on the shelf – 200 mm. Spent solution from the system had the following composition,  $\text{g/dm}^3$ : ammonium carbonate – 20; ammonium nitrite – 63, ammonium nitrate – 82; free ammonia – 1.2.

According to the reaction between  $NO$  and  $H_2O_2$ , the maximum theoretical consumption of hydrogen peroxide per  $1000 \text{ m}^3$  of gas is 1.2 kg, assuming that the initial concentration of nitrogen oxides is 0.2%, and the degree of  $NO$  oxidation is 20%, and that the nitrogen dioxide present in the gas at the start of the reaction reacts without the consumption of  $H_2O_2$ . Considering that part of the hydrogen peroxide is inevitably spent on the oxidation of  $NO$  to  $NO_2$  (which is evident from the composition of the resulting alkalis), the actual consumption of hydrogen peroxide should not exceed 2 kg per  $1000 \text{ m}^3$  of gas. During the study on the pilot plant, the consumption of hydrogen peroxide was 4 kg per  $1000 \text{ m}^3$  of gas, i.e. it exceeded the calculated value by two times. Turbulence of the system by improving the design of the plates and increasing the gas velocity in the apparatus did not lead to a decrease in the consumption of hydrogen peroxide, which indicates that the process occurs in the kinetic region. Under these conditions, an increase in the rate of oxidation and absorption of nitrogen oxides can be achieved by controlling the process of decomposition of hydrogen peroxide. The greatest stability of hydrogen peroxide is observed in an acidic medium at  $\text{pH} = 1 \div 3$ . In a neutral medium ( $\text{pH} = 7$ ), it has average stability, and at  $\text{pH} = 11.5 \div 13$ , its intensive decomposition is observed. Excessively rapid decomposition of hydrogen peroxide does not

allow the active oxygen released in this case to be fully utilized. As studies have shown, the most favorable conditions for the oxidation of nitrogen oxide with hydrogen peroxide solutions are  $\text{pH} = 10\div 11$  and  $t = 30^\circ\text{C}$ . Maintaining the alkalinity of the medium at a level ( $\text{pH} = 10\div 11$ ), the consumption of hydrogen peroxide was reduced from 4 to 2.5 kg per 1000  $\text{m}^3$  of gas. The degree of gas purification on three shelves reached 75–80%, the other conditions of the experiments remained unchanged. The residual content of nitrogen oxides in the exhaust gases was 0.04%, which allows this method to be used for systems emitting 20–30 thousand  $\text{m}^3/\text{hour}$  of gas with an initial content of nitrogen oxides up to 0.2%. For systems with higher productivity, it is necessary to increase the number of absorption stages.

### Conclusions

1. The most effective catalysts for the oxidation of nitrogen (II) oxide were: hopcalite, carboaluminum gel, silica gel, coal, and coke.
2. When studying the influence of temperature, the greatest catalytic activity of hopcalite was found at a temperature of  $50^\circ\text{C}$ .
3. The application of oxidizing methods of gas purification in industrial atomizing absorbers as an effective method of sanitary purification of gases from nitrogen oxides is described.

### Bibliography

1. Загальна хімічна технологія: Підручник / В. Т. Яворський, Т. В. Перекупко, З. О. Знак, Л. В. Савчук. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2021. – 552 с.
2. Chemical Technology: From Principles to Products, 2nd Edition: Andreas Jess, Peter Wasserscheid. 2020. 912 p. [https://books.google.com.ua/books?id=a97BDwAAQBAJ&pg=PA19&hl=ru&source=gbs\\_toc\\_r&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=a97BDwAAQBAJ&pg=PA19&hl=ru&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false)
3. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л. Каталізатори в технології неорганічних речовин: монографія / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, О. Я. ЛОБОЙКО, А. М. БУТЕНКО [та ін.]; за ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО, О. Я. ЛОБОЙКО. Х.: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ». 2013. 220 с. [http://library.kpi.kharkov.ua/files/new\\_postupleniya/katalizatory.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/katalizatory.pdf)
4. Векшин В.А. Роль палладия в формировании активных центров в МОМ – системе (Ti-TiO<sub>2</sub>-Pt-Pd) / В.А. Векшин, М.И. Ворожбян, Н.Б. Маркова, И.В. Багрова. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків: НТУ «ХПІ». 2006. т.13, С. 21-24.
5. Векшин В.А. Изучение времени пробега нанесенного платинового катализатора промышленной очистки газов от NO<sub>x</sub> / В.А. Векшин, Л.М. Родин, В.А. Лобойко. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Харків: НТУ „ХПІ”. 2012. № 32. С. 95. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/253903d6-9912-41cb-8f43-b26ba4b22c3c/content>
6. Пат. 2185279 (B1) EP, МКИ B01J 23/00; B01J 23/86; B01J 23/889; C 01B 21/26; C01B 21/38. Production of nitric oxide by oxidation of ammonia in presence of a mixed metal oxide catalyst / Waller David, assignor to YARA International ASA 0202 Oslo (NO); Application 22.08.2008; Published 19.05.2010.
7. Jan Petryk. Cobalt oxide catalysts for ammonia oxidation activated with cerium and lanthanum / Jan Petryk, Ewa Kołakowska // Applied Catalysis B: Environmental. 2010. № 24. p. 121–128.
8. Декларацийний пат. 62855 А Україна, МПК (2003.01) B01D47/00, C10K1/00. Спосіб очищення відхідних газів котельних від оксиду вуглецю та пристрій для його реалізації/ Кузнецов С.І.; заявник і власник охоронного документа Херсонський державний технічний університет, Україна. – № 2003098250; заявл. 04.09.2003; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12.
9. Масалітіна Н.Ю. Нітроген (I) оксид. Дослідження процесу одержання шляхом низькотемпературного окиснення аміаку / Н.Ю. Масалітіна, А.С. Савенков, О.М. Близнюк, О.М. Огурцов. Хімічна промисловість України. 2014. № 5(124). С. 54–58.
10. Пономоренко А.В. Каталитические свойства оксидов 3d- и 4d-переходных элементов / А.В. Пономоренко, В.Е. Веды. Вопросы химии и химической технологии. 2012. № 3. С. 104–108. <https://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHNT/2012/3/Ponomarenko.pdf>
11. Ракитская Т. Л. Концептуальные основы разработки низкотемпературных катализаторов окисления монооксида углерода кислородом воздуха / Т. Л. Ракитская, Т. А. Киосе, А. А. Эннан. Вісник ОНУ. Хімія. 2020. Том 25, вип. 4(76). С. 6-23. DOI: [http://dx.doi.org/10.18524/2304-0947.2020.4\(76\).216920](http://dx.doi.org/10.18524/2304-0947.2020.4(76).216920).

### References

1. Yavors'kyu V. T., Perekupko T. V., Znak Z. O., Savchuk L. V. (2021) Zahal'na khimichna tekhnolohiya: Pidruchnyk. Lviv: Vydavnytstvo Natsional'noho universytetu «Lviv'ska politekhnikha». 552 s.
2. (2020) Chemical Technology: From Principles to Products, 2nd Edition: Andreas Jess, Peter Wasserscheid. 912 p. [https://books.google.com.ua/books?id=a97BDwAAQBAJ&pg=PA19&hl=ru&source=gbs\\_toc\\_r&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=a97BDwAAQBAJ&pg=PA19&hl=ru&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false).

3. Tovazhnyans'kyi L.L. (2013) Katalizatory v tekhnolohiyi neorhanichnykh rehovyn: monohrafiya. KH.: Vyd-vo «Pidruchnyk NTU «KHPI». 220 s. [http://library.kpi.kharkov.ua/files/new\\_postupleniya/katalizatory.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/katalizatory.pdf)
4. Vekshyn V.A. (2006) Rol' palladyya v formirovaniy aktivnykh tsemtrov v MOM – systeme (Ti-TiO<sub>2</sub>-Pt-Pd). *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI»*. Kharkiv: NTU «KHPI», vol.13, pp. 21-24. [in Ukrainian].
5. Vekshyn V.A. (2012) Yzuchenye vremeny probiha nanesennoho platynovoho katalyzatora promyshlennoy ochystky hazov ot NOx. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «Kharkivs'kyi politekhnichnyy instytut»*. Kharkiv: NTU „KHPI”. no. 32, p. 95. [in Ukrainian]. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/253903d6-9912-41cb-8f43-b26ba4b22c3c/content>.
6. Pat. 2185279 (B1) EP, МКИ B01J 23/00; B01J 23/86; B01J 23/889; C 01B 21/26; C01B 21/38. Production of nitric oxide by oxidation of ammonia in presence of a mixed metal oxide catalyst / Waller David, assignor to YARA International ASA 0202 Oslo (NO); Application 22.08.2008; Published 19.05.2010.
7. Jan Petryk. (2010) Cobalt oxide catalysts for ammonia oxidation activated with cerium and lanthanum / Jan Petryk, Ewa Kołakowska. *Applied Catalysis B: Environmental*. no. 24, pp. 121–128.
8. Deklaratsiynyy patent 62855 A Ukrayina, MPK (2003.01) B01D47/00, C10K1/00. Cposib ochyshchennya vidkhidnykh haziv kotel'nykh vid oksydu vuhletsyu ta prystryi dlya yoho realizatsiyi/ Kuznyetsov S.I.; zayavnyk i vlasnyk okhoronnoho dokumenta Khersons'kyi derzhavnyy tekhnichnyy universytet, Ukrayina. № 2003098250; zayavl. 04.09.2003; opubl. 15.12.2003, Byul. № 12.
9. Masalitina N.YU. (2014) Nitrogen (I) oksyd. Doslidzhennya protsesu oderzhannya shlyakhom nyz'kotemperaturnoho okysnennya amiaku. *Khimichna promyslovist' Ukrayiny*. no. 5(124), pp. 54–58. [in Ukrainian].
10. Ponomorenko A.V. (2012) Kataliticheskiye svoystva oksidov 3d- i 4d-perekhodnykh elementov. *Voprosy khimii i khimicheskoy teznologii*. no. 3, pp. 104-108. [in Ukrainian]. <https://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VHHT/2012/3/Ponomarenko.pdf>.
11. Rakitskaya T. L. (2020) Kontseptual'nyye osnovy razrabotki nizkotemperaturnykh katalyzatorov okisleniya monooksida ugleroda kislorodom vozdukha. *Visnik ONU. KHimiya*. vol. 25, no. 4(76), pp. 6-23. [in Ukrainian]. [http://dx.doi.org/10.18524/2304-0947.2020.4\(76\).216920](http://dx.doi.org/10.18524/2304-0947.2020.4(76).216920).

**В. В. КУРАК**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-4303-5671

**О. В. АНДРОНОВА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-9597-8068

**І. Ф. ПОГРЕБНЯК**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-0935-1168

## ОЦІНКА ВИРОБЛЕННЯ ЕНЕРГІЇ ФАСАДНИМИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ В КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ М. ХЕРСОН

*В даній роботі розглянуто перспективи застосування фотоелектричних фасадів, інтегрованих в конструкцію будівлі (BIPV-фасадів), в кліматичних умовах м. Херсон. Наведено методику розрахунку надходження сонячної радіації до вертикальних поверхонь фасадів будівель, описано підходи щодо оцінки вироблення енергії BIPV-фасадом.*

*Розрахунок надходження сонячної радіації до вертикальних поверхонь фасадів будівлі в залежності від їх просторової орієнтації відносно південного напрямку показав, що відхилення орієнтації поверхні фасаду від півдня на кути до 30° на схід та захід є цілком припустимими і не призводять до суттєвого зменшення річного надходження сонячної радіації, що дозволяє не накладати занадто жорстких вимог щодо просторової орієнтації будівель з BIPV-фасадами.*

*Оцінка вироблення електричної енергії BIPV-фасадом в залежності від його орієнтації відносно сторін світу продемонструвала, що система з фотоелектричними панелями, розташованими на південному фасаді, здатна забезпечити річне вироблення електричної енергії загальним обсягом близько 108 кВт·год/м<sup>2</sup>, в той час як система з панелями на східному або західному фасадах будівлі – близько 84 кВт·год/м<sup>2</sup>, що свідчить про доцільність інтеграції фотоелектричних систем не лише до південних, але й до східних та західних фасадів будівлі.*

*Розрахунок енергетичних показників фасадної BIPV-системи, проведений на прикладі багатоквартирного чотирьохповерхового будинку, розташованого у м. Херсон, показав потенційну можливість не лише забезпечити власні потреби такого об'єкту в електричній енергії, а й генерувати надлишок енергії в централізовану електромережу. Це свідчить про доцільність впровадження систем з BIPV-фасадами в кліматичних умовах м. Херсон.*

**Ключові слова:** фотоелектричний фасад, сонячна радіація, азимут поверхні, електрична енергія, питоме вироблення.

**V. V. KURAK**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Energy,  
Electrical Engineering and Physics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-4303-5671

**O. V. ANDRONOVA**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Energy,  
Electrical Engineering and Physics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-9597-8068

I. F. POGREBNIAK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Energy,  
Electrical Engineering and Physics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-0935-1168

## EVALUATION OF THE FACADE PHOTOELECTRIC SYSTEMS ENERGY PRODUCTION IN THE CLIMATE CONDITIONS OF KHERSON

*In this paper the prospects of photovoltaic facades integrated into the building structure (BIPV-facades) when used in the climatic conditions of Kherson are considered. The method for calculation of solar radiation inflow to the vertical surfaces of the buildings facades is given, and the approaches to the evaluation of BIPV facades energy production are described.*

*Calculation of the solar radiation inflow to the vertical surfaces of building facades depending on their spatial orientation relative to the south direction showed that deviations in the facade orientation by azimuth angles of up to 30° to the east or west are quite acceptable and do not lead to significant reduction in the annual solar radiation inflow. This fact allows not so hard requirements to the spatial orientation of buildings with BIPV facades.*

*Evaluation of the electricity generation by BIPV facade depending on its spatial orientation demonstrated that the system with photovoltaic panels on the southern facade of the building is capable to generate of electrical energy with annual amount of about 108 kWh/m<sup>2</sup>, while the system with panels on the eastern or western facades is capable to provide about 84 kWh/m<sup>2</sup>, which indicates the feasibility of photovoltaic systems integration not only to the southern, but also to the eastern and western facades of the building.*

*Calculation of the facade BIPV system energy output, carried out on the example of a four-floor apartment building located in Kherson, showed the opportunity to generate electricity not only for own needs, but also to supply overplus energy to the centralized power grid. This fact indicates the feasibility of implementing systems with BIPV facades in the climatic conditions of Kherson.*

**Key words:** photovoltaic facade, solar radiation, surface azimuth, electrical energy, specific output.

### Постановка проблеми

Територія Херсонської області характеризується значним надходженням сумарної сонячної радіації, що в середньому становить 1300–1325 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік [1, 2]. За оцінками фахівців з Інституту відновлюваної енергії НАН України використання цього сонячного енергетичного потенціалу дозволить щороку отримувати до 4696 млн. кВт·год електричної енергії при досягненні теоретичної встановленої потужності сонячних електростанцій загальним обсягом 3913 МВт [2].

Станом на кінець 2020 року на території Херсонщини діяло близько 50 сонячних електростанцій загальною встановленою потужністю трохи більше 400 МВт [3], що становить лише 10% від теоретичного значення. Це вказує на значний потенціал подальшого розвитку сонячної електроенергетики в даному регіоні.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Традиційно фотоелектричні модулі сонячних електростанцій встановлюються або на відкритих територіях, або ж монтується на дахах будівель для забезпечення найліпших умов щодо надходження сонячної радіації до приймальних поверхонь [4]. Втім, в умовах міської забудови доступна для такого монтажу площа є вкрай обмеженою і розглядаються альтернативні поверхні, здатні бути задіяними в фотоелектричній генерації, зокрема, фасади багатоповерхових будівель.

Одним з підходів, що дозволяє залучити до фотоелектричної генерації максимальну площу огорожувальних конструкцій будівель, є застосування фотоелектричних систем, інтегрованих в конструкцію будівлі (BIPV-систем). Такі системи складаються зі спеціалізованих багатофункціональних модулів (рис. 1), які є невід'ємною складовою конструкції будівлі і, окрім генерації електричної енергії, одночасно мають виконувати роль оздоблювального або покрівельного матеріалу, утеплювача, світлопрозорого елемента будівлі, тощо [5].

Напрямок BIPV-фотовольтаїки почав активно розвиватися в країнах Європи та Північної Америки в середині 1990-х років, що пов'язано зі значним прогресом, досягнутим на той момент в комерціалізації технології фотоелектричних модулів, і, як наслідок, їх здешевлення, що з часом надало можливість конкурувати за вартістю з традиційними будівельними матеріалами та класичними фотоелектричними системами [6]. Сучасний досвід побудови і експлуатації пілотних BIPV-систем свідчить про їх енергетичну та економічну ефективність, дозволяючи зменшити енергоспоживання будівель від зовнішніх мереж, підвищити термічний опір огорожувальних конструкцій та збільшити рівень комфорту за рахунок стабілізації температури всередині приміщень. У зв'язку з цим, в країнах зі спекотним кліматом вдається зменшити споживання енергії будівлею до рівня 30–65% від загальної енергопотребі об'єкту, головним чином, завдяки зменшенню витрат на підтримку температурного режиму в приміщеннях [8].

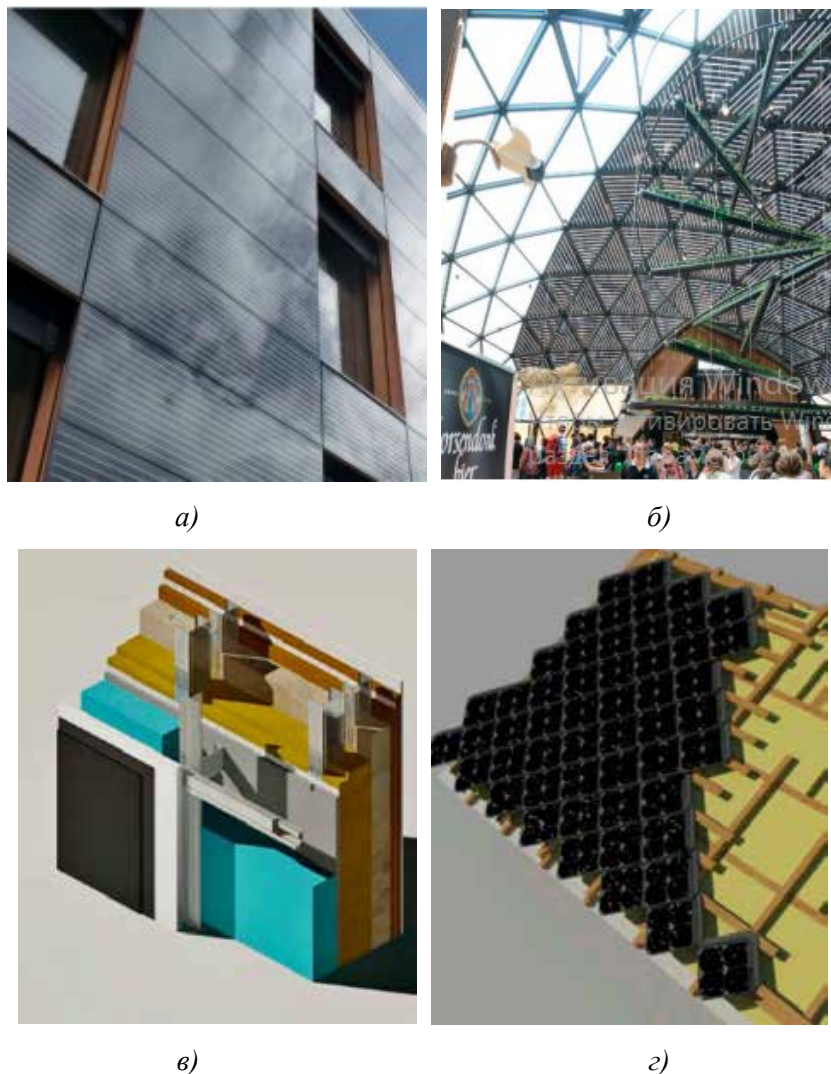


Рис. 1. Приклади практичної реалізації BIPV-систем (а, б) і внутрішня структура фасадної (в) та дахової (г) системи [7]

Важливим моментом є й те, що BIPV-система може бути встановлена не лише на стадії проектування та спорудження нових будівель, але й під час реновації існуючих об'єктів [4, 8]. Ця обставина надає потенційну можливість впровадження таких систем розосередженої генерації екологічно чистої електричної енергії в умовах повного відновлення України, зокрема, Херсонщини, що зазнала значних руйнувань внаслідок агресії з боку Росії. Втім, енергетичний потенціал таких систем під час їх експлуатації в кліматичних умовах Херсонської області, зокрема, й м. Херсон, потребує проведення оцінок, які мають враховувати не лише загальний сонячний потенціал місцевості, а й просторову орієнтацію огорожуючих конструкцій будівлі відносно сторін світу.

В умовах багатоповерхової забудови площа, що припадає на фасад будівлі, як правило, значно перевищує площу даху, а отже, фасадна BIPV-система потенційно може забезпечити значно більшу генерацію електричної енергії, ніж дахова.

#### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є проведення оцінки вироблення енергії фасадною BIPV-системою на прикладі багатоповерхового будинку, розташованого в кліматичних умовах м. Херсона, та визначення доцільності впровадження таких систем.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Розрахунок надходження сонячної радіації до вертикальної поверхні фасаду в залежності від її азимутального кута виконувався за методикою [9], у відповідності до якої миттєве значення потоку сумарної радіації на довільно орієнтовану поверхню визначається формулою:

$$H_T = H_b \cdot R_b + H_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + (H_b + H_d) \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (1)$$

де  $H_d$  і  $H_b$  – розсіяна і пряма сонячна радіація, що надходять на горизонтальну поверхню;  $\rho$  – альbedo підстилаючої поверхні;  $\beta$  – кут нахилу приймача відносно горизонтальної поверхні;  $R_b$  – поправочний коефіцієнт для прямої радіації.

Коефіцієнт  $R_b$  в формулі (1) враховує поправку щодо надходження прямої сонячної радіації до поверхні довільно орієнтованого приймача порівняно з горизонтальною поверхнею і визначається, окрім нахилу приймача  $\beta$ , схиленням Сонця  $\delta$ , широтою місцевості  $\varphi$ , годинним кутом  $\omega$  та азимутом поверхні  $\theta_n$ :

$$R_b = \{ \cos \delta \cdot (\sin \beta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \theta_n \cdot \cos \omega + \sin \beta \cdot \sin \theta_n \cdot \sin \omega) - \sin \beta \cdot \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta_n + \cos \beta \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \cos \beta \cdot \sin \delta \cdot \sin \varphi \} / \{ \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \varphi \cdot \sin \delta \}. \quad (2)$$

В якості вхідних використовувались характерні для кліматичних умов м. Херсона дані щодо надходження сумарної та дифузної сонячної радіації на горизонтальну поверхню, а також значення альbedo підстилаючої поверхні [10].

Розрахунок надходження сумарної сонячної радіації до вертикальної поверхні ( $\beta = 90^\circ$ ) для характерного дня кожного місяця проводився в діапазоні азимутальних кутів від  $0$  (південна орієнтація) до  $180^\circ$  (поверхня, орієнтована на північ) з кроком  $10^\circ$ . Для кожного фіксованого азимуту поверхні визначалось річне надходження енергії.

Результати розрахунку річного питомого надходження сонячної радіації до вертикальної поверхні фасаду в залежності від її азимуту представлено на рис. 2.

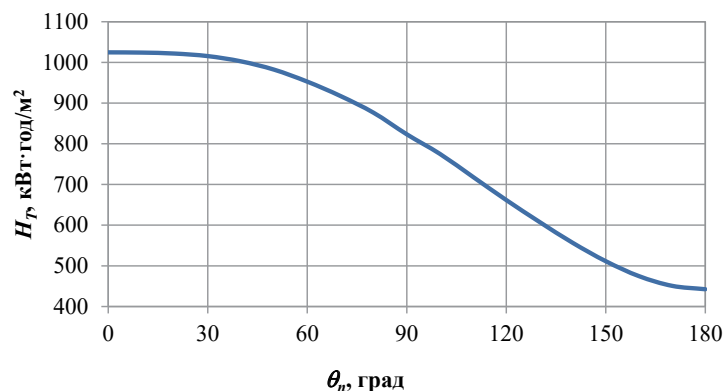


Рис. 2. Залежність річного питомого надходження сонячної радіації до вертикальної поверхні від азимутального кута

Як показує аналіз рис. 2, при азимутальних кутах в діапазоні від  $0$  до  $30^\circ$  річне надходження сонячної радіації до вертикальної поверхні залишається майже сталим і при  $\theta_n = 30^\circ$  зменшується лише на  $1\%$  відносно південної орієнтації. При відхиленні поверхні від південного напрямку на кути понад  $40^\circ$  надходження сонячної енергії демонструє стрімке падіння, і для поверхонь, орієнтованих на північ, річне надходження енергії сонячного випромінювання є в  $2,3$  рази меншим, ніж для південних.

Таким чином, відхилення поверхні вертикального приймача від південного напрямку на кути  $\pm 30^\circ$  є цілком припустимим і не призводить до суттєвого зменшення у надходженні сонячної радіації.

Проведено оцінку вироблення електричної енергії ВІРV-фасадом в залежності від орієнтації фасадної поверхні відносно сторін світу. Оцінка проводилась на прикладі чотирьохповерхового багатоквартирного будинку площею  $117 \text{ м}^2$ , що має придатні для монтажу сонячних панелей поверхні, розташовані на східному, південному та західному фасадах будівлі. Річне споживання електричної енергії будинком в середньому становить  $21800 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ .

Енергія, яку протягом доби вироблятимуть сонячні панелі номінальною потужністю  $P_{ном}^{CB}$  при середньодобовому надходженні сонячної радіації до поверхні фасаду  $\bar{H}_T$ , визначалась за формулою:

$$E_m = \frac{k \cdot \bar{H}_T \cdot P_{ном}^{CB}}{1000}, \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який враховує втрату потужності за рахунок нагрівання панелей, і дорівнює відповідно  $0,7$  для зимових та  $0,5$  для літніх місяців.

Обсяг електричної енергії, що може бути використаний споживачами, має враховувати втрати енергії в інверторі при перетворенні постійного струму на змінний:



$$E_G = \eta \cdot E_M, \quad (4)$$

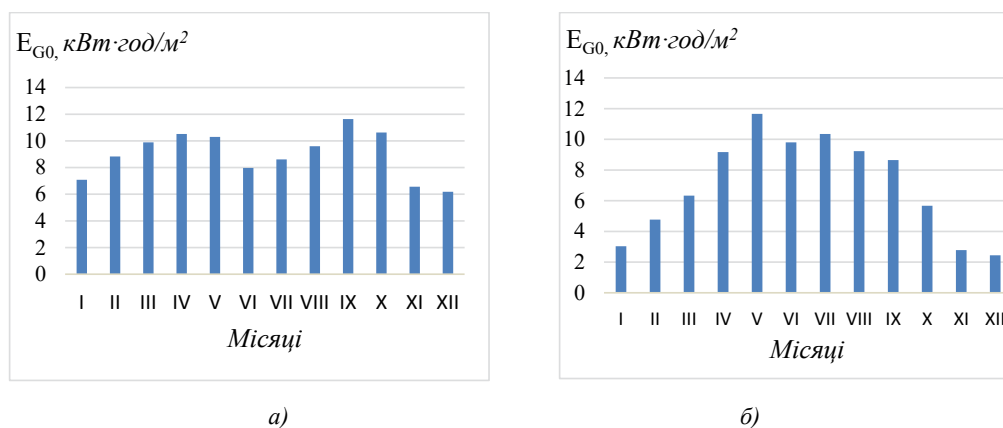
де  $\eta$  – ефективність інвертора.

Питоме вироблення енергії VIPV-фасадом розраховувалось як відношення генерованої ним енергії до площі фотоелектричних панелей, розташованих на даному фасаді:

$$E_{G0} = E_G / S_M, \quad (5)$$

де  $S_M$  – площа фотоелектричних панелей.

Результати розрахунку питомого вироблення енергії VIPV-фасадом, побудованим на основі спеціалізованих сонячних панелей з кристалічного кремнію номінальною потужністю 180 Вт кожна та мережевого інвертора потужністю 20 кВт, представлено на рис. 3.



**Рис. 3. Розподіл питомого вироблення електричної енергії за місяцями для VIPV-системи з панелями на південному (а) та східному або західному (б) фасадах будівлі**

Як слідує з аналізу даних, представлених на рис. 3, VIPV-система з панелями, розташованими на південному фасаді, в розрізі року забезпечує вироблення електричної енергії загальним обсягом близько 108 кВт·год/м<sup>2</sup>, в той час як система з панелями на східному або західному фасадах будівлі – близько 84 кВт·год/м<sup>2</sup>, що лише на 22% менше південного.

З урахуванням площ відповідних фасадів будівлі, які можуть бути покритими фотоелектричними панелями, встановлено, що південний фасад здатен забезпечити річне вироблення енергії на рівні 12000 кВт·год, а східний та західний – близько 9900 кВт·год, що сумарно становить 31800 кВт·год на рік і з надлишком покриває річну потребу будинку в електричній енергії, яка в середньому складає 21800 кВт·год. Таким чином, розглянута фасадна VIPV-система не лише здатна покрити власне споживання електричної енергії будинком, але й спроможна передавати надлишок виробленої енергії в загальну електромережу, зменшивши таким чином навантаження на генеруючі потужності підприємств традиційної енергетики, що особливо важливо в умовах критичного стану енергетичної галузі України.

### Висновки

Отже, створення об'єктів з фасадними VIPV-системами є привабливим з енергетичної точки зору рішенням для кліматичних умов м. Херсон. Найбільш доцільним є створення проектів будівель з фотоелектричними системами, інтегрованими до південного фасаду, які дозволяють генерувати найбільшу кількість електричної енергії – близько 108 кВт·год з 1 м<sup>2</sup> на рік. При цьому, кількість генерованої фотоелектричним фасадом енергії залишається практично незмінною при його розорієнтації відносно південного напрямку на кут  $\pm 30^\circ$ , що дозволяє не накладати надто жорсткі вимоги на просторову орієнтацію будівель з VIPV-системами.

Річне вироблення енергії системами з фотоелектричними панелями на східному або західному фасаді є лише на 22% меншим за південний і становить близько 84 кВт·год/м<sup>2</sup>, що свідчить про доцільність інтеграції фотоелектричних систем не лише до південних, але й до східних та західних фасадів будівлі.

Розрахунок енергетичних показників VIPV-системи на прикладі багатоквартирного чотирьохповерхового будинку, розташованого у м. Херсон, показав потенційну можливість не лише забезпечити власні потреби цього об'єкту в електричній енергії, а й генерувати надлишок енергії в централізовану електромережу, що сприятиме зменшенню навантаження на енергосистему.

## Список використаної літератури

1. Відновлювані джерела енергії. За заг. ред. С.О. Кудрі. К.: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. За заг. ред. С.О. Кудрі. К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.
3. Відновлювана енергетика на Херсонщині розвивається шаленими темпами. Херсонська обласна державна адміністрація [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://khoda.gov.ua/v%D1%96dnovljuvana-energetika-na-hersonshhin%D1%96-rozviva%D1%94tsja-shalenimi-tempami> (дата звернення: 24.10.24). Назва з екрану.
4. Kurian J., Karthi L. Building integrated photovoltaics – an overview. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*. Vol. 10. 2022. 9 p. DOI: 10.7770/safer-V10N1-art2495.
5. Eifferd P., Kiss G.J. Building-Integrated Photovoltaics for Commercial and Institutional Structures: A Sourcebook for Architects and Engineers. NREL, 2000. 89 p.
6. James T., Goodrich A., Woodhouse M., Margolis R., Ong S. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices. NREL, 2011. 39 p.
7. Bonomo P. Frontini F. Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Analysis of the Technological Transfer Process and Innovation Dynamics in the Swiss Building Sector. *Buildings*. Vol. 14 (6) : 1510. 2024. 22 p. DOI: 10.3390/buildings14061510.
8. Guedouh M.S., Khadraoui M.A., Youcef K., Belmahdi H.S. Energy Efficiency in Building Based on the BIPV Panels System Used as a Double Skin Envelop in a Hot Arid Region. *5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*. July 10-12. 2023. Konya. Turkey. P. 183-187. DOI: 10.59287/icaens.989.
9. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
10. POWER. Data Access Viewer [Electronic resource]. Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (last access: 24.10.2024). Title from the screen.

## References

1. Vidnovlyuvani dzherela enerhiyi [Renewable energy sources]. K.: Instytut vidnovlyuvanoyi enerhetyky NANU, 2020. 392 p. [in Ukrainian].
2. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi Ukrayiny [Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine]. K.: Instytut vidnovlyuvanoyi enerhetyky NANU, 2020. 82 p. [in Ukrainian].
3. Vidnovlyuvana enerhetyka na Khersonshchini rozvyvayet'sya shalenymy tempamy. Khersons'ka oblasna derzhavna administratsiya [Renewable energy in the Kherson region is developing at a rapid pace. Kherson Regional State Administration] [Electronic resource]. Access mode: <https://khoda.gov.ua/v%D1%96dnovljuvana-energetika-na-hersonshhin%D1%96-rozviva%D1%94tsja-shalenimi-tempami> (last access: 24.10.24). Title from the screen.
4. Kurian J., Karthi L. Building integrated photovoltaics – an overview. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*. Vol. 10. 2022. 9 p. DOI: 10.7770/safer-V10N1-art2495.
5. Eifferd P., Kiss G.J. Building-Integrated Photovoltaics for Commercial and Institutional Structures: A Sourcebook for Architects and Engineers. NREL, 2000. 89 p.
6. James T., Goodrich A., Woodhouse M., Margolis R., Ong S. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices. NREL, 2011. 39 p.
7. Bonomo P. Frontini F. Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Analysis of the Technological Transfer Process and Innovation Dynamics in the Swiss Building Sector. *Buildings*. Vol. 14 (6) : 1510. 2024. 22 p. DOI: 10.3390/buildings14061510.
8. Guedouh M.S., Khadraoui M.A., Youcef K., Belmahdi H.S. Energy Efficiency in Building Based on the BIPV Panels System Used as a Double Skin Envelop in a Hot Arid Region. *5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*. July 10-12. 2023. Konya. Turkey. P. 183-187. DOI: 10.59287/icaens.989.
9. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
10. POWER. Data Access Viewer [Electronic resource]. Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (last access: 24.10.2024). Title from the screen.

Л. І. МЕЛЬНИК

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри хімічної технології композиційних матеріалів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-5139-3105

О. М. ШНИРУК

асистент кафедри хімічної технології композиційних матеріалів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-7840-6201

Ю. С. ЯНЧУК

студентка кафедри хімічної технології композиційних матеріалів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0009-0002-0453-4213

## ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИТИ З ЧЕРВОНИМ ШЛАМОМ: СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ

У цій статті досліджено вплив типу полімерного зв'язуючого та концентрації червоного шלאму (ЧШ) на пористу структуру, сорбційні характеристики та механічні властивості полімерних композитів. Як зв'язуючі використано два типи полімерів: Latex 2012 з розміром частинок 140 нм та Policril 590 з розміром частинок 200 нм. Встановлено, що розмір частинок полімеру значно впливає на взаємодію між наповнювачем і матрицею, а також на структурні характеристики композитів. Композити на основі Latex 2012 демонструють вищу загальну пористість і сорбційну здатність завдяки меншому розміру частинок полімеру, що забезпечує кращий доступ до пор і збереження мезопористої структури. У цих композитах максимальний модуль пружності досягає 93,5 МПа при концентрації ЧШ 85 мас.%, що робить матеріал перспективним для застосувань, де потрібні висока жорсткість і сорбційні характеристики, наприклад, у фільтраційних і каталітичних системах.

На відміну від них, композити на основі Policril 590 мають нижчий модуль пружності та меншу загальну пористість. Це пояснюється більшим розміром частинок полімеру, що сприяє формуванню щільнішої структури навколо частинок ЧШ і частковому блокуванню пор. Максимальне значення модуля пружності для цієї системи становить лише 13,3 МПа при 90 мас.% ЧШ, що вказує на обмежену жорсткість, але водночас підвищену щільність структури.

Оптичний аналіз підтвердив структурні зміни зі збільшенням концентрації ЧШ, зокрема збільшення загальної та відкритої пористості, яка стає менш вираженою на макрорівні через утворення дрібних мікропор. Аналіз ізотерм адсорбції азоту показав мезопористий характер композитів. Отримані результати свідчать про значний потенціал регулювання пористості та механічних властивостей композитів через вибір типу полімерної матриці та концентрації наповнювача, що дозволяє адаптувати матеріали для конкретних промислових потреб.

**Ключові слова:** полімерний композит, наповнювач, червоний шלאм, латекс, модуль пружності, структура, пористість.

L. I. MELNYK

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Chemical Technology  
of Composite Materials  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-5139-3105

O. M. SHNYRUK

Assistant at the Department of Chemical Technology of Composite Materials  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-7840-6201

YU. S. YANCHUK

Student at the Department of Chemical Technology of Composite Materials  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0009-0002-0453-4213

## POLYMER COMPOSITES USING RED MUD: STRUCTURE AND PROPERTIES

*This article investigates the impact of the type of polymer binder and the concentration of red mud (RM) on the porous structure, sorption characteristics, and mechanical properties of polymer composites. Two types of polymers were used as binders: Latex 2012 with a particle size of 140 nm and Policril 590 with a particle size of 200 nm. It was found that the particle size of the polymer significantly influences the interaction between the filler and the matrix, as well as the structural characteristics of the composites. Composites based on Latex 2012 exhibit higher total porosity and sorption capacity due to the smaller polymer particle size, which allows for better pore accessibility and retention of the mesoporous structure. In these composites, the maximum modulus of elasticity reaches 93.5 MPa at an RM concentration of 85 wt.%, making the material promising for applications requiring high rigidity and sorption characteristics, such as in filtration and catalytic systems.*

*In contrast, composites based on Policril 590 have a lower modulus of elasticity and reduced total porosity. This is attributed to the larger polymer particle size, which forms a denser structure around the RM particles, partially blocking the pores. The maximum modulus of elasticity for this system is only 13.3 MPa at 90 wt.% RM, indicating limited rigidity but enhanced structural density.*

*Optical analysis confirmed structural changes with increasing RM concentration, specifically an increase in both total and open porosity, which becomes less pronounced at the macroscopic level due to the formation of fine micropores. Nitrogen adsorption isotherm analysis revealed the mesoporous nature of the composites. The obtained results demonstrate significant potential for controlling the porosity and mechanical properties of composites by selecting the type of polymer matrix and filler concentration, allowing for the adaptation of materials to specific industrial needs.*

**Key words:** polymer composite, filler, red mud, latex, modulus of elasticity, structure, porosity.

### Постановка проблеми

Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) широко застосовуються завдяки можливості поєднувати переваги полімерної матриці та різноманітних наповнювачів, що дозволяє отримувати матеріали з унікальними фізико-механічними властивостями. Висока вартість композитів, однак, залишається значною перешкодою для їх поширеного використання. Тому одним із перспективних напрямів розвитку ПКМ є застосування доступних та дешевих наповнювачів, що дозволяє знизити загальні витрати на виробництво та зробити ці матеріали більш конкурентоспроможними.

Одним із таких наповнювачів є червоний шлам (ЧШ) – побічний продукт переробки бокситів у процесі Байєра. Цей матеріал накопичується у великих обсягах (до 30 мільйонів тон щорічно у світі) і становить серйозну екологічну проблему, зокрема через труднощі його утилізації.

Хімічний склад червоного шламу включає силікати та оксиди заліза, алюмінію, натрію, кальцію і титану, що зумовлює його потенціал для повторного використання. Незважаючи на сприйняття червоного шламу як відходу, значний вміст заліза та алюмінію робить його цінним сировинним ресурсом, який можна використовувати у виробництві будівельних матеріалів, цементу, керамічних виробів, а також як наповнювач для композитних матеріалів [1].

Крім економічних переваг, використання червоного шламу у складі полімерних композитів може сприяти екологічній безпеці. Тести на вилуговування та еко-токсикологічні дослідження вказують на низьку токсичність червоного шламу як до, так і після його вторинного використання, що дозволяє вважати цей матеріал перспективним для інтеграції у різноманітні екологічно чисті технологічні процеси.

З огляду на вищезазначене, дослідження з використання червоного шламу як наповнювача в полімерних композитах є актуальним як з економічної, так і з екологічної точки зору. Вивчення його властивостей та можливостей використання в полімерних композиційних матеріалах на основі водних дисперсій полімерів сприятиме розвитку технологій переробки цього вторинного ресурсу та відкриватиме нові напрямки у створенні екологічно чистих та економічно вигідних композитних матеріалів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні численні дослідження підтверджують, що введення червоного шламу як наповнювача в полімерні композити може значно покращити їхні функціональні властивості. Зокрема, Chen та співавтори [2] у своїй роботі дослідили використання червоного шламу разом із кокосовим волокном у поліефірній смолі, акцентуючи на екологічну проблему утилізації червоного шламу, побічного продукту при виробництві глинозему. Їх результати продемонстрували, що додавання червоного шламу до композиту підвищує його твердість і щільність, хоч і зменшує еластичність. Це свідчить про перспективу використання червоного шламу для створення композитних матеріалів у будівництві, зокрема для легких конструкцій, завдяки високій щільності та твердості.

У роботі Wang та співавторів [3] розглянуто потенціал використання червоного шламу та інших промислових відходів, таких як зола й кислотний шлак, як наповнювачів для полімерних композитів на основі поліпропілену. Автори зазначають, що підготовка червоного шламу через його дезактивацію та застосування модифікуючого агента забезпечує оптимальний рівень адгезії з полімерною матрицею, що суттєво підвищує механічні та термічні властивості композиту. Досягнутий лімітний кисневий індекс (близько 27 %) свідчить про підвищені вогнезахисні властивості таких матеріалів.

Hendricks та Buchanan [4] досліджували вплив вмісту червоного шламу на механічні характеристики полімерних композитів на основі поліетилену високої щільності. Було встановлено, що додавання до 10 мас.% червоного шламу підвищує жорсткість композиту, однак подальше збільшення вмісту призводить до зниження його міцності. Це зумовлено порушенням зв'язку між наповнювачем та полімером, особливо при надмірній концентрації червоного шламу, що підвищує ризик утворення пор у структурі.

Значну увагу в наукових дослідженнях приділяють також підготовці червоного шламу для підвищення його сумісності з полімерною матрицею. Так, Bhat та колеги [5] розробили методику хімічної модифікації червоного шламу з використанням борної та фосфомолібденової кислот, що дозволяє підвищити адгезію між полімером і наповнювачем. За допомогою цієї методики частинки червоного шламу стають більш хімічно активними, що сприяє ефективнішому їх включенню до складу композиту. Іншим ефективним підходом є органічна модифікація шламу, яка передбачає взаємодію із аніліном та формальдегідом, що також підвищує його адгезійні властивості завдяки утворенню олігомерів.

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що додавання червоного шламу у полімерні композити дозволяє досягти значних покращень термічної стабільності, механічної жорсткості, вогнезахисних властивостей та щільності композитних матеріалів. Однак ці переваги можуть проявлятися тільки при оптимальних концентраціях та відповідній хімічній підготовці шламу.

#### Формулювання мети дослідження

Під час розробки наповнювачів різного походження виникає можливість комплексного вирішення завдань якості композитів та збереження ресурсів. Проте виготовлення нових видів наповнювачів потребує уважного врахування особливостей їхнього фізико-хімічного складу, який впливає на характеристики систем та властивості композиційного матеріалу. Це є головною метою даної роботи у контексті композитів на основі андезиту з полімерним зв'язуючим.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

У цьому дослідженні було проаналізовано полімерні композити на основі водних дисперсій сополімерів із додаванням відходів червоного шламу як наповнювача. Використовувався червоний шлак від ПАТ «Запорізький алюмінієвий комбінат» (Україна), який відзначається високим вмістом  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  та сумарним вмістом лужноземельних і лужних оксидів ( $\text{RO}+\text{R}_2\text{O}$ ) на рівні 8,62 мас.%. Детальний хімічний і мінералогічний склад шламу в наших попередніх роботах [6].

Полімерною матрицею слугували водні дисперсії бутадиєн-стирольного сополімеру Latex 2012 та полімеру Policril 590, властивості яких були предметом дослідження в наших попередніх роботах [7], а технологічний процес виготовлення зразків описано в [8].

Для аналізу отриманих композитів використовували широкий спектр фізико-хімічних методів. Огляд поверхні зразків проводили за допомогою оптичного мікроскопа з цифровою камерою H5D (Delta Optical, Китай) та програмного забезпечення «ScoreTek View» 1.0.0.1 (ScoreTek Optics Electronics, Китай). Пористі характеристики зразків визначали методом адсорбції-десорбції азоту ( $\text{N}_2$ ) при  $-196^\circ\text{C}$  на приладі Quantachrome NOVA-2200e (США). Специфічну площу поверхні ( $\text{SoBET}$ ,  $\text{m}^2/\text{g}$ ) розраховували багатоточковим методом BET [9], а загальний об'єм пор ( $\text{VoP}$ ,  $\text{cm}^3/\text{g}$ ) обчислювали за максимальним об'ємом адсорбованого азоту при відносному тиску  $P/P_0 \approx 0,99$ . Об'єм мікропор ( $\text{Vm}$ ,  $\text{cm}^3/\text{g}$ ) визначали за допомогою методу t-plot, з подальшим розрахунком відсоткового вмісту мікропор.

Абразивну стійкість зразків оцінювали згідно з ДСТУ Б.В.2.7-212:2009, використовуючи круг стирання типу Беме. Механічні властивості визначали шляхом аналізу діаграм "деформація-навантаження" під час одночасного стиснення на установці ІМАШ-20-78 з аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) та ПК при кімнатній температурі у вакуумі  $10^{-5}$  Торр [10].

У ході дослідження було вивчено вплив типу полімерного зв'язуючого та концентрації червоного шламу на пористу структуру та сорбційні характеристики композитів. Зокрема, важливими параметрами є питома поверхня, загальний об'єм пор, середній розмір пор, водопоглинання, загальна та відкрита пористість, а також густина композитів (табл. 1).

Приведені дані свідчать, що при збільшенні концентрації червоного шламу з 65 до 90 мас.% у матрицях як з Policril 590, так і з Latex 2012, відбувається збільшення водопоглинання, відкритої та загальної пористості. Наприклад, для композитів з Policril 590 водопоглинання зростає від 2,53 % при 65 мас.% до 3,62 % при 90 мас.%, а загальна пористість збільшується з 15,97 % до 51,59 %. Для композитів з Latex 2012 водопоглинання збільшується з 5,96 % до 10,05 %, а загальна пористість з 10,46 % до 47,56 % зі зростанням концентрації червоного шламу.

Таке збільшення пористості може бути пов'язане зі зростанням частки наповнювача в системі, що призводить до утворення більшої кількості міжчасткових пор. Однак, при цьому спостерігається зростання густини композитів зі збільшенням вмісту шламу, що можна пояснити більшою щільністю частинок червоного шламу порівняно з полімерною матрицею.

Таблиця 1

Склад і властивості композиційного матеріалу

Наповнювач	Зв'язуюче	Концентрація, мас.%	Водопоглинання через 24 год, %	Відкрита пористість, %	Загальна пористість, %	Середня густина, г/см <sup>3</sup>
Червоний шлам	Policril 590	65	2,53	4,09	15,97	1,62
		75	2,60	4,57	28,91	1,76
		85	2,79	5,92	45,49	2,12
		90	3,62	8,33	51,59	2,30
	Latex 2012	65	5,96	9,07	10,46	1,52
		75	8,64	15,23	29,17	1,76
		85	9,40	18,38	40,84	1,95
		90	10,05	21,37	47,56	2,13

Оптичний аналіз (рис. 1) демонструє структурні відмінності між композитами з різними концентраціями червоного шламу та типами зв'язуючого. Зображення показують, що при низькій концентрації шламу (65 мас.%) композити мають виражену пористу структуру з помітними відкритими порами, тоді як при вищих концентраціях (85 мас.%) спостерігається більш щільна структура з меншою кількістю великих пор, за рахунок більш щільного пакування частинок червоного шламу. Це узгоджується з даними із таблиці 1, де загальна та відкрита пористість зростають зі збільшенням концентрації шламу, проте оптичний аналіз показує, що пори стають менше вираженими макроскопічно, ймовірно, за рахунок утворення дрібних мікропор.

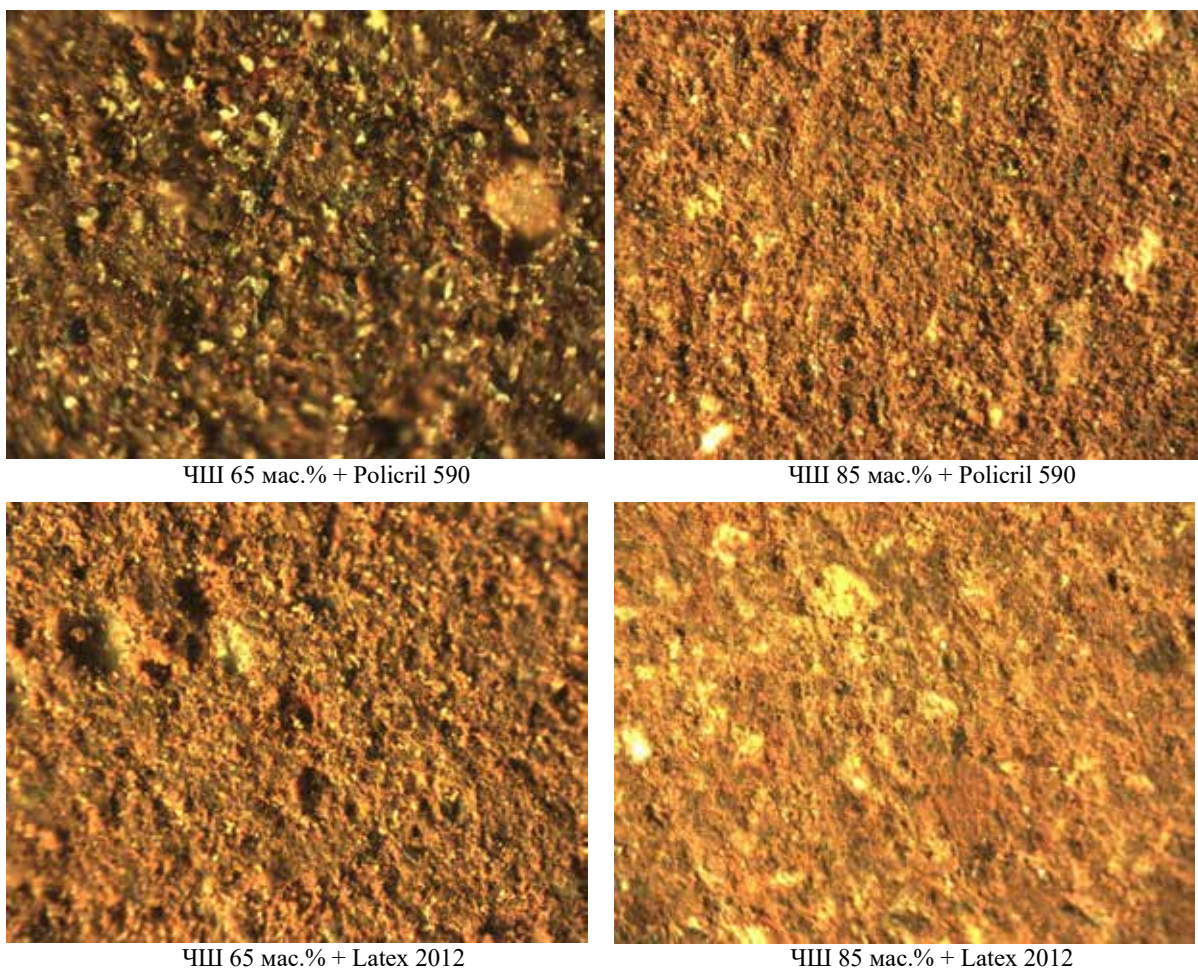


Рис. 1. Оптичний аналіз порової структури композитів

Червоний шлам як самостійний компонент має високу питому поверхню 19,63 м<sup>2</sup>/г (табл. 2) і відносно низький загальний об'єм пор 10,00 × 10<sup>-3</sup> см<sup>3</sup>/г, що свідчить про його природну мікропористу структуру.

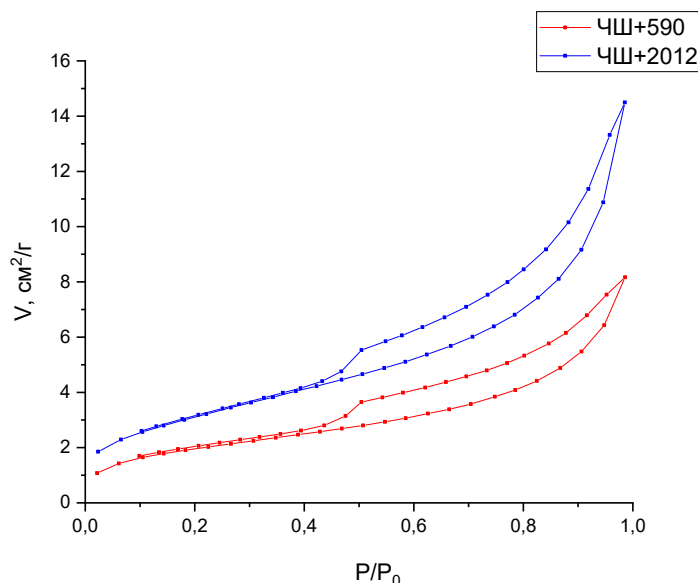
Таблиця 2

**Характеристика порової структури**

Зразки	Питома поверхня BET, м <sup>2</sup> /г	Загальний об'єм пор при P/P <sub>0</sub> = до 1, см <sup>3</sup> /г	Середній розмір пор, нм
ЧШ	19,63	10,00*10 <sup>-3</sup>	2,29
ЧШ + Policril 590	6,83	12,64*10 <sup>-3</sup>	3,56
ЧШ + Latex 2012	1,97	24,22 *10 <sup>-3</sup>	3,88

Введення червоного шламу у полімерні матриці призводить до значних змін у цих характеристиках, що підтверджується даними табл. 2. У композиті з Latex 2012 загальний об'єм пор зростає до 24,22 × 10<sup>-3</sup> см<sup>3</sup>/г, тоді як у Policril 590 він досягає 12,64 × 10<sup>-3</sup> см<sup>3</sup>/г. Це свідчить про різну взаємодію між частинками червоного шламу та полімерною матрицею в залежності від типу полімеру, що, у свою чергу, впливає на пористість і доступність поверхні композиту.

Ізотерми адсорбції азоту (рис. 2) підтверджують мезопористу структуру композитів і показують, що композити з Latex 2012 мають вищу сорбційну здатність і розвиненішу пористу структуру порівняно з системами на основі Policril 590. Гістерезисні петлі на ізотермах свідчать про мезопористий характер цих матеріалів, проте у системі з Latex 2012 спостерігається більший загальний об'єм мезопор, що відповідає збільшенню сорбційної здатності.



**Рис. 2. Ізотерми сорбції азоту (N<sub>2</sub>) для систем з використанням ЧШ**

Це також підтверджується даними розподілу пор за радіусом (рис. 3): композити з Latex 2012 мають більш виражену кількість пор у діапазоні 2-4 нм, що забезпечує збільшення загального об'єму пор.

Це пов'язано з меншим розміром частинок полімеру в дисперсії Latex 2012 (140 нм), що сприяє кращому заповненню міжчасткових просторів без повного блокування пористої структури. Для Policril 590, з більшим розміром частинок (200 нм), спостерігається щільніше покриття частинок червоного шламу, що частково блокує пори та призводить до зменшення загального об'єму пор та питомої поверхні.

Результати аналізу порової структури композитів показують їх суттєвий вплив і на механічні властивості, що підтверджується значеннями модуля пружності який є показником жорсткості матеріалів (рис. 4).

Як видно з графіку для композитів з Latex 2012 спостерігається значно вищий модуль пружності з максимумом при 85 мас.% ЧШ і складає 93,5 МПа. Це можна пояснити тим, що в системі з Latex 2012, завдяки меншому розміру частинок полімеру (140 нм), забезпечується кращий розподіл наповнювача та утворення щільнішої матриці, що підвищує жорсткість композиту. Однак, при концентрації 90 мас.% ЧШ модуль пружності знижується, що, ймовірно, пов'язано з недостатньою зв'язністю частинок ЧШ звязуючим.

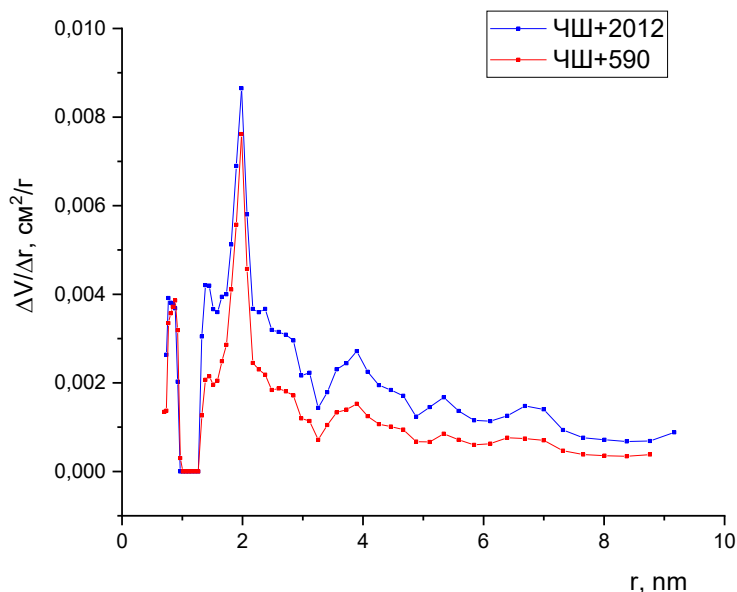


Рис. 3. Розподіл пор за радіусом для систем з використанням ЧШ

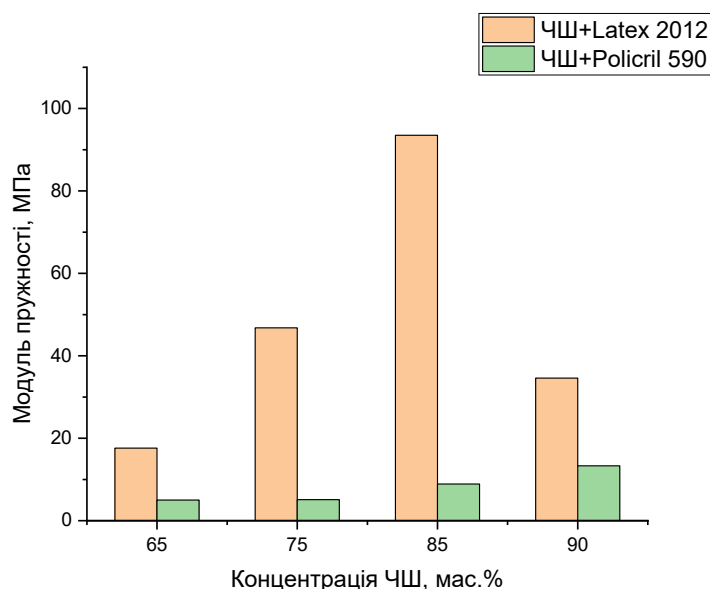


Рис. 4. Залежність модуля пружності від концентрації червоного шלאму

Композити на основі Policril 590 демонструють нижчий модуль пружності на всьому діапазоні концентрацій ЧШ порівняно з Latex 2012. Це, можливо, пов'язано з тим, що більший розмір частинок полімеру в Policril 590 (200 нм) призводить до менш щільного заповнення пор та формування пористішої структури з меншою кількістю зв'язків між наповнювачем та полімерною матрицею. Це зменшує жорсткість матеріалу, і як наслідок – модуль пружності. Максимальне значення цього показника для композитів з Policril 590 складає 13,3 МПа, а при оптимальній концентрації 85 мас.% модуль пружності для систем з Latex 2012 в 10,5 рази перевищує значення для системи з Policril 590.

Таким чином, пориста структура досліджених композитів значно впливає на модуль пружності. Композити з Latex 2012 мають більш розвинену пористість, але в межах концентрації 85 мас.% ЧШ це забезпечує оптимальну жорсткість завдяки щільному розподілу полімеру і наповнювача.

#### Висновки

1. Дослідження показало, що тип полімерного зв'язуючого (Latex 2012 або Policril 590) та концентрація червоного шלאму значно впливають на пористу структуру та фізико-хімічні властивості полімерних композитів.

2. Композити з Latex 2012, завдяки меншому розміру частинок полімеру (140 нм), демонструють вищу загальну пористість і збереження мезопористої структури. Це призводить до покращених сорбційних властивостей



і вищого модуля пружності, який досягає максимуму при концентрації 85 мас.% ЧШ (93,5 МПа), що робить ці композити перспективними для застосувань, де важливі сорбційні характеристики та жорсткість.

3. Композити на основі Policril 590, з більшим розміром частинок полімеру (200 нм), формують більш щільну структуру навколо частинок червоного шламу, що частково блокує пори. Це призводить до зниження загальної пористості та модуля пружності, який є значно нижчим порівняно з системою UCAR Latex 2012. Максимальне значення модуля пружності для цих композитів становить 13,3 МПа при 90 мас.% ЧШ.

#### Список використаної літератури

1. Grjotheim K., Welch B.J. Aluminium Smelter Technology: A Pure and Applied Approach, 2nd ed. Verlag: Dusseldorf. 1998.
2. Chen Y., Li A., Jiang S. Wettability and Mechanical Properties of Red Mud- $Al_2O_3$  Composites. *Materials*. 2024. Vol. 17. № 5. P. 1095. <https://doi.org/10.3390/ma17051095>.
3. Wang X., Zhang N., Zhang Y., Liu J., Wang C., Chu, P.K. Composite plates utilizing dealcalized red mud, acid leaching slag and dealcalized red mud-fly ash: Preparation and performance comparison. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 261. P. 120495. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120495>
4. Hendricks H. L., Buchanan V. E. Effect of material parameters on the mechanical properties of chemically treated red mud HDPE composites. *Polymers and Polymer Composites*. 2020. P. 096739112095406. <https://doi.org/10.1177/0967391120954064>.
5. Bhat A. H., Abdul H. P. S., & K. A. Thermoplastic Polymer based Modified Red Mud Composites Materials. *Advances in Composite Materials – Ecodesign and Analysis*. InTech, 2011. <https://doi.org/10.5772/14377>.
6. Мельник Л.І. Композит на основі систем сополімер – червоний шлам. *Modern science: challenges of today: Collective monograph*. Bratislava, Slovakia, 2023, С. 6-38. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67229>.
7. Melnyk L.I., Cherniak L.P., Yevpak V.V. Composites based on fly ash with different polymer matrixes. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2024. Vol. 2. № 1. P. 106-112. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/18>.
8. Melnyk L. Formation of composite with variation of dispersity of filler and type of binder. *Technical sciences and technologies*. 2024. Vol. 1. № 35. P. 198-203. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-198-203](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-198-203).
9. Brunauer S., Emmett P.H., Teller E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*. 1938. Vol. 60. № 2. P. 309. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>.
10. Vovchenko L.L., Matzui L.Y., Zhuravkov A.V., Samchuk A.P. Electrical resistivity of compacted TEG and TEG-Fe under compression. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2006. Vol. 67. № 5-6. P. 1168-1172. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2006.01.042>.

#### References

1. Grjotheim, K., & Welch, B.J. (1998). Aluminium Smelter Technology: A Pure and Applied Approach, 2nd ed. Verlag: Dusseldorf.
2. Chen, Y., Li, A., & Jiang, S. (2024). Wettability and Mechanical Properties of Red Mud- $Al_2O_3$  Composites. *Materials*. 17(5), 1095. <https://doi.org/10.3390/ma17051095>.
3. Wang, X., Zhang, N., Zhang, Y., Liu, J., Wang, C., & Chu, P.K. (2020). Composite plates utilizing dealcalized red mud, acid leaching slag and dealcalized red mud-fly ash: Preparation and performance comparison. *Construction and Building Materials*. 261, 120495. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120495>
4. Hendricks, H.L., & Buchanan, V.E. (2020). Effect of material parameters on the mechanical properties of chemically treated red mud HDPE composites. *Polymers and Polymer Composites*, 096739112095406. <https://doi.org/10.1177/0967391120954064>.
5. Bhat, A. H., Abdul, H. P. S., & K., A. (2011). Thermoplastic Polymer based Modified Red Mud Composites Materials. *Advances in Composite Materials – Ecodesign and Analysis*. InTech. <https://doi.org/10.5772/14377>.
6. Melnyk, L.I. (2023). Composite based on copolymer systems – red mud. *Modern science: challenges of today: Collective monograph*. Bratislava, Slovakia. 6-38. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67229>.
7. Melnyk, L.I., Cherniak, L.P., & Yevpak, V.V. (2024). Composites based on fly ash with different polymer matrixes. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2(1), 106-112. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/18>.
8. Melnyk L. (2024). Formation of composite with variation of dispersity of filler and type of binder. *Technical sciences and technologies*. 1(35), 198-203. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-198-203](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-198-203).
9. Brunauer, S., Emmett, P.H., & Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*. 60(2), 309. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>.
10. Vovchenko, L.L., Matzui, L.Y., Zhuravkov, A.V., & Samchuk, A.P. (2006). Electrical resistivity of compacted TEG and TEG-Fe under compression. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 67(5-6), 1168-1172. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2006.01.042>.

**Л. М. ПЕТРОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автомобільної техніки  
Військова академія (м. Одеса)  
ORCID: 0000-0001-5709-9986

**І. В. КІШЯНУС**

старший викладач кафедри автомобільної техніки  
Військова академія (м. Одеса)  
ORCID: 0000-0001-7838-5607

**О. В. ЛИСИЙ**

кандидат технічних наук, доцент,  
начальник кафедри автомобільної техніки  
Військова академія (м. Одеса)  
ORCID: 0000-0002-7389-1161

**С. М. ВЕРПІВСЬКИЙ**

заступник начальника кафедри автомобільної техніки  
Військова академія (м. Одеса)  
ORCID: 0000-0002-1610-4707

**О. А. МАЛИНОВСЬКИЙ**

старший викладач кафедри автотехнічного забезпечення  
Військова академія (м. Одеса)  
ORCID: 0000-0002-4048-3903

**В. А. НІКІШИН**

викладач кафедри автомобільної техніки  
Військова академія (м. Одеса)  
ORCID: 0000-0003-2737-403X

**С. В. ШЕЛУХІН**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
професор кафедри автомобільної техніки  
Військова академія (м. Одеса)  
ORCID: 0000-0003-4417-4283

## ТЕОРЕТИЧНІ МОЖЛИВОСТІ ПО ПІДВИЩЕННЮ ПАРАМЕТРІВ РУХУ АВТОМОБІЛЯ З НАКОПИЧУВАЧЕМ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЕНЕРГІЇ В ОСЕРЕДКУ КОНТАКТУ КОЛІСНОГО РУШІЯ З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

*В статті авторів Петрова Л.М., Кішнянуса І.В., Верпівського С.М., Малиновського О.А., Нікішина В.А., Шелухніна С.В. теоретичні можливості по підвищенню параметрів руху автомобіля з накопичувачем потенційної енергії в осередку контакту колісного рушія з опорною поверхнею приведені умови для колісного рушія в якому одночасно в робочому процесі його кочення на кінетичну енергію накладається потенційна. Математична модель кочення колісного рушія вантажного автомобіля, яка заснована на теоремі про зміну кінетичної енергії автомобільної системи показала та виявила зону найбільш ефективної роботи кочення колісного рушія за допомогою обертального руху пружних елементів.*

*Наукова та практична значимість роботи полягає в тому, що вперше запропонований вантажний автомобіль з теоретичною розробкою в якій застосована теорія з пружним накопичувачем енергії для підвищення його прохідності, в якій при обертанні коліс введена технологія для накопичення енергії в зоні плями контакту з опорною поверхнею.*

*Методологією дослідження являлося встановити математичний зв'язок між рухливим пружним накопичувачем енергії та обертанням осі відносно плями контакту.*

Результатом є розроблена геометрія вантажного автомобіля для виконання бойових завдань з рухливим пружним накопичувачем енергії для підтвердження його руху роботи, що відповідає руху ходовим колесам між другим і третім ведучими мостами.

Цінність проведеного дослідження, результати проведеної роботи дозволять зробити внесок в галузь автомобільної промисловості для виконання бойових завдань.

Запропоновано вантажний автомобіль для підвищення прохідності, динамічності, зменшення витрати палива, що є актуальним на сьогоднішній день.

**Ключові слова:** ходове колесо, вільна вісь, рухливий пружний накопичувач, фізико-математична модель, колісний рушій.

L. M. PETROV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automotive Engineering  
Military Academy (Odesa)  
ORCID: 0000-0001-5709-9986

I. V. KISHIANUS

Senior Lecturer at the Department of Automotive Engineering  
Military Academy (Odesa)  
ORCID: 0000-0001-7838-5607

O. V. LYSYI

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Automotive Engineering  
Military Academy (Odesa)  
ORCID: 0000-0002-7389-1161

S. M. VERPIVSKYI

Deputy Head of the Department of Automotive Engineering  
Military Academy (Odesa)  
ORCID: 0000-0002-1610-4707

O. A. MALINOVSKYI

Senior Lecturer at the Department of Auto Technical Support  
Military Academy (Odesa)  
ORCID: 0000-0002-4048-3903

V. A. NIKISHYN

Lecturer at the Department of Automotive Engineering  
Military Academy (Odesa)  
ORCID: 0000-0003-2737-403X

S. V. SHELUHIN

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,  
Professor at the Department of Automotive Engineering  
Military Academy (Odesa)  
ORCID: 0000-0003-4417-4283

#### THEORETICAL POSSIBILITIES FOR INCREASING THE PARAMETERS OF MOTION OF A CAR WITH A POTENTIAL ENERGY ACCUMULATOR IN THE CONTACT CENTER OF THE WHEEL DRIVE WITH THE SUPPORTING SURFACE

*The article by the authors Petrov L.M., Kishyanus I.V., Verpivsky S.M., Malinovsky O.A., Nikishin V.A., Sheluhin S.V. theoretical possibilities for increasing the parameters of the motion of a car with a potential energy accumulator in the contact center of the wheel drive with the support surface provides conditions for a wheel drive in which, simultaneously in the working process of its rolling, potential energy is superimposed on kinetic energy. The mathematical model of rolling of a wheel drive of a truck, which is based on the theorem on the change in kinetic energy of an automobile system, showed and identified the zone of the most effective operation of rolling of a wheel drive using the rotational movement of elastic elements.*

*The scientific and practical significance of the work lies in the fact that for the first time a truck with a theoretical development is proposed in which the theory with an elastic energy accumulator is applied to increase its cross-country*

ability, in which, when the wheels rotate, a technology for accumulating energy in the area of the contact spot with the supporting surface is introduced.

The research methodology was to establish a mathematical relationship between the movable elastic energy storage and the rotation of the axle relative to the contact patch.

The result is a developed geometry of a truck for performing combat missions with a movable elastic energy storage to confirm its working motion, which corresponds to the movement of the running wheels between the second and third driving axles.

The value of the research, the results of the work will allow us to make a contribution to the automotive industry for the performance of combat missions.

A truck is proposed to increase cross-country ability, dynamism, and reduce fuel consumption, which is relevant today.

**Key words:** running wheel, free axle, movable elastic accumulator, physical and mathematical model, wheel drive.

### Постановка проблеми

Технологія, яка закладена в автомобіль повинна відповідати його призначенню, що буде задовольняти виконання операцій по маршрутизації заданих дорожніх умов. Для цього провідні фахівці автомобілів пропонують його конструктивні удосконалення з різними експлуатаційними властивостями. Тому автомобілі різних фірм мають додаткові обладнання, що забезпечують його рух в різних дорожніх умовах.

Таке обладнання не завжди відповідає бажаним умовам по підвищенню прохідності, динамічності, стійкості руху автомобіля в різних дорожніх умовах.

Вплив конструктивного облаштування викликає групову залежність автомобіля від них, а тому на різних ділянках руху одне та інше обладнання не завжди раціонально для використання, а в інших доцільне.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розробниками в галузі автомобільного транспорту встановлено, що кочення автомобільного колеса його шина піддається деформуванню, яке сприяє створенню моменту опору коченню колеса та зчепленню колеса зі шляхом. Були створені тороїдальні, арочні, радіальні, діагональні, широко профільні шини, які штучно підвищували прохідність, динамічність, стійкість, плавність руху автомобіля. При коченні автомобільного колеса в безпосередньо в матеріалі шини, виникають внутрішні тертя, а при проковзуванні по шляху шини ще й нагрів шини. На всі ці недоліки шини витрачається велика кількість енергії.

Для компенсації втрати енергії необхідно впровадити в колісний рушій механізм, який би компенсував втрати енергії та виконував робочий процес з малими втратами енергії.

Відомо спосіб переміщення мобільного засобу (Molodan, 2019, р. 48–53), який включає (Рис. 1, 2): двигун 1, який встановлюють на колісний рушій 2 та ведені колеса 3 Колісні рушії та ведені колеса встановлюють на опорну поверхню 4 Локальні пружні елементи 5 закріплюють на основному протекторі 6 фіксуєчими штифтами 7. Спосіб переміщення мобільного засобу здійснюють наступним чином. Від двигуна 1 за допомогою трансмісії (на кресленні не показано) крутний момент передають колісним рушіям 2. Мобільний засіб починає рухатись на ведених 3 та ведучих 2 колесах. В зоні плями контакту колісних рушіїв з опорною поверхнею 4 локальний пружний елемент 5, вигнутий до початку деформації шини в зону прилягання до основного протектора 6, стрімко вигинається у протилежну сторону, тобто, в напрямку до контакту з опорною поверхнею 4. Це пояснюється тим, що протектор шини розтягується і вигнутий у його сторону локальний пружний елемент при розтягуванні основного протектора вигинається у протилежну сторону. Таким чином, у зоні плями контакту шини з опорною поверхнею створюють імпульс локального пружного елемента, швидкість зміни якого дорівнює сумарній силі, що діє на локальний пружний елемент. Таким чином, періодична дія імпульсу локального пружного елемента в зоні плями контакту шини колісного рушія з опорною поверхнею дозволяє підвищити ефективність використання потужності двигунів трактора, зменшити буксування коліс та питому витрату палива. Відомий спосіб Петрова-Борисенка підвищення прохідності тягово-транспортної системи (Molodan, 2018, р. 14–18), який включає (Рис. 3, 4, 5) колісний рушій 1, на якому закріплений зубчастий протектор 2. Колісний рушій встановлений на ступицю 3 тягово-транспортної системи. До ступиці хомутами 4 та 5 жорстко закріплений керуючий циліндр 6, в корпусі 7 розташований поршень 8, до якого приєднані штоки 9 та 10, на які вільно насунені пружини 11, 12 стиснення. Шарнірами 13 та 14 до протектора приєднаний накладні зубчасті протектори 15 та 16, форма зубців 17 та впадин 18 яких відповідає формі зубців 19 та впадин 20 протектора колісного рушія. Аналогічно форма зубців 21 та впадин 22 накладного зубчастого протектора 16 відповідає формі зубців 19 та впадин 20 протектора колісного рушія. Вільні кінці накладних протекторів 15 та 16, шарнірами 23, 24 з'єднані зі штоками 9, 10. Порожнини 25 і 26 циліндра з'єднані отворами 27 і 28 та проводом 29 з'єднані між собою. Робочий процес підвищення прохідності тягово-транспортної системи, здійснюється таким чином: до ступиці 3 від двигуна через трансмісію (яка на кресленні не показана) підводиться крутний момент. При цьому ступиця 3 приводить в обертальний рух колісний рушій 1. Разом з колісним рушієм 1 приводиться в обертальний рух зубчастий протектор 2 та закріплений хомутами 4, 5 керуючий циліндр 6 разом з поршнем 8 та штоками 9, 10 і пружинами 11, 12. При цьому зубчастий протектор 2

зубцям 19 втискується у впадини 18 13 накладного протектора 15, а зубці 17 накладного протектора втискуються у впадини 20 зубчастого протектора 2 колісного рушія 1. Обертаючись, колісний рушій 1 шарніром 13 примушує накладний протектор 15 вигинатися, охоплюючи зубці 19 колісного рушія 1, а шарнір 23 притискає до опорної поверхні накладний протектор 15. Одночасно шток 9 з поршнем 8 переміщується в напрямку вільної зони від навантаження колісного рушія 1, на якій розташований шарнір 24. При цьому шарнір 23 разом зі штоком 9, під час обертання колісного рушія 1, переміщується до осередку колісного рушія 1, стискаючи пружину 11, а шарнір 24 рухається в напрямку вільної зони колісного рушія 1 розгортаючи накладний протектор 16. При цьому пружина 12 розтягується, зубці 21 накладного протектора 16 звільняються із впадин 18 зубчастого протектора 2, а впадини 22 накладного протектора 16 вивільняють зубці 19 зубчастого протектора 2 колісного рушія 1. Таким чином створюється зона майбутньої «плями контакту» між шарнірами 14 та 24. Переміщення поршня 8 по керуючому циліндру 6 ближче до зони вільної від навантаження колісного рушія 1 примушує рідину із порожнини 22 керуючого циліндра 6 через отвір 28 та провід 29 і отвір 27 перейти в порожнину 25, забезпечуючи стабілізацію положення поршня 8 згідно з кутом повороту колісного рушія 1 відносно опорної поверхні. Таким чином, запропонований спосіб «Петрова-Борисенка підвищення прохідності тягово-транспортної системи» створює додаткову штучну опорну поверхню для тягово-транспортної системи, розширює можливості колісного рушія 1 для збільшення його тяги та поєднує можливості колісного та гусеничних рушіїв. Застосування накладного протектора на колісний рушій, який навантажений і сегмент навантаження якого визначають центральним кутом повороту деформованої опорної поверхні, дозволяє підвищити прохідність тягово-транспортної системи, створити додаткову штучну опорну поверхню для тягово-транспортної системи, розширити можливості колісного рушія для збільшення його тяги та поєднати функції колісного та гусеничних рушіїв. Такий перелік операцій дозволяє розширити можливий діапазон тягової динаміки тягово-транспортної системи, зменшити час на її розгін та підвищити мобільність тягово-транспортної системи. Відомий спосіб «Лягушка» переміщення мобільного енергетичного засобу конструкції Л.М. Петрова (Kolrahchyan, 2015, p. 125–136), який здійснюють таким чином (Рис. 6): від енергетичного модуля 1 крутний момент за допомогою кінематичного зв'язку подається на центральний редуктор 2. За допомогою карданних шарнірів 15, 16 та 17, 18 карданних валів 19, 20 крутний момент подається на кінцеві передачі 21, 22 колісних рушіїв 10, 11. Таким чином мобільному енергетичному засобу надають рух. При зміні опору руху на передніх чи задніх колісних рушіях пружинним елементом примушують передній колісний рушій (при виникненні на ньому додаткового опору) перестрибнути через бар'єр чи підтягнуть задні колісні рушії (при виникненні на них додаткового тягового опору) перестрибнути через цей бар'єр.

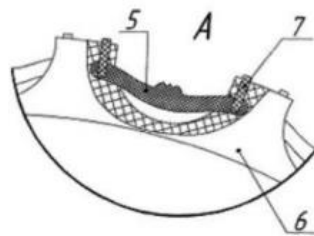


Рис. 1. Деформаційний елемент у протекторі

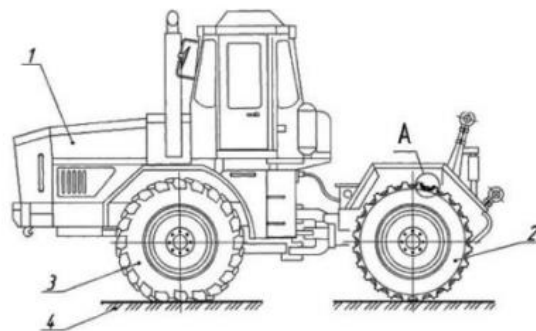


Рис. 2. Мобільний засіб виконаний з деформаційним елементом по декларативному патенту «Спосіб переміщення мобільного засобу»

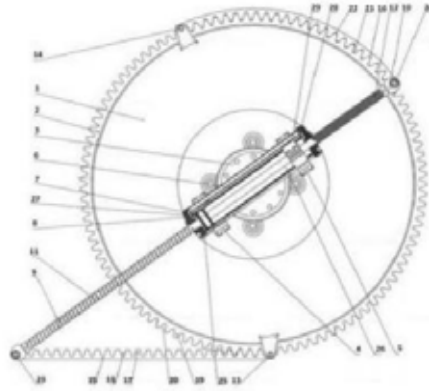


Рис. 3. Креслення згідно способу Петрова-Борисенка, щодо підвищення прохідності тягово-транспортної системи

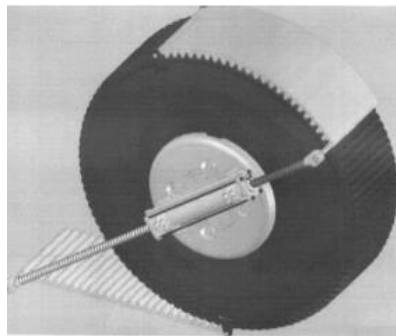


Рис. 4. Загальний вигляд колісного рушія по декларативному патенту «Спосіб Петрова-Борисенка підвищення прохідності тягово-транспортної системи»

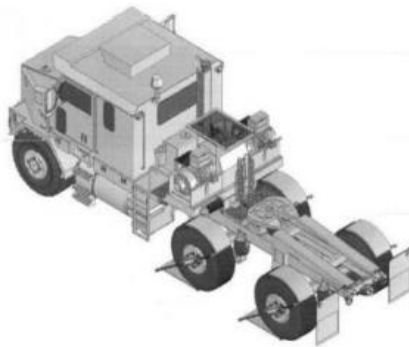


Рис. 5. Загальний вигляд автомобіля з удосконаленими колісними рушіями

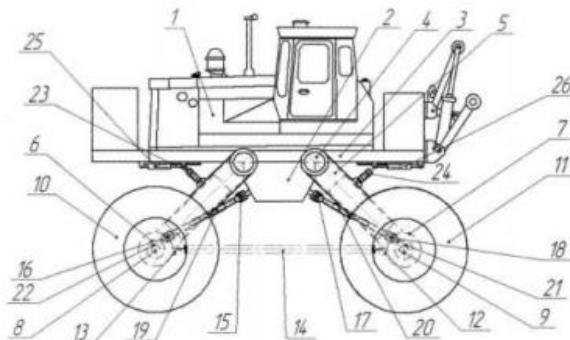


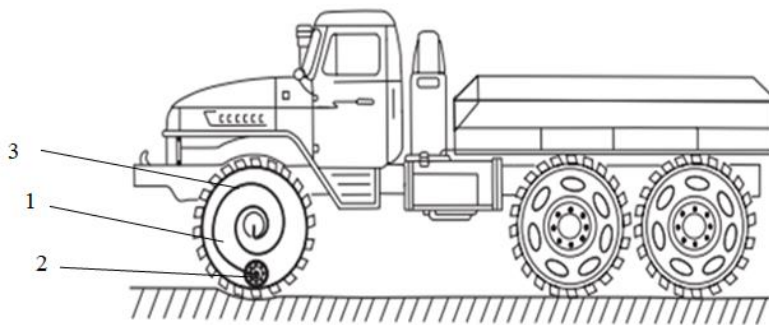
Рис. 6. Мобільний засіб виконаний по декларативному патенту «Спосіб «Лягушка» переміщення мобільного енергетичного засобу конструкції Л.М. Петрова»

**Формулювання мети дослідження**

Створити умови для колісного рушія в якому одночасно в робочому процесі його кочення на кінетичну енергію накладається потенційна.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Нами було запропоновано колісний рушія з внутрішнім компенсатором тягового зусилля в якому технологічно поєднано операції накладання на кінетичну енергію зв'язану з рухом автомобіля потенційну енергію що є компенсатором тягового зусилля (рис. 7) [1, 2].



**Рис. 7. Колісний рушія з внутрішнім компенсатором тягового зусилля:**

1 – колісний рушія, 2 – пружний накопичувач енергії, 3 – пружний накопичувач.

Для розгляду робочого процесу запропонованого автомобіля було застосовано теорему про зміну кінетичної енергії механічної системи [3, 4, 5, с. 1-3].

Для даної формула кінетичної енергії набуває вигляду:

$$T = \frac{1}{2} MV \frac{2}{c} \tag{1}$$

де  $M$  – маса твердого тіла;

$V_c$  – швидкість центра мас.

При обертальному русі тіла навколо нерухомої осі:

$$T = \frac{1}{2} Y_z \omega^2 \tag{2}$$

Математично таке поєднання буде мати такий вигляд:

$$T_1 T_0 = \sum_k A_k^e + \sum_k A_k^i \tag{3}$$

де  $T_1, T_0$  – кінетична енергія автомобільної системи, відповідно до кінцевого та початкового положення;

$\sum_k A_k^e + \sum_k A_k^i$  – сили робіт відповідно зовнішніх і внутрішніх сил автомобільної системи при переміщені з початкового положення в кінцеве.

Для незмінної системи:

$$\sum_k A_k^i = 0$$

При поступальному русі автомобільної системи, формула кінетичної енергії набуває вигляду

$$T = \frac{1}{2} MV \frac{2}{c} \tag{4}$$

де  $M$  – маса автомобільної системи;

$V_c$  – швидкість центра мас автомобіля.

При обертальному русі тіла навколо нерухомої осі:

$$T = \frac{1}{2} Y_z \omega^2 \tag{5}$$

де  $Y_z$  – момент інерції тіла навколо осі обертання;

$Y_{cz}$  – момент інерції автомобільної системи, що проходить не через центр мас  $C$  перпендикулярно до площини руху;

$\omega$  – кутова швидкість автомобільної системи (колісного рушія).

В загальному випадку при плоско поступальному русі для автомобільної системи з коченням компенсатора тягового зусилля по диску колісного рушія:

$$T = \frac{1}{2} MV \frac{2}{c} + \frac{1}{2} Y_{cz} \omega^2 \tag{6}$$

Для автомобільної системи з голономними і утримуючими зв'язками, загальне рівняння буде мати вигляд:

$$\sum_k \delta A_k^a + \sum_k \delta A_k^{in} = 0 \tag{7}$$

де  $\sum_k \delta A_k^a$  і  $\sum_k \delta A_k^{in}$  – суми робіт відповідно активних сил та сил інерції на можливих переміщеннях початок прикладання цих сил.

**Математична модель автомобільної системи з колісним рушієм і компенсатором тягового зусилля**

Дослідження автомобільної системи за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду.

Для автомобільної системи з одним ступенем волі, яка підпорядкована ідеальним, стаціонарним, голономним і утримуючим зв'язкам. Рівняння Лагранжа другого роду має вигляд:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q \tag{8}$$

де  $q$  – узагальнена координата;

$\dot{q}$  – узагальнена швидкість;

$T$  – кінетична енергія механічної системи, виражена через узагальнені координату і швидкість;

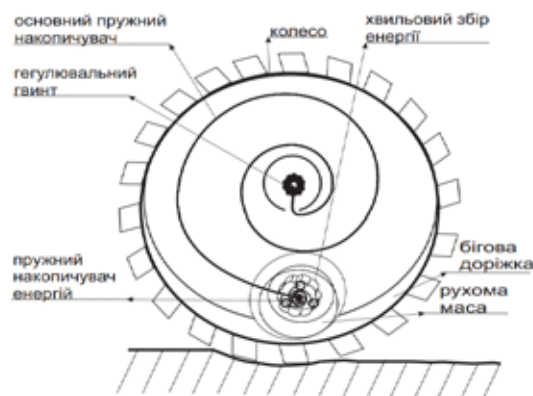
$Q$  – узагальнена сила.

Для обчислення узагальної сили  $Q$  потрібно надати автомобільній системі можливе переміщення  $\delta q$ , обчислити суму робіт активних сил на можливих переміщеннях точок прикладання цих сил, виразити всі можливі переміщення точок прикладання сил через узагальнене можливе переміщення  $\delta q$  і привести вираження для суми робіт активних сил до вигляду:

$$\sum_k \delta A_k^a = Q * \delta q \tag{9}$$

Узагальнена сила  $Q$  дорівнює коефіцієнту при  $\delta q$  у виразі

Для опису математичної моделі нами запропоновано розглянути окремо динамічну модель з колісним рушієм з внутрішнім компенсатором тягового зусилля (рис. 8).



**Рис. 8. Динамічна модель з колісним рушієм з внутрішнім компенсатором тягового зусилля**

Координату центра автомобільної системи прийемо у якості узагальної координати.

На (рис. 9) показана фізико-математична модель автомобільної системи.



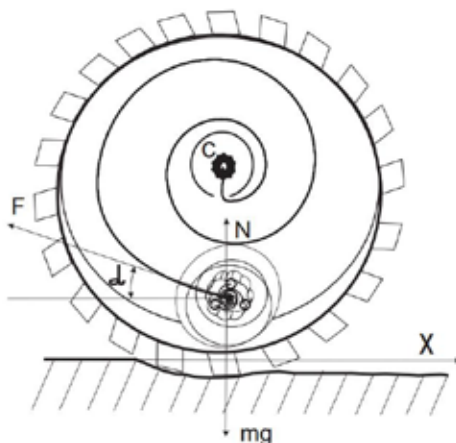


Рис. 9. Фізико-математична модель автомобільної системи

На автомобільну систему діють:  
 активні сили:  $MG$  – сила тяжіння;  
 $F$  – сила стиснутої пружини;  
 реакції зв'язку:  $N$  – нормальна складова;  
 $P$  – сила тертя (роботу не здійснює).

Сила тяжіння це потенційна сила, її точка прикладення залишається на одному рівні відносно горизонтальної поверхні. В першому наближенні вважаємо, що її потенційна інерція.

$$\Pi=0$$

Кінетична енергія автомобільної системи буде визначатися з формули:

$$T = T_1 + T_2 \tag{10}$$

де  $T_1 = \frac{1}{2} m \left( \frac{dx}{dt} \right)^2$  – кінетична енергія поступального руху;

$T_2 = \frac{1}{2} y \omega^2 = \frac{1}{2} R^2 \left( \frac{dx}{dt} \right)^2$  – енергія обертального руху.

При відсутності проковзування умови швидкості автомобільної системи та швидкість поступового руху зв'язані співвідношенням:

$$\omega R = dx / dt \tag{11}$$

Обчислимо узагальнену силу, яка відповідає прикладеній до автомобільної системи силі  $F$ . Елементарна робота, яку виконує сила  $F$  буде відповідати формулі:

$$\delta A = \delta A_{nocm} + \delta A_{o6epm} \tag{12}$$

Робота у поступальному русі автомобільної системи буде відповідати формулі:

$$\delta A_{nocm} = F \cos \alpha * \delta x \tag{13}$$

Робота в обертальному русі автомобільної системи буде відповідати рівнянню:

$$\delta A_{o6epm} = M_z \delta \varphi \tag{14}$$

Проекція моменту сили, яка створюється рухливою вагою буде відповідати формулі:

$$M_z = F * r \tag{15}$$

При відсутності проковзування автомобільної системи елементарне зміщення буде відповідати формулі:

$$\delta x = R \delta \varphi \tag{16}$$

Тоді робота автомобільної системи у обертальному русі в остаточному варіанті буде мати вигляд:

$$\delta A_{o6epm} = F * r * \frac{dx}{R} = F \frac{r}{x} \delta x \tag{17}$$

Враховуючи, що сила  $F$  діє під кутом  $\alpha$  тому формула для елементарної роботи буде мати вигляд:

$$\delta A = F \left( \cos \alpha - \frac{r}{R} \right) dx \tag{18}$$

При такому розкладі сил узагальнена сила буде мати вигляд:

$$Q = F \left( \cos \alpha - \frac{r}{R} \right) \tag{19}$$

Функція Лагранжа може бути представлена у вигляді:

$$L = T + \Pi = \frac{1}{2} \left( m + \frac{y}{R^2} \right) \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 \tag{20}$$

Диференційне рівняння відносно узагальненої координати  $x$  буде мати вигляд:

$$\left( m + \frac{y}{R^2} \right) \frac{d^2 x}{dt^2} = F \left( \cos \alpha + \frac{r}{R} \right) \tag{21}$$

Шлях, який буде пройдено автомобільною системою буде мати вигляд:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{W t^2}{2} \tag{22}$$

де  $W = F \left( \cos \alpha - \frac{r}{R} \right) / \left( m + \frac{y}{R^2} \right)$

На рис. 10. показаний колісний рушій з подвійним пружним накопичувачем.

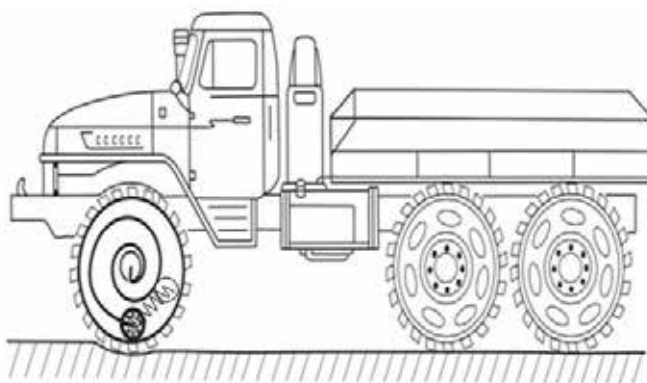


Рис. 10. Колісний рушій з подвійним пружним накопичувачем

На графіку показаний шлях, який буде пройдено автомобільною системою (рис. 11).

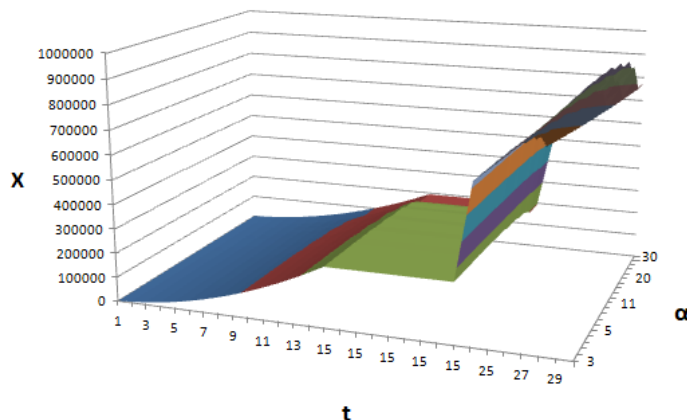


Рис. 11. Шлях, який буде пройдено автомобільною системою

### Висновки

1. Аналіз та розрахунки теоретичних можливостей до підвищенню параметрів руху автомобіля з накопичувачем потенційної енергії в осередку контакту колісного рушія з опорною поверхнею вантажного автомобіля дозволили виявити додатковий шлях, який пройде цей автомобіль з- за вільнення потенційної енергії в зоні плями контакту.

### Список використаної літератури

1. Бейгул О.О. Б 41 Динаміка та міцність машин: Навч. посібник / Бейгул О.О., Колесник І.А. Дніпродзержинськ: ДДТУ. 2011. 120 с.
2. Петров Л.М. Теорія оптимізації якісних показників колісного рушія. *Праці Одеського політехнічного університету. Вип. № 1.(33) 2(34)*. 2010 С. 65–69.
3. Лобас Л. Лобас Л. Теоретична механіка: Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів. К.: ДЕТУТ. 2008. 331-335 с.
4. Петров Л.М. «Спосіб удосконалення обертального руху колісного рушія автомобіля [Метод вдосконалення обертального моменту колісного приводу автомобіля]. Київ: Патент № 42929, Бюл. № 7. 2009. С. 1-3.
5. Петров Л. М. «Спосіб переміщення мобільного джерела енергії» Київ: Патент 86825, Бюл. № 1 2014. С. 1-3.

### References

1. Beygul O.O. (2011) B41 Dynamics and strength of machines. manual / Beygul O.O., Kolesnyk I.A. Dniprodzerzhinsk: DGTU-2011. 120 p.
2. Petrov L.M. (2010) Theory of optimization of qualitative indicators of wheel propulsion. Proceedings of the Odessa Polytechnic University. Vyp. № 1. (33) – 2(34). pp. 65–69.
3. Lobas L., Lobas L. (2008) Theoretical Mechanics: Textbook for Students of Higher Technical Educational Institutions. K.: DETUT. 331-335 p.
4. Petrov L.M. (2009) "Method of improving the rotational motion of the wheel drive of the car [Method of improving the torque of the wheel drive of the car]. Kyiv: Patent No. 42929, Bull. № 7. P. 1-3.
5. Petrov L. M. (2014) "Method of moving a mobile energy source" Kyiv: Patent 86825, Bull. № 1. P. 1-3.

**Б. І. ПРИЙМАК**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-7680-8565

**М. М. ЖЕЛІНСЬКИЙ**

кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри автоматизації електромеханічних систем  
та електроприводу  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0003-4862-1802

**М. Я. ОСТРОВЕРХОВ**

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри теоретичної електротехніки  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-7322-8052

**О. М. ХАЛІМОВСЬКИЙ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри теоретичної електротехніки  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0003-3672-8530

## ПАРАМЕТРИЧНО РОБАСТНИЙ НЕЙРОМЕРЕЖНИЙ ОЦІНЮВАЧ ПОЛОЖЕННЯ ЕЛЕКТРОДА В АВТОМАТИЧНОМУ ТА РОБОТИЗОВАНОМУ ЗВАРЮВАННІ З КОЛИВАННЯМИ ДУГИ

*Розвиток автоматичних та роботизованих зварювальних систем значною мірою ґрунтується на використанні засобів адаптації траєкторії руху зварювального пальника. Основне місце серед таких засобів на сьогодні займають візуальні сенсори. Разом з тим при зварюванні з коливаннями дуги для адаптації траєкторії руху зварювального пальника до реального місця з'єднання деталей перспективним є оцінювання положення електрода відносно лінії зварювання на основі струму зварювальної дуги. Істотні переваги оцінювачів полягають у відсутності додаткового обладнання на зварювальному пальнику, а також у суміщенні точок зварювання та вимірювання.*

*Для виявлення екстремуму в адаптивних зварювальних системах з пошуковими коливаннями знаходить застосування метод синхронного детектування. Проте точність отриманої за допомогою синхронного детектора оцінки положення електрода відносно зварювального шва є невисокою через вплив нестабільності параметрів зварювального контуру. Тому на сьогодні є актуальною задача побудови оцінювача положення електрода при зварюванні з коливаннями дуги, що матиме високу точність та буде малочутливим до параметричних змін.*

*Метою роботи є розгляд нового підходу, заснованого на використанні штучної нейронної мережі, до розв'язання задачі оцінювання положення електрода відносно лінії з'єднання деталей при зварюванні з коливаннями дуги із забезпеченням робастності до змін параметрів зварювального контуру.*

*Для побудови оцінювача відхилення електрода від лінії стику у роботизованому зварюванні з коливаннями дуги застосована двошарова нейронна мережа прямого передавання сигналу з архітектурою типу 20-13-2. Нейромережний оцінювач, виходячи із сигналу зварювального струму, двічі за період коливань дуги визначає оцінку відносного положення електрода. За допомогою математичного моделювання показано, що процеси оцінювання відхилення електрода від лінії стику характеризуються достатньо високою точністю та робастністю до змін параметрів зварювального контуру.*

**Ключові слова:** нейронна мережа, оцінювач, параметрична робастність, екстремум, положення електрода, коливання дуги, зварювальний робот.

B. I. PRYYMAK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation of Electromechanical Systems and the Electric Drive  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-7680-8565

M. M. ZHELINSKYI

Candidate of Technical Sciences,  
Senior Lecturer at the Department of Automation of Electromechanical Systems and the Electric Drive  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0003-4862-1802

M. YA. OSTROVERKHOV

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Theoretical Electrical Engineering Department  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-7322-8052

O. M. KHALIMOVSKYY

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Theoretical Electrical Engineering  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0003-3672-8530

## PARAMETRICALLY ROBUST NEURAL NETWORK ESTIMATOR OF ELECTRODE POSITION IN AUTOMATIC AND ROBOTIC WELDING WITH ARC OSCILLATIONS

*The development of automatic and robotic welding systems is largely based on the use of tools to adapt the path of the welding torch. Visual sensors are currently the most commonly used means of such adaptation. However, when welding with arc oscillations, to adapt the welding torch path to the actual place of joining parts, it is promising to estimate the position of the electrode relative to the welding line based on the welding arc current. Significant advantages of the estimators are the absence of additional equipment on the welding torch, as well as the combination of welding and measurement points.*

*To detect extremum in adaptive welding systems with search oscillations, the synchronous detection method is used. However, the accuracy of the electrode position relative to the weld seam obtained by a synchronous detector is low due to the influence of instability of the welding circuit parameters. Therefore, the task of constructing an electrode position estimator for welding with arc oscillations that will have high accuracy and be insensitive to parametric changes is currently relevant.*

*The aim of this work is to consider a new approach based on the use of an artificial neural network to solving the problem of estimating the electrode position relative to the joint line of parts in welding with arc oscillations, while ensuring robustness to changes in the parameters of the welding circuit.*

*To construct an estimator of the electrode deviation from the joint line in robotic welding with arc oscillations, a two-layer neural network with a direct signal transmission architecture of the 20-13-2 type was used. The neural network estimator, based on the welding current signal, determines the relative position of the electrode twice during the arc oscillation period. Using mathematical modelling, it is shown that the processes of estimating the electrode deviation from the weld line are characterized by a sufficiently high accuracy and robustness to changes in the parameters of the welding circuit.*

**Key words:** *neural network, estimator, parametric robustness, extremum, electrode position, arc oscillations, welding robot.*

### Постановка проблеми

Одним з основних шляхів розвитку автоматичних та роботизованих зварювальних систем є використання засобів адаптації траєкторії руху зварювального пальника [1]. Головне місце серед таких засобів на сьогодні займають візуальні сенсори. Втім зварюванні з коливаннями дуги для адаптації траєкторії руху зварювального пальника до реального місця з'єднання деталей перспективним є оцінювання положення електрода відносно лінії зварювання на основі струму зварювальної дуги. Суттєвими перевагами використання оцінювачів є відсутність додаткового обладнання на зварювальному пальнику, а також суміщення зварювальної та вимірювальної точок.

Для визначення екстремуму в адаптивних системах з пошуковими коливаннями застосовується синхронне детектування. Роль пошукових коливань в разі дугового зварювання відіграють поперечні коливання зварювального пальника. Проте точність отриманої за допомогою синхронного детектора оцінки положення електрода відносно зварювального шва невисока через вплив нестабільності параметрів зварювального контуру.

Тому на сьогодні важливою та актуальною є задача побудови оцінювача положення електрода відносно лінії з'єднання деталей при зварюванні з коливаннями, що матиме досить високу точність та буде малочутливим до параметричних змін.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел показує, що сьогодні в роботизованому зварюванні часто застосовуються візуальні сенсори (ВС) [2-6]. За сигналом ВС відбувається адаптація траєкторії руху зварювального пальника до реального розташування місця з'єднання деталей [2, 3]. В роботі [5] розглядається можливість використання машинного зору на основі лазера для оцінювання якості зварних швів. Перспективи використання методів штучного інтелекту в зварювальних операціях з ВС висвітлено в [6].

Альтернативою ВС є так звані дугові давачі (ДД) положення електрода відносно лінії з'єднання зварюваних деталей [7]. Ці давачі придатні для технологій зварювання з поперечними коливаннями дуги. Відомо, що в результаті поперечних коливань дуги спостерігаються такі позитивні ефекти, як збільшення ширини шва, зменшення глибини проплавлення, зменшення перегріву металу [8, 9].

ДД дозволяють отримати оцінку  $\varepsilon$  поперечного відхилення  $\varepsilon$  кінця електрода від лінії шва не на основі прямих вимірювань, а опосередковано, на основі вимірювання струму зварювальної дуги. Функціональна залежність зварювального струму від  $\varepsilon$  при зварюванні внапуск або встик з підготовкою канавок має чітко виражений екстремальний (унімодальний) характер, що зумовлено V-подібним профілем поверхонь з'єднуваних деталей. Мінімум цієї функціональної залежності завжди припадає на лінію зварного шва між деталями, що з'єднуються. Один з найпоширеніших підходів до пошуку екстремуму базується на застосуванні пошукових коливань та методу синхронного детектування [10]. У випадку дугового зварювання як пошукові можуть бути використані поперечні коливання зварювального пальника. За таких коливань синхронний детектор формує сигнал, пропорційний амплітуді 1-ї гармоніки зварювального струму, який використовується для отримання оцінки  $\hat{\varepsilon}$ .

Однак метод синхронного детектування має недоліки. Зокрема, визначення амплітуди лише 1-ї гармоніки зварювального струму не дає можливості отримати оцінку  $\hat{\varepsilon}$ , що нечутлива до варіацій параметрів процесу зварювання. Для цього слід визначити також амплітуду 2-ї гармоніки сигналу [7].

В роботі [11] запропоновано новий підхід для побудови оцінювача положення електрода відносно лінії шва, що базується на використанні штучної нейронної мережі (НМ). Продовження виконаних в [11] досліджень нейромережного оцінювача щодо його точності функціонування та параметричної робастності висвітлюються в даній статті.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розгляд нового підходу, заснованого на використанні штучної нейронної мережі, до розв'язання задачі оцінювання положення електрода відносно лінії з'єднання деталей при зварюванні з коливаннями дуги із забезпеченням робастності до змін параметрів зварювального кола.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Система зварювання з коливаннями дуги схематично показана на рис. 1. Джерело зварювального струму ДЗС підключено до зварюваних деталей і зварювального пальника. Напряга у зварювальному пальнику подається через ковзний контакт на зварювальний дріт, який служить витратним електродом.

У процесі зварювання пальник приводиться в коливання у напрямку, що перетинає лінію зварювання. Тобто, в системі координат X-Y з центром на лінії шва, де вісь Y паралельна поздовжній осі подовження електрода, а вісь X нормальна до лінії шва, поточне положення кінця електрода визначається за виразом

$$x(t) = \varepsilon(t) + A \sin \omega t; \quad \omega = 2\pi f, \quad (1)$$

де  $A$  і  $f$  – амплітуда і частота коливань пальника відповідно,  $\varepsilon$  – відхилення середнього положення електрода від лінії стику.

Сигнал зварювального струму  $i(t)$  з давача струму ДС подається на смуговий фільтр СФ, який пропускає частоти в діапазоні від  $f$  до  $2f$ . У цьому випадку сигнал коливань зварювального струму  $\delta(t)$  на виході СФ буде визначатися як [7]

$$\delta(t) = A_1 \cos(\omega t - \beta - \phi_1) + A_2 \sin(2\omega t - \gamma - \phi_2), \quad (2)$$

де  $A_1$  і  $A_2$  – амплітуди 1-ї та 2-ї гармонік сигналу  $\delta(t)$  відповідно;  $\beta$  і  $\gamma$  – фазові зсуви цих гармонік, зумовлені динамікою зварювального контуру;  $\phi_1$  і  $\phi_2$  – фазові затримки вказаних гармонік у фільтрі. Значення в (2) знаходяться із формул (3), (4):

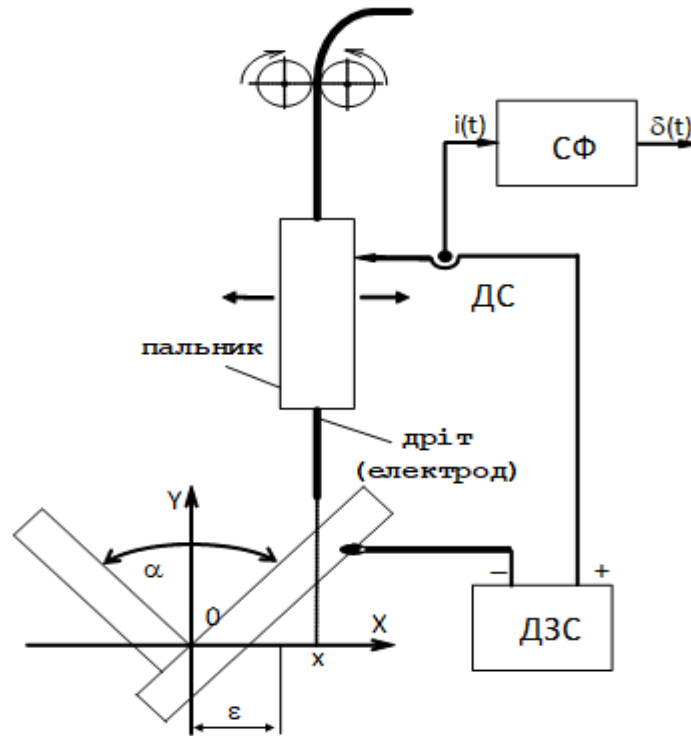


Рис. 1. Схема системи зварювання з коливаннями дуги

$$A_1 = \frac{AKE \operatorname{th}(\mu\epsilon)}{R_w \sqrt{1 + (\omega T_w)^2}}; A_2 = \frac{A^2 KE \mu}{4R_w ch^2(\mu\epsilon) \sqrt{1 + (2\omega T_w)^2}}; \quad (3)$$

$$\beta = \operatorname{arctg}(\omega T_w); \quad \gamma = \operatorname{arctg}(2\omega T_w), \quad (4)$$

де  $E$  – напруженість електричного поля в стовпі дуги;  $R_w$  – опір зварювального кола;  $T_w = R_w / EM$  – стала часу зварювального кола;  $M$  – крутизна характеристики швидкості плавлення електрода за струмом зварювання;  $K = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi - \alpha}{2}\right)$ ;  $\mu = d_e^{-1} \sqrt{K \rho v_w / v_e}$ , де  $d_e$  – діаметр електрода,  $v_w$  – швидкість зварювання і  $v_e$  – швидкість подачі електрода. Слід зазначити, що співвідношення (1) – (4) справедливі за умови підтвердження гіпотези про квазі-стаціонарність сигналу  $\delta(t)$ , тобто за досить малих його змін протягом періоду коливань пальника.

Як видно з виразу (3), визначивши амплітуду  $A_1$  першої гармоніки сигналу  $\delta(t)$ , можна знайти оцінку  $\hat{\epsilon}$  поперечного відхилення  $\epsilon$  кінця електрода від лінії шва. Це традиційний підхід до визначення  $\hat{\epsilon}$ , оснований на використанні методу синхронного детектування для знаходження  $A_1$  [10]. Синхронний детектор є пристроєм поточного усереднення за період пошукових коливань сигналу  $\delta(t) \times \sin(\omega t + \phi_D)$ , де  $\phi_D$  – скоригована початкова фаза, що визначається як  $\phi_D = \frac{\pi}{2} - \beta - \phi_1$ .

Однак в процесі зварювання існує ймовірність зміни деяких параметрів зварювального кола, таких як  $M$ ,  $E$  і  $R_w$ . Для отримання оцінки  $\hat{\epsilon}$ , яка була б нечутливою до варіацій цих параметрів, необхідно також визначити амплітуду 2-ї гармоніки  $\delta(t)$  [7]. При виконанні умови  $T < T_w$ , де  $T = 1/f$  – період коливань пальника, розділивши в (3)  $A_1$  на  $A_2$ , отримаємо вираз для визначення цієї оцінки

$$\hat{\epsilon} = \frac{1}{2\mu} \operatorname{ash}\left(\frac{\mu A}{2} \times \frac{A_1}{A_2}\right). \quad (5)$$

Тут відсутні параметри, що залежать від змін умов зварювального процесу. Тому вираз (5), який дозволяє визначити оцінку  $\hat{\epsilon}$  відхилення електрода від лінії шва, стійку до варіацій параметрів зварювального контуру, візьмемо за основу для розробки пристрою оцінювання на основі НМ.

На рис. 2 наведено структурну схему оцінювача  $\hat{\epsilon}$  на основі НМ. Пристрій для оцінювання бічного відхилення електрода дозволяє отримувати поточні значення оцінки через кожні півперіода коливань пальника, тобто визначати  $\hat{\epsilon}$  з періодом  $T_0 = T/2$ .

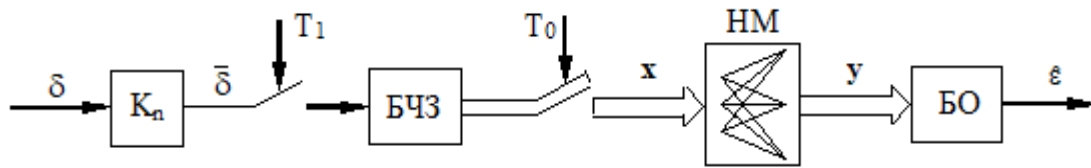


Рис. 2. Блок-схема неймережного оцінювача відхилення електрода від лінії стику зварюваних деталей

У схемі наявні два імпульсні елементи з періодами замикання  $T_0$  і  $T_1$ . Робота цих елементів синхронізована між собою і  $T_1 = T_0/N$ , де  $N$  – ціле число. Сигнал коливань зварювального струму  $\delta(t)$  надходить на вхід оцінювача і після проходження ланки з нормуючим коефіцієнтом  $K_n$  стає таким, що  $|\bar{\delta}(t)| \leq 1$ . Нормований сигнал  $\bar{\delta}(t)$  квантується за часом з періодом  $T_1$  і надходить на блок часової затримки БЧЗ. У цьому блоці формується  $N$ -вимірний вектор  $x$ , компонентами якого є  $N$  останніх значень дискретного сигналу  $\bar{\delta}(nT_1)$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ . Вектор  $x$  з періодом дискретності  $T_0$  надходить на вхід НМ. У неймережі визначається двовимірний вектор  $y$  оцінок амплітуд 1-ї та 2-ї гармонік сигналу  $\bar{\delta}$ . Після цього в блоці обчислення БО за (5) отримується оцінка  $\epsilon$  відхилення електрода від лінії шва. Отже, згідно з викладеним вище, сигнал на виході оцінювача формується дискретно з періодом  $T_0$  і деяким обчислювальним запізненням.

В оцінювачі відхилення електрода застосована нейронна мережа прямого передавання сигналу або багатопартий перцептрон (feedforward neural network or multilayer perceptron).

Навчання (тренування) НМ виконувалося методом зворотного поширення помилки із використанням алгоритму Левенберга-Марквардта. Для навчання мережі було сформовано масиви з 500 векторів

$$x(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_{20}(k)]^T; y(k) = [y_1(k), y_2(k)]^T; k = \overline{1, 500},$$

із отриманням їх елементів за виразом

$$x_i(k) = y_1(k) \cos\left(\frac{\pi(i-1)}{N} - \beta - \phi_1 + \Delta\beta(k)\right) + y_2(k) \sin\left(\frac{2\pi(i-1)}{N} - \gamma - \phi_2 + \Delta\gamma(k)\right), \quad i = \overline{1, 20}$$

де  $y_1, y_2, \Delta\beta$  та  $\Delta\gamma$  – випадкові, рівномірно розподілені величини в межах інтервалів своїх змін. У прихованому шарі НМ було обрано 13 нейронів і ця мережа навчалася протягом 1200 епох.

Визначення якісних показників процесів оцінювання положення електрода відносно лінії стику зроблено за допомогою обчислювальних експериментів з математичною моделлю системи. Для моделювання та тренування НМ були вибрані такі номінальні параметри зварювального процесу:  $M=0.35$  мм/А·с;  $E=2$  В/мм;  $R_w=0.2$  Ом;  $d_e=1.2$  мм;  $v_e=45$  мм/с;  $v_w=5$  мм/с;  $K=1$ ;  $A=2$  мм;  $f=5$  Гц. Фазові зсуви сигналу коливань зварювального струму у СФ були прийняті  $\phi_1=-0.8$  рад;  $\phi_2=1.6$  рад.

У першому досліді імітувалася наступна практична ситуація. Пальник під час зварювання з коливаннями дуги рухається вздовж прямої лінії стику так, що траєкторія його середнього положення  $\epsilon(t)$  є прямою лінією, але кут між  $\epsilon(t)$  та лінією стику дорівнює 0.2 рад. У момент часу  $t=0$ , де  $\epsilon(t)=-4$  мм, на вхід оцінювача подається сигнал  $\delta(t)$ . Процес оцінювання наведено на рис. 3, де показані сигнали  $\epsilon(t)$  (крива 1) та  $\hat{\epsilon}(t)$  (крива 2).

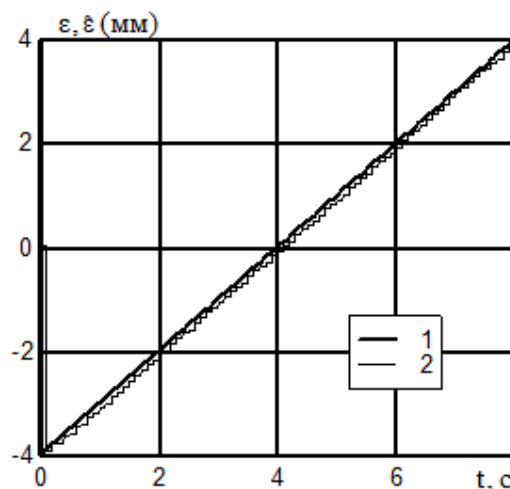


Рис. 3. Оцінювання лінійно-змінюваного відхилення електрода



Цей рисунок показує, що за винятком першого періоду  $T_0$ , де ще тільки формувався вхідний вектор мережі  $x$ , сигнал  $\hat{\varepsilon}(t)$  на виході оцінювача із невеликим запізненням практично повторює сигнал  $\varepsilon(t)$  в інтервалі його змінювання.

Наступний дослід полягав у моделюванні процесу оцінювання при змінюванні  $\varepsilon$  за експоненційним законом. Приблизно такий характер змін  $\varepsilon$  існуватиме у замкненій за сигналом  $\hat{\varepsilon}$  системі стеження за лінією стику, якщо регулятор забезпечуватиме добре демпфовані перехідні процеси. На рис. 4 показані експоненційно-змінюваний сигнал  $\varepsilon(t)$  з амплітудою 2 мм (крива 1) та оцінка цього сигналу  $\hat{\varepsilon}(t)$  (крива 2).

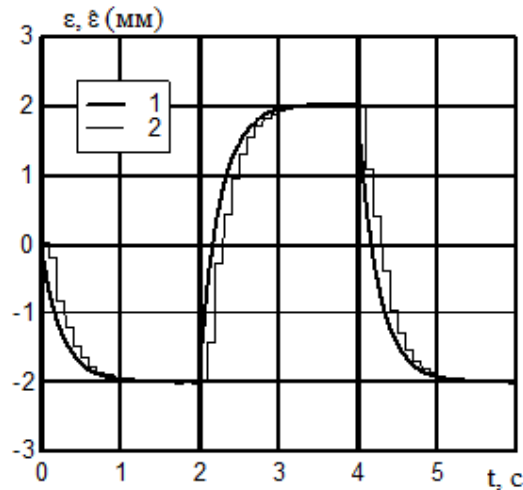


Рис. 4. Оцінювання експоненційно-змінюваного відхилення електрода

Далі було проведено дослідження параметричної чутливості нейромережного оцінювача відхилення електрода від лінії стику зварюваних деталей (рис. 5-6). Крутизна характеристики швидкості плавлення електрода за струмом зварювання – параметр  $M$ , на практиці може істотно змінюватися залежно від режиму зварювання. Відповідно, в обернено пропорційній залежності буде змінюватися стала часу зварювального кола  $T_w$ .

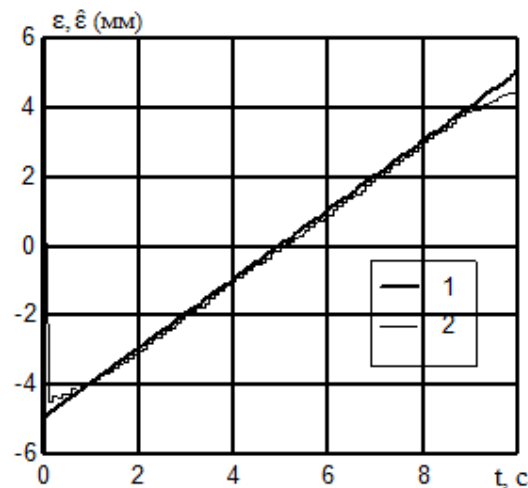


Рис. 5. Оцінювання лінійно-змінюваного відхилення електрода при  $M^*=M \times 3$

На рис. 5 показано процес оцінювання при використанні у виразах (2)-(4) втричі більшого заданого значення  $M^*$  параметра  $M$  від його номінального значення, а на рис. 6 наведено процес оцінювання при застосуванні втричі меншого  $M^*$  ніж  $M$ , де крива 1 – це  $\varepsilon(t)$ , а крива 2 –  $\hat{\varepsilon}(t)$ .

Аналіз результатів моделювання, показаних на рис. 3-6, засвідчує наступне. По-перше, побудований нейромережний оцінювач забезпечує досить високу точність оцінювання відхилення електрода від лінії стику при зміні цього відхилення за різними функціональними залежностями та в різних межах. По-друге, нейромережний оцінювач відхилення електрода від лінії стику має цінну властивість параметричної робастності, що важливо для його практичного застосування.

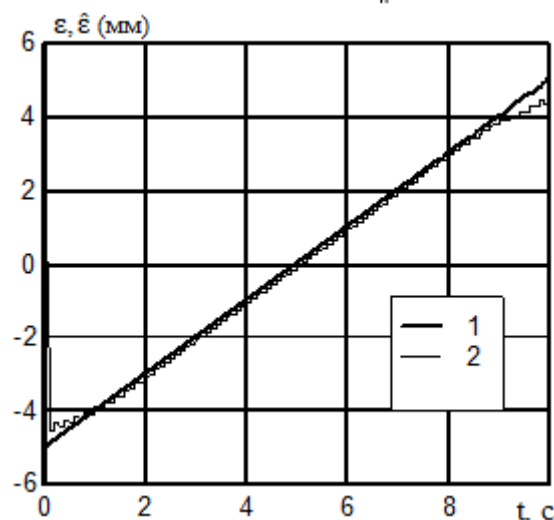


Рис. 6. Оцінювання лінійно-змінюваного відхилення електрода при  $M^*=M/3$

#### Висновки

Для побудови оцінювача положення електрода відносно лінії з'єднання деталей в автоматичному та роботизованому зварюванні із коливаннями дуги застосована двошарова нейронна мережа прямого передавання сигналу з архітектурою типу 20-13-2. Нейромережний оцінювач, виходячи із сигналу зварювального струму, двічі за період коливань дуги формує оцінку відносного положення електрода. За допомогою математичного моделювання показано, що процеси оцінювання характеризуються достатньо високою точністю. Підтверджено, що отримувана оцінка положення електрода відносно лінії стику зварюваних деталей є робастною до змін параметрів зварювального контуру.

#### Список використаної літератури

1. Pires J. N., Loureiro A., Böllmsjö G. *Welding Robots*, Springer-Verlag, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/1-84628-191-1>.
2. Lin L., Bingqiang L., Yanbiao Z. Study on seam tracking system based on stripe type laser sensor and welding robot. *Chin J Lasers*, 42, 5, 2015, pp. 1-8.
3. Pryymak B., Korol S., Ostroverkhov M. Design of a digital following system of welding robot with a visual sensor. *Proc. of the IEEE 19<sup>th</sup> Intern. Conf. on Smart Technologies "EUROCON-2021"*, Lviv, Ukraine, July 6–8, 2021, pp. 66-70. DOI: [10.1109/eurocon52738.2021.9535643](https://doi.org/10.1109/eurocon52738.2021.9535643).
4. Приймак Б.І. Синтез та дослідження алгоритму керування ланкою зварювального робота з органом технічного зору. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, № 4 (83), 2022. С. 29-36. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.4.3>
5. W. Huang and R. Kovacevic, "Development of a real-time laser-based machine vision system to monitor and control welding processes", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 63, no. 1-4, 2012, pp. 235-248.
6. Yang L., Liu Y., Peng J. Advances techniques of the structured light sensing in intelligent welding robots: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 110. no. 3, 2020, pp.1027-1046. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05524-2>
7. Цибулькін Г.А. Дугові сенсорні системи для зварювальних роботів, Сталь, Київ, 2011, 145 с.
8. Singh, P. K., Patel, D., Prasad, S. B. *Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welded joints. Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 9(35), 2016, pp. 1–6. DOI: [doi: 10.17485/ijst/2016/v9i35/92846](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i35/92846).
9. Luo, Y., Zhang, Z.L., Zhou, C.F. et al. Effect of oscillation parameters of narrow groove MAG welding on weld formation. *J. Hebei Univ. Sci. Technol.*, 38, 6. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13095519>.
10. Цибулькін Г.А. Адаптивне керування у дуговому зварюванні, Сталь, Київ, 2014, 171 с.
11. Pryymak B., Zhelinskyi M., Ostroverkhov M., Khalimovskyy O. Neural network based estimator of the electrode deviation in robotic welding with arc oscillations. *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 425-432. Режим доступу: <https://ceur-ws.org/Vol-3628/short16.pdf>

## References

1. Pires, J. N., Loureiro, A. Bölmsjö, G. (2006) *Welding Robots*, Springer-Verlag. DOI: <https://doi.org/10.1007/1-84628-191-1>.
2. Lin, L., Bingqiang, L., Yanbiao, Z. (2015) Study on seam tracking system based on stripe type laser sensor and welding robot. *Chin J Lasers*, vol.42, no.5, pp.1-8.
3. Pryymak, B., Korol, S., Ostroverkhov, M. (2021) 'Design of a digital following system of welding robot with a visual sensor. In *19<sup>th</sup> Intern. Conf. on Smart Technologies "EUROCON"*, pp. 66-70. DOI: 10.1109/eurocon52738.2021.9535643.
4. Pryymak, B. (2022) Synthesis and research of the algorithm for controlling the link of a welding robot with a technical vision organ [Sintez ta doslidzhennya algoritmu keruvannya lankoyu zvaryuvalnogo robota z organom tehnlchnogo zoru]. *Visnik Hersonskogo natsionalnogo tehničnogo universitetu*, 4(83), pp. 29-36. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.4.3>
5. Huang, W., Kovacevic, R. (2012) Development of a real-time laser-based machine vision system to monitor and control welding processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 63, no. 1-4, pp. 235-248.
6. Yang, L., Liu, Y., Peng, J. (2020) Advances techniques of the structured light sensing in intelligent welding robots: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 110, no. 3. pp.1027-1046. DOI:10.1007/s00170-020-05524-2.
7. Tsybulkin, G.A. (2011) Arc sensing systems for welding robots [Dugovi sensorni sistemi dlya zvaryuvalnih robotiv]. Stal, Kiyiv, 145 p.
8. Singh, P. K., Patel, D., Prasad, S. B. (2016). *Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welded joints*. *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9(35), pp. 1-6, DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i35/92846.
9. Luo, Y., Zhang, Z.L., Zhou, C.F. et al. (2017) Effect of oscillation parameters of narrow groove MAG welding on weld formation. *J. Hebei Univ. Sci. Technol.*, 38, 6. DOI : <https://doi.org/10.3390/app13095519>.
10. Tsybulkin, G.A. (2014) Adaptive control in arc welding [Adaptivne keruvannya u dugovomu zvaryuvanni], Stal, Kyiv, 171 p.
11. Pryymak, B., Zhelinskyi, M., Ostroverkhov, M., Khalimovskyy, O. (2023) Neural network based estimator of the electrode deviation in robotic welding with arc oscillations. *CEUR Workshop Proceedings*, 3628, pp. 425-432. <https://ceur-ws.org/Vol-3628/short16.pdf>

**I. В. ПРОХОРЕНКО**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту  
Національний авіаційний університет  
ORCID: 0000-0002-3397-662X

**Н. А. ТИМОШЕНКО**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту  
Національний авіаційний університет  
ORCID: 0000-0002-9713-7876

**Н. П. СОКОЛОВА**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту  
Національний авіаційний університет  
ORCID: 0000-0001-5190-2934

**Т. А. МАЗУР**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту  
Національний авіаційний університет  
ORCID: 0000-0001-8378-6763

## САМОВІДНОВЛЕННЯ КЕРУВАЛЬНОСТІ ЛІТАКА, ЩО ОТРИМАЛО ПОШКОДЖЕННЯ ЗОВНІШНІХ ОБВОДІВ У ПОЛЬОТІ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЇХ ТЕМПЕРАТУРНИЙ СТАН

*У роботі розглядається завдання, побудови системи керування польотом літака, що реконфігурується та забезпечує відновлення його керованості в умовах пошкодження зовнішніх обводів за рахунок використання інформації про нев'язку температурних полів пошкодженої і неушкодженої частини обшивки повітряного судна (ПС). Сучасна авіаційна транспортна система (АТС) активно нарощує свою частку у внутрішньому та міжнародному пасажиро-товарообігу. Цьому сприяє бурхливий розвиток нано-біо-інформаційно-когнітивних технологій (NBIC), підвищення попиту на авіаційні транспортні перевезення, швидкість та надійність доставки вантажів та пасажирів у райони недоступні іншим видам транспорту. Однак, поряд з цим авіаційні транспортні засоби схильні до впливу випадкових подій, що викликають особливі ситуації (ОС) в польоті. Однією з таких подій є випадкові зіткнення ПС з механічними, біологічними або електричними формуваннями. Ці зіткнення із зовнішніми обводами частин ПС призводять до миттєвої зміни аеродинамічної рівноваги літака в повітрі. При виникненні зазначених подій екіпажу (командирів) ПС потрібне миттєве ухвалення рішення про дії з паруванням їх наслідків.*

*Відомо, що інтелектуальний рівень людини слабо корелюється з обсягом його мозку. Нейрофізіологічними дослідженнями, проведеними Джоном Піланом Хейнсом, доведено, що активність мозку, наприклад, при контролі дій пальців, виявляється ще до того, як їхній власник збирається ними поворушити. Проміжок часу такого попередження може досягати від 300 мілісекунд до 10 секунд [8]. Це означає, що вибір та дію командира повітряного судна (КПС) обумовлені не розумом (самосвідомістю та інтелектом), а мозком (біологічною масою). Звідси можна припустити, що модель дії КПС, що має великий попередній досвід і практичні навички, формується в мозку заздалегідь, а в критичній ситуації в умовах крайнього дефіциту часу, випереджаючи розум, змушує його діяти по моделі, що заздалегідь склалася, така модель не завжди відповідає реально сформованій у польоті ситуації. Враховуючи вкрай високу швидкоплинність (1,5-2 секунди) розвитку аварійної ситуації та переходу її в катастрофічну можна стверджувати, що прийняти усвідомлене рішення в такій ситуації КПС не встигає. З наведених факторів випливає, що в у разі отримання у повітрі раптових ушкоджень зовнішніх обводів частин літака внаслідок зіткнення з механічними, біологічними чи електричними формуваннями, які призводять до миттєвим змінам рівноваги зусиль і моментів, тобто, до втрати стійкості і керованості, їх відновлення можливе тільки за рахунок системи автоматичного управління (САУ), що реконфігурується, що володіє незрівнянно меншим запізненням. Під реконфігурацією управління літаком розумітимемо: параметричну реконфігурацію, структурну реконфігурацію, реконфігурацію аеродинамічних рухомих поверхонь, реконфігурацію завдання на політ.*

**Ключові слова:** повітряне судно, авіаційна транспортна система, пошкодження обшивки літака, зовнішні обводи літака, реконфігурація.

I. V. PROKHORENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation and Energy Management  
National Aviation University  
ORCID: 0000-0002-3397-662X

N. A. TYMOSHENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation and Energy Management  
National Aviation University  
ORCID: 0000-0002-9713-7876

N. P. SOKOLOVA

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Automation and Energy Management  
National Aviation University  
ORCID: 0000-0001-5190-2934

T. A. MASURIA

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Automation and Energy Management  
National Aviation University  
ORCID: 0000-0001-8378-6763

#### SELF-UPGRADING OF LITAK'S KERUVALITY, WHICH REMOVED THE DEFENSE OF THE EXTERNAL CIRCULATIONS OF POLYOTI BASED ON INFORMATION ABOUT THEIR TEMPERATURE STATION

*The robot looks at the problem, prompting the keratin system to be reconfigured and ensure the renewal of keratinity in the minds of the damaged outer circuits for the exchange of vicoristan information about the inconsistency of temperature fields of damaged and unkempt parts of the skin of a wind-damaged ship. The current aviation transport system (ATS) is actively increasing its share of domestic and international passenger and goods traffic. Which benefits from the rapid development of nano-bio-information-cognitive technologies (NBIC), advances in air transport, the speed and reliability of delivery of goods and passengers to areas otherwise inaccessible in transport. However, in some cases, aviation transport means are slow to the influx of rainfall conditions, which lead to special situations in the field. One of these approaches is the drop-in process of wind vessels with mechanical, biological or electrical moldings. These connections from the outer contours of the PS parts lead to a miter change of the aerodynamic level of the airfoil in the wind. In case of guilty assignments to the crew (commander) of the PS, a meeting is required to praise the decision about the actions of the steamers of their heirs.*

*It appears that the intellectual fervor of a person is weakly correlated with the function of his brain. Neurophysiological studies conducted by John Plann Haynes have shown that brain activity, for example, when controlling the actions of the fingers, is detected even before its owner is about to destroy them. The hour of such advance can range from 300 milliseconds to 10 seconds [8]. This means that the choice of the commander of a military ship (KPS) is not determined by the mind (self-knowledge and intelligence), but by the brain (biological mass). It can be assumed that the model of the KPS, which has great advanced knowledge and practical skills, is formed in the brain behind, and in a critical situation in the minds of extreme shortage of time, anticipating the mind, it is Based on the model that was formed a long time ago, such a model will not indicates the actual formation of the situation. In the event of a high speed (1.5-2 seconds), the development of an emergency situation and its transition to a catastrophic situation can be confirmed so that an informed decision in such a situation is not faced by the CPS. From the influence of these factors, it is clear that the outer contours of the parts of the flytak are at times cut off from the surface of the rapt ears, which are subsequently connected to mechanical, biological and electrical moldings, which lead to mitigation We change the same forces and moments, so that, until the durability and hardness are lost, their updates are possible. for the automatic control system (ACS), which is reconfigured, resulting in significantly less damage. When reconfiguring the flight control, it is understandable: parametric reconfiguration, structural reconfiguration, reconfiguration of aerodynamic surfaces, reconfiguration of the flight instructions.*

**Key words:** *damaged ship, aviation transport system, damage to the aircraft skin, external contours of the aircraft, reconfiguration.*

### Постановка проблеми

Розглядається можливість створення САУ, здатної діагностувати стан зовнішніх обводів частин літака за температурними полями пошкоджених та неушкоджених ділянок обшивки. Різниця температур цих ділянок містить інформацію про момент, місце, ступінь та форму пошкодження і є сигналом для реконфігурації управління літаком, адаптуючи таким чином САУ до ОС, що склалася в польоті. У той же час недостатньо дослідженими є питання безперервного моніторингу стану зовнішніх обводів літака, питання адаптації управління польотом літака до раптово виниклої польотної ситуації, а також дій у таких ситуаціях його екіпажу.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз стану безпеки польотів (БП) за останні десять років потребує автоматизації процесів запобіжного діагностування можливих раптових ушкоджень зовнішніх обводів ПС, подальшого їх розвитку та переростання аварійної ситуації в польоті в катастрофічну. Цього можна досягти введенням в автоматичне керування польотом адаптації до ситуації, що склалася в польоті, на основі використання результатів діагностування стану обводів літака. Робота [1] присвячена розробці концепції системи управління польотом, що самовідновлюється, в якій після пошкодження виконавчого пристрою або керма відбувається реконфігурація закону управління для відновлення стійкості і керованості ПС. У патенті [2] запропоновано, сконструйовано та випробувано датчик різниці температур пошкодженої та неушкодженої частин обшивки літака, що дозволяє виявляти момент, місце, ступінь та форму пошкодження. Монографія [3] присвячена розробці системних методів відновлення живучості літальних апаратів у ОС у польоті. Дано аналіз факторів, що викликають втрату живучості ПС у польоті. Запропоновано методи та алгоритми оцінювання та ідентифікації стану ПС та його систем. У роботі [4] розглядається можливість придушення флатера крил ЛА за рахунок застосування адаптивного регулятора, синтезованого при невимірюваних збуреннях і немодельованих динаміках. Обґрунтовано умови забезпечення відстеження виходом об'єкта вищого порядку виходу моделі. У [5] роботі розглядається завдання побудови системи управління польотом (СУП) літака, що самовідновлюється, що забезпечує задану ефективність виконання завдання польоту в умовах відмови органів управління. Робота [6] присвячена розробці та льотним випробуванням стратегії зміни конфігурації ЛА, що забезпечує живучість літака за рахунок своєчасної ізоляції несправності або пошкодження у повітрі. У роботі [7] досліджується питання можливості парирування наслідків раптових зіткнень літака із сторонніми об'єктами в польоті за рахунок застосування методів адаптації управління до раптово виниклої ОС. У матеріалах [8] наводяться результати нейрофізіологічних досліджень, проведених університеті Каліфорнії (США). Встановлено, що активність мозку, наприклад, при контролі дій пальців, виявляється ще до того, як їхній власник збирається ними поворухнути.

### Формулювання мети дослідження

При розробці реконфігурованої СУПС, здатної відновлювати стійкість і керованість ПС в умовах раптового пошкодження зовнішніх обводів частин його планера, критеріїв збереження необхідних пілотажних властивостей стосовно можливих конструктивних пошкоджень і вирішення інших завдань динаміки польоту в умовах, що склалися, потрібен новий метод. У цій роботі пропонується один із можливих варіантів вирішення цього питання. Таким чином, метою дослідження є розробка на основі теплової інформаційної системи, про стан зовнішніх обводів частин планера, що реконфігурується, здатної відновлювати стійкість і керованість ПС в ОС у польоті.

Для досягнення поставленої мети потрібно з'ясувати такі питання:

- обґрунтувати та побудувати системну структурну модель взаємопов'язаних подій, що формують ОС у польоті та алгоритм його нейтралізації або запобігання переходу аварійної ситуації в катастрофічну;
- дослідити можливість реєстрації моменту, місця, ступеня, форми ушкодження різницею температурних полів пошкодженої і непошкодженої частин конструкції та придатної цієї інформації для реконфігурації управління польотом;
- розробити математичну модель руху ПС за умов раптового пошкодження його зовнішніх обводів;
- розробити структурну схему реконфігурованого управління польотом ПС в спеціальних ситуаціях.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Одним із найважливіших факторів конкурентноздатного розвитку авіаційних перевезень є безпека польотів (БП). Аналіз [1,3,4,5,8] публікацій та результатів розслідувань авіаційних подій, що відбулися за останні десять років, вказують на гостру необхідність перегляду концепції забезпечення БП, що враховує досягнення в останні роки науки і техніки (NBIC–технології), зростаючу інтенсивність польотів та щільність розподілу ПС на маршрутах польоту, зниження рівня підготовки пілотів та завищений рівень ілюзій польоту. Очевидно, для цього необхідно системно зв'язати і замкнути всі процеси, що розвивають у повітрі в єдиний замкнений контур, тобто, провести агрегацію всіх процесів, що супроводжують розвиток ОС. Для цього в запропонованій роботі обґрунтовано та розроблено наступну концептуальну модель управління агрегованою системою «ПС–екіпаж–АРСУ–зовнішнє середовище–особлива ситуація».

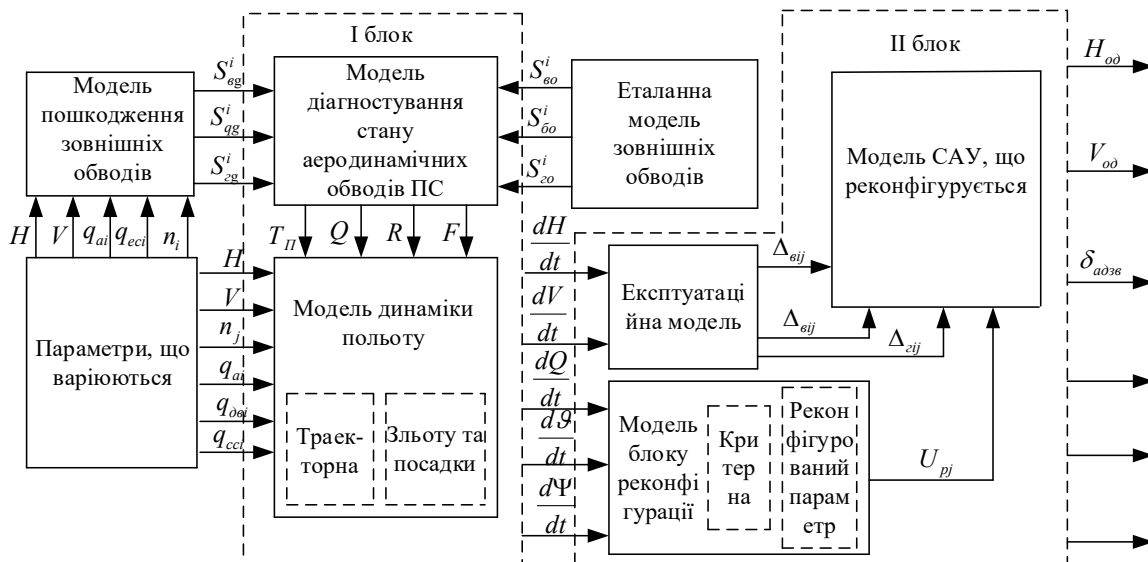
Запропонована концепція відновлення збереження стійкості керованості АС у ситуації, що склалася в польоті передбачає:

- застосування інноваційних технологій при розробці теорії, принципів і методів адаптації управління до ОС, що раптово виникла в польоті;
- розвиток інтелектуальних методів діагностики стану аеродинамічних обводів елементів планера та керуючих поверхонь;
- пошук шляхів реконфігурації управління польотом ПС, здатної відновити (зберегти) його стійкість та керованість в умовах раптового пошкодження (руйнування) аеродинамічної поверхні планера та органів управління;
- цілеспрямоване осмислення процесів, що відбуваються в аварійних ситуаціях у польоті.

Математичне моделювання польоту ПС в умовах ОС. Математичне моделювання із застосуванням NBIC-технологій набуло широкого розвитку на практиці вирішення наукових завдань. Воно, залежно від дослідницьких завдань, що полягають, вимагає побудови математичної моделі (ММ) різного ступеня повноти, складності та універсальності. Математичне моделювання поведінки ПС, який отримав різні пошкодження аеродинамічних обводів його частин, дозволяє досліджувати екстремальні ситуації, які не можуть бути реалізовані в льотних випробуваннях за умов безпеки та збереження авіаційної техніки або через вкрай різку їх повторюваність у природних умовах.

У запропонованих дослідженнях воно дозволило імітувати будь-які можливі ушкодження аеродинамічних обводів, спричинених різною природою раптовими зовнішніми впливами в польоті, а також помилки пілотування.

Для цього була побудована ММ (Рис. 1) адекватність якої реальному стану зовнішніх обводів ПС і польотної ситуації, викликаній їх пошкодженнями визначається повнотою обліку аеродинамічних індивідуальних особливостей, тягові характеристики силової установки, режимів роботи автоматизованої системи управління, що реконфігурується, чіткого і точного моніторингу аеродинамічних властивостей.



**Рис. 1. Математична модель особливої ситуації у польоті:  $H, V$  – вагово-швидкісні параметри;  $\sigma_{ij}$  – відхилення аеродинамічної системи стабілізації, двигунів органів управління відповідних тому пошкодженню;  $n_j$  – ушкодження  $j$ -того характеру;  $T_{II}, Q, R, F$  – момент, місце, ступінь, характер пошкодження**

Робота зі створення та впровадження у практику досліджень ММ є необхідною умовою прискорення вирішення питань розробки методів та методик безперервного моніторингу стану зовнішніх обводів у польоті, побудови на цій основі діагностичних комплексів, здатних реєструвати момент, місце, ступінь та форму пошкоджень та передачі цієї інформації пілотам (на СОУ), а також в САУ, що реконфігурується, для миттєвої адаптації до польотної ситуації, що склалася, розробки АРСУ, що відповідають вимогам ІСАО і НЛГО.

Стрімкий розвиток ІТ-технологій дозволив вирішувати динамічні завдання у сфері твердотільного моделювання. Серед програмних пакетів, що використовуються для моделювання об'єктів, системи процесів можуть бути використані для чисельного вирішення задач зіткнення двох різних тіл, можна виділити Ansys, Solidworks, PAM-CRASH, Abacus, LS-DYNA та ін. Час симуляції залежить від потужності ЕОМ. Тому чим складніше ММ, тим більше часу потрібно для отримання результатів моделювання ситуації, що склалася в польоті. Знання підходів до моделювання та моделей об'єктів та пошкоджень їх аеродинамічних обводів дозволить вибрати для проведення досліджень оптимальний метод та повноту ММ виходячи з вище наведених умов або розробити нову модель, виходячи з вимог, початкових та граничних умов.

### Модель діагностування стану аеродинамічних обводів ПС

Одним із основних напрямків у запобіганні авіаційних подій, викликаних зіткненням з механічними, біологічними або електричними утвореннями є створення адаптивних САУ, здатних парировати наслідки цих зіткнень. Забезпечення необхідного рівня адаптації управління є важливою проблемою як при проектуванні систем управління, що реконфігуруються, і при їх льотній експлуатації. Проектування реконфігурованих СУ польотом ПС в екстремальних умовах вимагає в першу чергу вирішення завдань діагностування стану аеродинамічних обводів його частин.

Діяльність досліджувалися основні методи реєстрації пошкоджень аеродинамічних обводів літака.

1. Методи розрахункових сіток (метод Лагранжа – Ейлера). Усі фізичні величини для контрольованої точки обводів можуть бути виражені як функції початкових координат [12]:  $X = x(x_0, y_0, z_0, t); Y = y(x_0, y_0, z_0, t); Z = z$ .

Недоліки методу Лагранжа:

- значна деформація осередків сітки може спричинити зменшення часових проміжків та збільшення помилок обчислення фізичних величин;
- ускладнення обліку ковзної взаємодії твердих тіл.

$$X = x(x, y, z, t); Y = y(x, y, z, t); Z = z(x, y, z, t).$$

Недоліки методу Ейлера:

- складність відстеження еволюції фізичних процесів;
- великі витрати часу на обчислення за цикл;
- складність точного визначення меж об'єкта.

Недоліки методу мимовільних моделей Лагранжа-Ейлера:

- необхідність ставити констант руху сітки;
- значна деформація осередків сітки може спричинити виродження сітки та зростання числових помилок моделювання;
- малі осередки вимагають зниження тимчасового кроку при обчисленні.

2. Метод діагностування на основі реєстрації змін аеродинамічних сил та моментів. Суть методу полягає в тому, що пошкодження аеродинамічних обводів ПС викликають зміну розподілених аеродинамічних сил і моментів, і, як наслідок, до порушення центрування ПС (9). З наведеного аналізу найбільш поширених методів діагностування стану аеродинамічних обводів ПС у польоті встановлено, що вони мають істотні недоліки. Крім того, методи діагностування на основі зміни аеродинамічних сил і моментів оптико-електронної та емісійної слабо піддаються удосконаленню до апаратної реалізації. Тому виникає потреба у розробці нових методів, або адаптації існуючих методів, придатних для використання безпосередньо в польоті. Таким методом може стати метод реєстрації температурної різниці між пошкодженими та неушкодженими ділянками зовнішніх обводів. Проведемо більш детальний аналіз фізичних процесів, що супроводжують нагрівання аеродинамічних обводів у польоті. Аеродинамічний нагрівання виникає в результаті тертя, а також через адіабатичний стиск повітря. Між поверхнею зовнішніх обводів та прикордонним шаром відбувається вимушений конвективний теплообмін, що супроводжується теплопровідністю:

- для теплообміну, що встановився:

$$T = f(x, y, z, \tau) = f(x, y, z, 0) \quad (1)$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} = 0, \quad (2)$$

- для теплообміну, що не встановився:

$$T = f(x', y', z', \tau) = f(x', y', z'); : (x', y', z') \in F; \quad (3)$$

$$\frac{dT}{d\tau} = \alpha \left( \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right), \quad (4)$$

де:  $x, y, z$  – декартові координатні осі;  $T$  – температура повітря на зовнішній межі прикордонного шару;  $t, \tau$  – час.

Розподіл температур у прикордонному шарі безпосередньо поблизу зовнішніх обводів є нерівномірними. Так, найбільш висока температура встановлюється на передніх до потоку, що набігає  $q = \rho v^2 / 2$  ділянках аеродинамічних обводів, де цей потік схильний до найбільшого стиснення, тобто. на передніх кромках крила та хвостового оперення, а також обтічниках ПС.

Для визначення температурного поля потоку, що набігає, скористаємося системою рівнянь:

- рівняння руху газу в декартових координатах (рівняння Новье-Стокса):



$$\rho \frac{D\omega_x}{D\tau} = \frac{-d\rho}{dx} + \mu \left( \frac{d^2\omega_y}{dx^2} + \frac{d^2\omega_y}{dy^2} + \frac{d^2\omega_y}{dz^2} \right) + \rho q_x; \quad \rho \frac{D\omega_y}{D\tau} = \frac{-d\rho}{dy} + \mu \left( \frac{d^2\omega_x}{dx^2} + \frac{d^2\omega_x}{dy^2} + \frac{d^2\omega_x}{dz^2} \right) + \rho q_y;$$

$$\rho \frac{D\omega_z}{D\tau} = \frac{-d\rho}{dz} + \mu \left( \frac{d^2\omega_z}{dx^2} + \frac{d^2\omega_z}{dy^2} + \frac{d^2\omega_z}{dz^2} \right) + \rho q_z, \quad (5)$$

– рівняння енергії:

$$\rho C_p \frac{DT}{D\tau} = \frac{d}{dx} \left( \gamma \frac{dy}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left( \gamma \frac{dT}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left( \gamma \frac{dT}{dz} \right) - \rho(\nabla\omega) + \mu\Phi_\omega \quad (6)$$

– рівняння нерозривності:

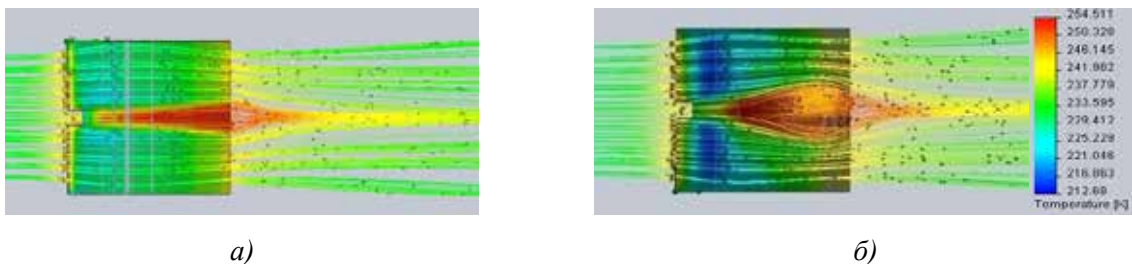
$$\frac{d\rho}{d\tau} + \text{div}(\rho\vartheta) = 0$$

Зробивши припущення, що аеродинамічна поверхня ПС теплоізольована, у внутрішніх джерелах тепло відсутня, тобто  $q_{\text{вн}} = 0$  запишемо повну систему диференціальних рівнянь двовимірного прикордонного шару в газі, що спалюється.

$$\rho u \frac{du}{dx} + \rho\vartheta \frac{dy}{dy} = \frac{-d\rho}{dx} + \frac{d}{dy} \left( \mu \frac{du}{dy} \right); \quad \frac{d(\rho u)}{dx} + \frac{d(\rho u)}{dy} = 0; \quad \rho u C_p \frac{dT}{dx} + \rho\vartheta_p \frac{dT}{dy} = \frac{d}{dy} \left( \gamma \frac{dy}{dx} \right) + U \frac{d\rho}{dx} + \mu \left( \frac{du}{dy} \right) \quad (8)$$

У виразах (5-8) прийнято такі позначення:  $U, x, \omega$  – проекції вектора швидкості на координатні осі;  $q_i$  – проекції вектора вільного падіння;  $C_p, \rho, \gamma, \mu$  – відповідно теплопровідність, щільність, тиск, в'язкість.

Більшість складнощів із сторонніми об'єктами у польоті відбувається на етапах зльоту та посадки, тобто, у щільних шарах атмосфери. Характер пошкоджень аеродинамічної поверхні ПС залежить від маси стороннього об'єкта, швидкості зустрічі в момент зіткнення та кути зустрічі з перешкодою. У зв'язку з цим доцільно розглянути нестационарний режим теплопередачі між прикордонним шаром та обшивкою зовнішніх обводів (Рис. 2).



**Рис. 2. Вплив характеристик пошкодження на температурний і градієнт верхньої, нижньої та поперечної перерізів ділянок обводів**

Загальна кількість теплоти  $Q_\Sigma$ , витраченого на нагрівання зовнішніх обводів є сумою кількості теплоти  $dQ_T$  від прикордонного шару, що виникає в результаті турбулізації кількості теплоти  $Q_{y\delta}$ , що виділяється внаслідок безпосередньо удару:

$$dQ_\Sigma = dQ_T + dQ_{y\delta} / t' + 0 \quad (9)$$

Зіткнення ПС із сторонніми об'єктами в польоті супроводжується перетворенням певної частини кінетичної енергії руху на теплову, тобто, разовим виділенням деякої кількості теплоти на момент удару. Частина виділеного тепла розсіюється і витрачається підвищення температур прикордонного шару, інша частина – підвищення температури аеродинамічних обводів:

$$E_{ac} = \frac{m_{ac} V^2}{2}; \quad E_{y\delta} = \frac{m_{co} V_{co}^2}{2}; \quad E_{ac} + E_{co} = E_\Sigma + Q_{y\delta} \quad (10)$$

де:  $m_{ac}, m_{co}$  – відповідно маси ПС та стороннього об'єкта (формування);  $V_{ac}, V_{co}$  – відповідно повні вектори швидкості ПС та стороннього об'єкта (формування);  $E_{ac}, E_{co}$  – відповідно кінетична енергія та удару;  $Q_{y\delta}$  – кількість теплоти, в яку перетворилася частина кінетичної енергії в результаті удару. Отже, використовуючи співвідношення (10) можна визначити кількість теплоти, що виділяється в результаті удару:

$$Q_{y\delta} = \frac{m_{ac} m_{co}}{2(m_{ac} + m_{co})} (V_{ac} - V_{co}). \tag{11}$$

Залежність кількості теплоти, яку перейшла кінетична енергія удару, витрачена на нагрівання, від температури утворюється за час  $t_{y\delta}$  виразимо так:

$$\frac{dQ_{y\delta}}{dt_{y\delta}} = C_{co} m_{co} \frac{dT_{y\delta}}{dt}, \tag{12}$$

де  $C_{co}$  – питома теплоємність стороннього об'єкта (предмета).

Отже зміна температури аеродинамічних об'єктів внаслідок зіткнення за час  $t_{y\delta}$

$$\frac{dQ_{y\delta}}{dt_{y\delta}} = \frac{m_{ac}}{2C_{co}}. \tag{13}$$

Крім того, ушкодження найчастіше викликають зміну геометричної форми аеродинамічних обводів ПС (Рис. 3) в результаті чого відбувається формування нового прикордонного шару, відмінного від прикордонного шару при обтіканні неушкоджених зовнішніх обводів.

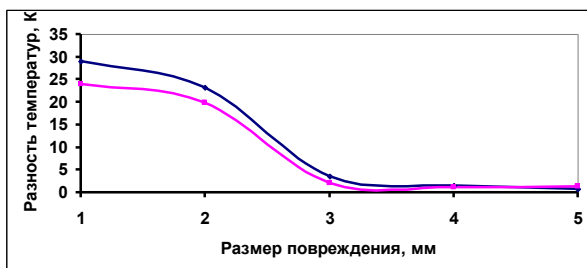


**Рис. 3. Повреждения внешних обводов самолетов инородными формированиями: а) – обрыв; б) – пробій; в), з) – вм'ятина з розривом**

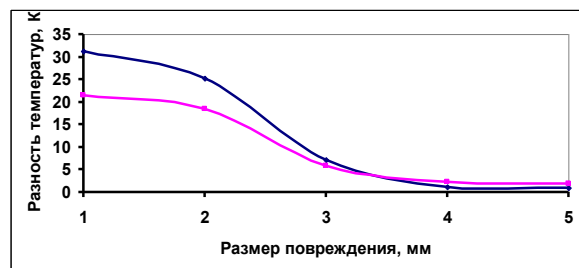
Таким чином, на підставі рівняння енергії (6) та рівняння температури аеродинамічних обводів внаслідок зіткнення за час  $t_{y\delta}$  (13) а також припускаючи, що матеріал обшивки прогривається без запізнення, побудована математична модель теплопередачі:

$$\alpha \left[ \gamma \left( \frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{d^2 T}{dy^2} + \frac{d^2 T}{dz^2} \right) - \rho (\nabla \cdot V) + \mu \Phi' \right] + \frac{m_{ac} m_{co}}{2(m_{ac} + m_{co})} \cdot \frac{(V_{ac} - V_{co})}{dt_{y\delta}} = C_{pob} \rho_{ob} C_{ob} \frac{dT_{ob}}{dt_{ob}} \tag{14}$$

Аналіз моделі (14) дозволяє зробити висновок: зміна кількості теплоти виділеної при зіткненні обшивки ПС з сторонніми предметами (формуваннями) залежить в першу чергу, від прискорення удару та кута зустрічі обшивки ПС з стороннім предметом, а також від питомої теплоємності  $C_{pob}$ , товщини та об'єму матеріалу зовнішніх обводів елементів ПС.



**Рис. 4. Залежність локальної різниці температур між пошкодженою та неушкодженою ділянкою профілю від розміру пошкодження по верхній площині профілю на 1/3 та 2/3 хорди**



**Рис. 5. Залежність локальної різниці температур між пошкодженою та неушкодженою ділянкою профілю від розміру пошкодження по нижній площині профілю на 1/3 та 2/3 хорд**

Проведені математичне та напівнатурне моделювання фрагмента моделі крила Ан-148 без пошкоджень та з пошкодженнями (Рис. 4, 5) підтвердили можливість діагностування стану аеродинамічних поверхонь ПС у польоті.

#### Висновки

У роботі запропоновано математичну модель руху ПС за умов раптового пошкодження його зовнішніх обводів, яка слугує необхідною умовою прискорення вирішення питань розробки методів та методик безперервного моніторингу стану зовнішніх обводів у польоті, побудови на цій основі діагностичних комплексів, здатних реєструвати момент, місце, ступінь та форму пошкоджень та передачі цієї інформації пілотам, а також в САУ, що реконфігурується, для миттєвої адаптації до польотної ситуації, що склалася. Авторами роботи розроблено метод та прилад для діагностування стану зовнішніх обводів у польоті [8]. Отже, розробивши метод і засіб вимірювання різниці температур пошкодженої і непошкодженої ділянки обшивки ПС в польоті можна своєчасно сповістити екіпаж про зіткнення ПС з сторонніми предметами і одночасно передати інформацію в систему автоматизованого управління, що реконфігурується, для адаптації польоту ПС до виниклої особливої ситуації.

#### Список використаної літератури

1. Казак В.М. Діагностичне забезпечення екіпажу повітряного судна інформацією стан його зовнішніх обводів у польоті./ В.Н. Казак, А.Е. Бабенко, І.С. Жарін // Вісник інженерної академії України. Теоретичний та науково-практичний журнал інженерної академії України № 4, 2015р. Київ. С. 33-39.
2. Патент України на корисну модель інформаційної системи діагностування пошкоджень зовнішніх обводів літального апарату у польоті- № 78381 заявл. 14.09.12; опубл. 10.03.2013 № 5, 4. С. / В.М. Казак, Д.О. Шевчук, А.Є Бабенко.
3. Казак В.М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті. / В.М. Казак. К.: Вид-во Нац.авіац.ун-ту «НАУ-друк», 2010. 284с.
4. Adaptive controller for wing flutter with immeasurable excitations and unmodelled dynamics / R. Livneh, G. Slater. *International Journal of Control*, Volume 53, 1991. P.293–309.
5. Fault detection for reconfigurable if light control system. Mayhew, Ellen R. Gleason Daniel AIAA/IEEE 8<sup>th</sup>. Dig, Avionics Syst.Conf., Son Jose, Calif., 1988. Coldct.Tech.Pap. Pt.1, “Washington,D.C., 1988, 48–55.
6. Flight-testing of the self-repairing flight control system using the F-15 highly integrated digital electronic control flight research facility. Stewart J.F., Shuck T.I., “AIAA”, 1990, № 321. P.1–13.
7. Патент України на корисну модель: система автоматичного діагностування аеродинамічного стану зовнішнього обводу літального апарату у польоті. № 62925; заявл. 28.01.11; опубл. 26.09.2011; бюл. № 18–4с. / В.М. Казак, Д.О. Шевчук, А.Є. Бабенко, Р.В. Остафійчук.
8. Stuart A. Gilder, Michael Wack, Leon Kaub, Sophie C. Roud, Nikolai Petersen, Helmut Heinsen, Peter Hillenbrand, Stefan Milz, and Christoph Schmitz/ Distribution of magnetic remanence carriers in the human brain // *Scientific Reports* Volyme, 11363 (2018).
9. Патент України на корисну модель спосіб діагностики зовнішнього обводу літального апарата на основі температурного поля площини літального апарата в польоті. № 73709; заявл. 14.02.12; опубл. 10.10.2012; бюл. № 19. 4 с. / Казак В.Н., Шевчук Д.О., Бабенко А.Е.

#### References

1. Kazak V.M. (2015) Diagnostychnе zabezpechennja ekipazhu povitrjanogho sudna informacijeu stan jogho zovnishnikh obvodiv u poljoti [Visnyk inzhenernoji akademiji Ukrajinjy]. Teoretychnyj ta naukovo-praktychnyj zhurnal inzhenernoji akademiji Ukrajinjy, vol. 4. pp. 33-39.
2. Kazak V.M., Shevchuk D.O., Babenko A.E. (2013) Patent Ukrajinjy na korysnu modelj informacijnoji systemy diaghnostuvannja poshkodzhenj zovnishnikh obvodiv litalnogho aparatu u poljoti [Ukrainian patent for a useful model of an information system for diagnosing damage to the external circuits of an aircraft in flight]. Patent #78381 zajavl. 14.09.12; opubl. 10.03.2013, bjul. 5.
3. Kazak V.M. (2015) *Systemni metody vidnovlennja zhyvuchosti litaljnykh aparativ v osoblyvykh sytuacijakh u poljoti* [System methods of restoring the survivability of aircraft in special situations in flight]. Kyjiv: Nacionaljnij aviacijnyj univertsytet «NAU-druk» (in Ukrainian).
4. Livneh R., Slater G. L. (1991). Adaptive controller for wing flutter with immeasurable excitations and unmodelled dynamics. *International Journal of Control*, vol. 53, no. 2, pp. 293–309. <https://doi.org/10.1080/00207179108953620>
5. Ellen R. Mayhew, Daniel Gleason. (1988). Fault detection and isolation for reconfigurable flight control systems. Proceedings of the Digital Avionics Systems Conference (San Jose, CA, U.S.A., October 17-20, 1988), Coldct.Tech.Pap. Pt.1, “Washington, D.C.”, pp. 48–55. <https://doi.org/10.2514/6.1988-3860>
6. Stewart J., Shuck T. (1990) Flight-testing of the self-repairing flight control system using the F-15 highly integrated digital electronic control flight research facility. Proceedings of the AIAA/SFTE/DGLR/SETP 5th Biannual Flight Test

Conference (Ontario, California, May 21-24, 1990). Edwards, Calif. : National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center, Dryden Flight Research Facility; Springfield, Va.: For sale by the National Technical Information Service, pp. 1-13.

7. Kazak V.M., Shevchuk D.O., Babenko A.Je., Ostafijchuk R.V. (2011) Patent Ukrainy na korysnu modelj: systema avtomatychnogho diagnostuvannja aerodynamichnogho stanu zovnishnjogho obvodu litalnogho aparatu u poljoti [Patent of Ukraine for a utility model: a system of automatic diagnosis of the aerodynamic condition of the external contour of an aircraft in flight] Patent #62925 zajavl. 28.01.11; opubl. 26.09.2011, bjul. 18.

8. Gilder S. A., Wack, M., Kaub, L. et al. (2018). Distribution of magnetic remanence carriers in the human brain. Scientific Reports, 8(1), Article number: 11363 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29766-z>

9. Kazak V.M., Babenko A.Je., Kazak V.A. (2012) Patent Ukrainy na korysnu modelj sposib diagnostyky zovnishnjogho obvodu litalnogho aparata na osnovi temperaturnogho polja ploshhyny litalnogho aparata v poljoti [Patent of Ukraine for utility model method diagnostics external circuit aircraft on based on temperature fields of the plane aircraft in flight]. Patent #73709 Ukrainina, Zajavl. 14.02.12; Opubl. 10.10.2012, Bjul. 19.

С. О. СЕМЕНОВ

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автомобільного транспорту  
Приазовський державний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-5236-4557

Д. Ю. АНДРІЄНКО

магістрант  
Приазовський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0006-9108-4992

## АНАЛІЗ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

*Стаття присвячена огляду наукових досліджень, пов'язаних з питаннями якості транспортування вантажів автомобільним транспортом в Україні. Розглянуто найбільш поширені методи та засоби, що забезпечують управління якістю. Розкрито поняття якості послуги, а також розглянуто класичні та новітні методи управління якістю. При цьому забезпечення якості послуг при транспортуванні вантажів залишається важливим завданням у сучасному світі, оскільки це безпосередньо впливає на безпеку вантажів, задоволеність замовників, збереження довкілля та в цілому на економічний розвиток країни.*

*В ході аналізу виявлена значна кількість напрацювань, а також результатів досліджень, що направлені на опис та вивчення особливостей процесу управління якістю. Підкреслена важливість підходу перевізників вантажів до налагодження процесу управління якістю перевезень, внаслідок якого галузь стикається зі значними викликами і проблемами, які вимагають додаткової уваги та ретельного дослідження. Також звернено увагу на ключові аспекти, які потрібно врахувати при вивченні цього напрямку. Зазначено, що незважаючи на наявність багатьох розробок із застосування логістичного підходу до управління якістю продукції чи транспортних послуг, проблема інтеграції управління якістю та логістики вимагає уточнення теоретичних основ їх реалізації та визначення основних принципів формування.*

*Підкреслена можливість сучасних наукових методів здійснювати контроль якості та задовільно керувати якістю перевезень вантажів, розробляти стратегії для зменшення ризиків та вдосконалювати інфраструктуру для забезпечення надійності та ефективності автомобільних перевезень. Використання цих технічних рішень в автотранспортній галузі дозволить підвищити ефективність процесів управління якістю вантажних перевезень автомобільним транспортом без великих фінансових вкладень та зусиль.*

**Ключові слова:** контроль, якість, аналіз, перевезення, управління, безпека, автомобільний транспорт.

S. O. SEMENOV

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Road Transport  
Pryazovsky State Technical University  
ORCID: 0000-0002-5236-4557

D. YU. ANDRIIENKO

Master  
Pryazovsky State Technical University  
ORCID: 0009-0006-9108-4992

## ANALYSIS THE MEANS OF CONTROLLING AND MANAGING THE QUALITY OF CARGO CARRIAGE BY ROAD TRANSPORT

*The article is devoted to an overview of scientific research on the quality of road freight transport in Ukraine. The most common methods and means of ensuring quality management are considered. The concept of service quality is explained, and classical and modern methods of quality management are also considered. At the same time, ensuring service quality in freight transport remains an important task in the modern world, as it has a direct impact on cargo safety, customer satisfaction, environmental protection and, in general, on the economic development of the country.*

*The analysis revealed a considerable number of developments and research findings aimed at describing and analysing the characteristics of the quality management process. It emphasises the importance of the freight forwarders' approach to implementing the quality management process in transport. As a result, the industry faces major challenges and issues that require additional attention and in-depth research. It also points out important aspects that need to be considered*

when analysing this area. It is pointed out that despite the numerous developments in the application of the logistics approach to the quality management of products or transport services, the problem of integrating quality management and logistics requires clarification of the theoretical basis for its implementation and the definition of the basic principles of its formation.

The possibility of using modern scientific methods to implement quality controls and satisfactorily manage the quality of freight transport, develop risk mitigation strategies and improve infrastructure to ensure the reliability and efficiency of road transport is emphasised. The use of these technical solutions in the automotive industry will make it possible to increase the efficiency of processes for the quality management of road freight transport without major financial outlay.

**Key words:** control, quality, analysis, management, safety, road transport.

### Постановка проблеми

У ринковій економіці центральне місце посідає проблема якості. Виробництво продукції або надання послуг високої якості сприяє досягненню стійкого становища на ринку, підвищенню конкурентоспроможності, забезпеченню задоволеності та лояльності споживачів і співробітників організації, дозволяє знизити витрати, пов'язані з усуненням різноманітних невідповідностей.

Наразі у постачальників послуг на ринку перевезення вантажів в Україні спостерігається зниження фокусу на рівень якості наданих послуг. Така тенденція зумовлена в першу чергу загальною ситуацією в країні, коли на перший план виходить можливість взагалі виконання конкретного перевезення, потім розглядається фактор вартості, а вже на останньому місці – якість наданих перевізником послуг.

Рішення проблеми забезпечення якості пов'язано з розробкою та пошуком нових методів управління, впровадженням та сертифікацією систем якості відповідно до міжнародних стандартів тощо.

Отже, важливість наукових досліджень у галузі управління якістю вантажних перевезень полягає в забезпеченні конкурентоспроможності, надійності, та сталого розвитку сучасного ринку автотранспортних послуг. В цьому контексті вивчення та аналіз цієї проблематики стає надзвичайно актуальним завданням для наукової спільноти та суспільства в цілому.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Детальний огляд наукових праць даного напрямку показав, що існують значна кількість результатів досліджень, що направлені на опис та вивчення особливостей різних методів управління якістю транспортних послуг. Так, Безродна в роботі [1] висвітлила основні проблеми галузі, з урахуванням досвіду реформування економіки України та провідних країн світу, а також узагальнила деякі науково-методологічні розробки провідних вчених з проблем вдосконалення якості. Особливу увагу автор приділяє питанню покращення якості та механізму регулювання процесу управління якістю.

Устенко та ін. в роботі [2] пропонують використання логістичних технологій для забезпечення високого рівня якості транспортних послуг, а саме:

- Застосування термінальних комплексів;
- Раціональна маршрутизація;
- Використання регіональних транспортних організацій;
- Організація перевезень за системою «точно-вчасно».

Разом з цим вченими зазначено, що незважаючи на наявність багатьох розробок із застосування логістичного підходу до управління якістю продукції чи транспортних послуг, проблема інтеграції управління якістю та логістики вимагає уточнення теоретичних основ їх реалізації та визначення основних принципів формування.

В наукових працях вчені під керівництвом Бекетова [3, 4] визнають, що високий рівень якості та ефективності послуг має підтримуватися належним рівнем матеріально-технічного забезпечення, включаючи розвиток системи складських і контейнерних терміналів, сучасного вантажно-розвантажувального обладнання, комп'ютеризованих ІТ та засобів управління. Тому в сучасних умовах трансформації українського суспільства та змін в економічній взаємодії проблеми якості, зумовлені наявністю конкурентного середовища, потребують ретельного дослідження. Саме тому вони пропонують застосувати для управління якістю наданих автотранспортних послуг один із сучасних економіко-математичних методів, а саме функціонально-вартісний аналіз.

На думку Криворучко [5], не зважаючи на стрімкий розвиток логістичного підходу до управління підприємством в цілому, а також окремих його сфер, визнав об'єктивну необхідність обґрунтування теоретичних положень щодо застосування логістичного підходу до управління якістю продукції (послуг) і розробці нових логістико-орієнтованих концепцій забезпечення якості.

Ширяєва в [6] дослідила проблеми в сфері транспортно-експедиторської діяльності в Україні, в тому числі питання, пов'язані з контролем та управлінням якістю послуг. Крім того, науковицею визначена важливість подібних досліджень в умовах воєнного стану в Україні, та звернена увага на існуючі прогалини в дослідженнях.

Аулін та інші (див. [7]) наполягають, що ефективність, якість та надійність є ключовими поняттями при управлінні перевезеннями, оскільки саме за їх допомогою конкретизується мета, яка визначається учасниками транспортного процесу. В той же час зв'язок між ними досить складний, оскільки оцінка ефективності завжди

суб'єктивна, бо залежить від інтересів і точки зору конкретного учасника процесу. При цьому, оцінка якості завжди здійснюється з точки зору споживача транспортних послуг, а надійність є об'єктивною характеристикою. Колективом вчених [7] розроблено методологічний підхід до оцінки ефективності транспортного процесу перевезень в сучасних умовах функціонування транспортних систем.

Таким чином, всі вищезгадані публікації, пов'язані з дослідженнями транспортних систем в питаннях контролю якості перевезень та особливостям управління нею.

#### **Формулювання мети дослідження**

Оскільки академічні джерела надають доволі багато визначень терміну «якість», але далеко не всі вони підходять для використання по відношенню до якості послуг, то на першому етапі було зосереджено увагу на визначенні формулювання значення якості транспортних послуг та суміжних з нею понять, яке було прийнято в цілях даного дослідження.

Відомо, що для успішного керування будь-якими процесами необхідно мати систему координат та вимірів, які дозволять оцінити досягнення, та визначити прогрес або визнати регрес. Саме тому, по-друге, у дослідженні необхідно розглянути найбільш відомі методи контролю та оцінювання якості перевезень, що надаються вантажним автомобільним транспортом, а потім здійснити оцінку їх практичності та доступності використання для будь-якого сегмента ринку вантажних автоперевезень, з урахуванням політичної, економічної та соціальної ситуації в Україні.

Таким чином, основною метою дослідження є аналіз методів управління якістю, саме в контексті якості транспортних послуг вантажних автоперевезень на ринку України, їх порівняння та вивчення можливості використання тих чи інших методів управління якістю перевезень в умовах дійсного підприємства, в залежності від його розміру особливостей функціонування.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Формулювання поняття «якість» та управління нею у відношенні до перевезень, що надаються вантажним автомобільним транспортом почалося ще з часів від Платона та Аристотеля до Гегеля, коли відомі особи намагалися визначити це у своїх творах, як саму сутність речей, їх невід'ємну властивість. Але таке формулювання навряд чи співпадає з думкою про якість пересічного споживача товарів чи послуг.

Згідно Національного стандарту України [8] визначена наступна термінологія:

Якість – ступінь, до якого сукупність власних характеристик задовольняє вимогам;

Вимога – сформульовані потреба чи очікування, загальнозрозумілі чи обов'язкові;

Система управління якістю – система управління для спрямування та контролювання діяльності організації стосовно якості;

Контролювання якості – складова частина управління якістю, зосереджена на виконанні вимог щодо якості.

В деяких джерелах науково-технічної літератури [1, 5, 9] якість характеризується, як задоволення вимог для певної мети через властивості продукції чи послуги і незалежно від того, що ці вимоги можуть бути вищими або нижчими. Таким чином, якість є ступенем задоволення вимог через властивості продукції чи послуги. Також під якість послуги пропонується розуміти сукупність властивостей і характеристик продукції (послуг), рівень якої формується взаємовідносинами всіх зацікавлених сторін і дозволяє задовольняти різні рівні потреб, що постійно змінюються [3]. Якість транспортних послуг – це сукупність характеристик транспортної послуги, що визначають її здатність задовольняти потреби споживачів шляхом належного та ефективного виконання транспортних послуг, а також відповідати встановленим стандартам і нормам, умовам договір або вимоги, які зазвичай висуваються до транспортних послуг.

Отже, стосовно якості перевезень вантажним автомобільним транспортом, в цілях даного дослідження, пропонується прийняти формулювання якості, як рівня споживчих властивостей і надійності послуги, який потрібен ринку (споживачу) та який постачальник послуги здатен забезпечити по прийнятній ціні [2].

Для оцінки рівня якості в сфері перевезень є необхідним враховувати комплекс заходів контролю. Згідно з класифікацією в технічній літературі [1] пропонується застосовувати наступні види технічного контролю на підприємствах, вказані в таблиці 1.

Далі проаналізовані деякі види контролю. Можна відмітити, стосовно організаційної форми контролю найбільш придатним до застосування є статистичний вид, який ґрунтується на засобах математичної статистики, та дозволяє вимірювати та контролювати будь-які величини.

Основним недоліком цього методу є необхідність збору великої кількості даних, що в свою чергу потребує залучення значної кількості персоналу або високовартісних автоматичних засобів виміру. Вибірковий та летучий є доволі простими видами контролю, які можуть застосовуватись до транспортних послуг, але не можуть забезпечити належний рівень контролю якості транспортування.

За характером впливу на перебіг процесу для контролю якості транспортних послуг можуть застосовуватись обидва види. При цьому звісно значно перспективнішим є активний спосіб, який дозволяє вимірювати показники та контролювати якість саме в процесі. В свою чергу він також є більш затратним, бо потребує капіталовкладень на придбання та обслуговування автоматичних приборів та систем контролю.

Таблиця 1

Види технічного контролю [3]

Ознаки класифікації	Основні види контролю
Організаційна форма	Суцільний, вибірковий, статистичний, летучий, інспекційний
Характер операцій	Візуальний; геометричний; лабораторний аналіз; контрольно-здавальні випробування
Стадія процесу	Вхідний, проміжний, вихідний
Вплив на перебіг процесу	Активний, пасивний
Застосовувані засоби контролю	Автоматизований, механізований, ручний
Місце здійснення	Стационарний, змінний

Стосовно засобів контролю застосовуватись можуть як автоматизований, так і ручний види, причому автоматизований є кращим, але водночас організаційно складнішим та дорожчим.

Стационарний метод контролю напряму не використовується для виміру якості. Але він може бути задіяний в ланцюзі отримання даних для застосування статистичного виду контролю, а саме для вимірювання ваги, швидкості та інших величин, які в подальшому приймають участь в розрахунках. Змінний вид має на увазі здійснення контролю якості безпосередньо на робочих місцях самими виконавцями або контролерами, тому він може застосовуватись до транспортних послуг.

Аналіз відомих джерел [2-6, 10-12] вказує на те, що на сьогодні транспортна галузь в цілому задовольняє лише основні потреби населення та економіки в перевезеннях за обсягом, але не за якістю. Сучасний стан транспортної галузі не повною мірою відповідає вимогам ефективної реалізації євроінтеграційного курсу України та інтеграції національної транспортної мережі в Транс'європейську транспортну мережу [13]. Беручи до розгляду питання управління якістю вантажних перевезень автомобільним транспортом в Україні необхідно враховувати специфіку даної підгалузі промисловості. На наш погляд, основна її відмінність від інших напрямлень транспортної галузі в тому, що переважну частину ринку займають малі підприємства з кількістю персоналу до 9 працівників та автомобільним парком від 1 до 5 автотransпортних засобів. Наглядно цю тенденцію демонструє діаграма на рисунку 1.

За інформацією Державної служби статистики України в 2022 році [14] частка малих підприємств (кількість зайнятих працівників до 9 осіб) серед представників напрямку автомобільних вантажних перевезень транспортної галузі становила 96,4%, що напряму вказує на залежність обраних напрямків розвитку суб'єктів господарювання від власних ресурсів та кадрової ситуації всередині компанії. Іншими словами такі підприємства в більшості своїй не можуть собі дозволити масштабні інвестиційні проекти або залучення до роботи представників консалтингових агенцій. Всі вдосконалення у своїй роботі їм потрібно впроваджувати власним силами та за рахунок оборотних коштів.

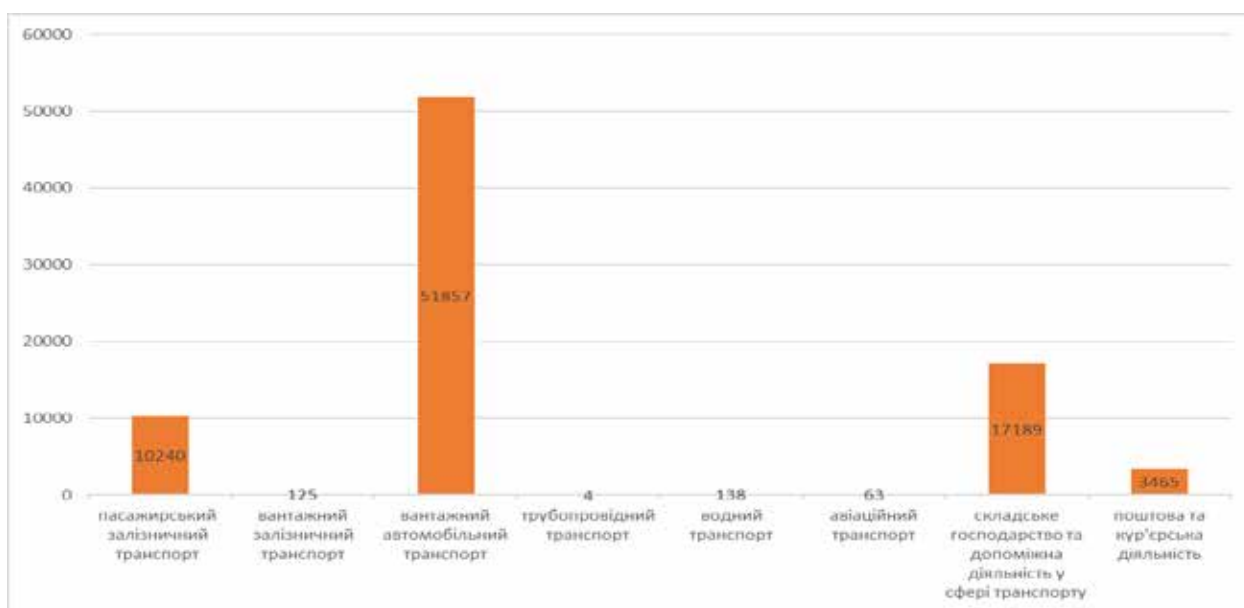
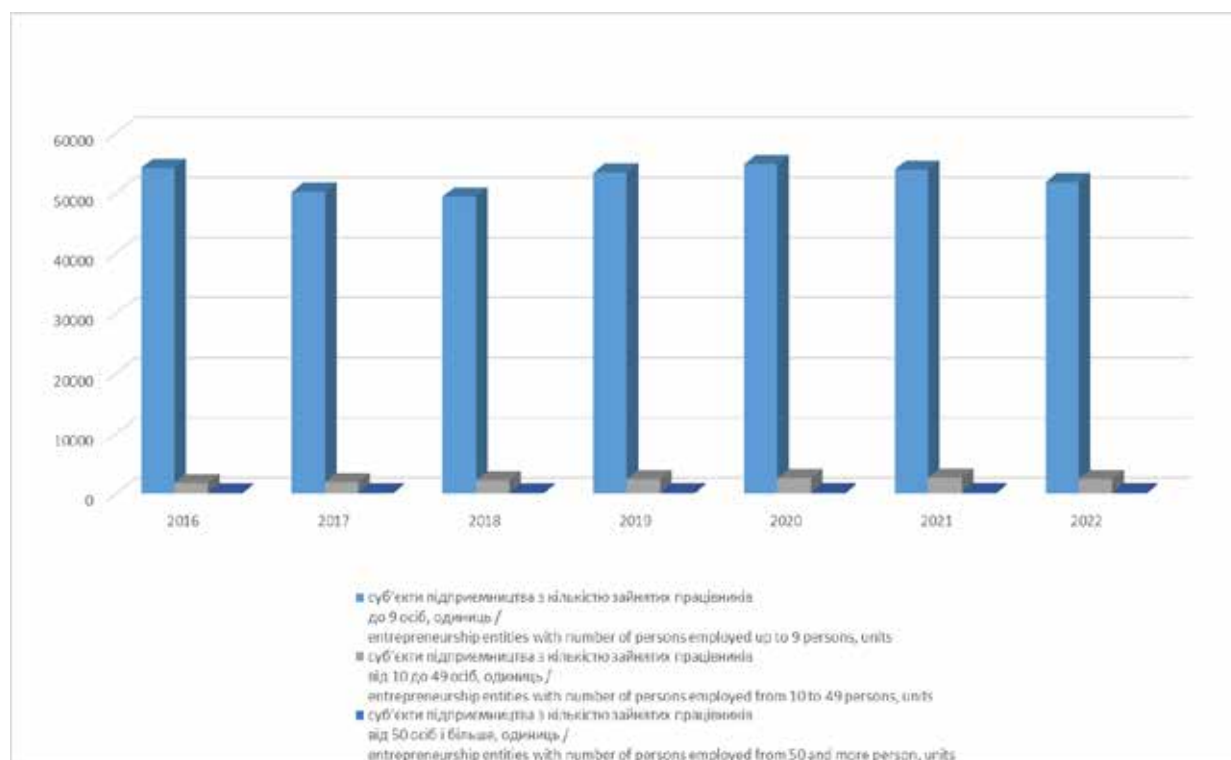


Рис. 1. Кількість діючих суб'єктів господарювання в транспортному секторі економічної діяльності України з кількістю зайнятих працівників до 9 осіб у 2022 році

Джерело: створено авторами на основі статистичних даних [14]



Такий розподіл серед підприємств автомобільних вантажних перевезень залишається практично незмінним протягом останніх років, що добре видно по діаграмі на рисунку 2. Тому в дослідженні основну увагу приділено саме тим технологіям управління якістю, які не потребують високовартісного обладнання та не вимагають залучення до роботи додаткового персоналу.



**Рис. 2. Розподіл ринку вантажних перевезень автомобільним транспорт України, залежно від кількості працівників, за період 2016–2022 рр.**

Джерело: створено авторами на основі статистичних даних [14]

Однією із найбільш визнаних у світі методологій з управління якістю станом на сьогодні залишається «Total Quality Management» (TQM). Відповідно до концепції TQM управління якістю повинно бути одним з першочергових завдань будь-якого підприємства. Українською мовою його назву можна визначити як «тотальне керівництво якістю», а науково-технічна література серед інших надає таке формулювання: TQM – підхід до керівництва організацією, націлений на якість, заснований на участі всіх його членів і направлений замінити досягнення довготривалого успіху шляхом задоволення споживача й можливої вигоди всім членам організації та суспільства [1]. Спектр методів та моделей TQM дуже широкий і різниться в залежності від країни та галузей господарства. Класифікація методології TQM наведена в таблиці 2 нижче.

Звісно, що в межах даного дослідження неможливо здійснити детальний аналіз всіх вищеперелічених методів, та в цьому не має необхідності, бо всі вони досить відомі та широко описані в науково-технічній літературі. Як можна бачити з короткої характеристики в таблиці 2, більшість методів TQM мають між собою доволі багато спільних рис: системна робота, стратегічний підхід, максимальне залучення персоналу. Але при цьому всі перелічені методи відрізняються один від одного наборами інструментів, напрямками застосування та засобами досягнення мети. Далі детально розглянуто тільки ті, які будуть доступними та дієвими для управління якістю вантажних перевезень автомобільним транспортом України.

Однією з найбільш давніх та поширених у світі методик є статистичне управління, більш розвиненими різновидами якого можна вважати концепцію TQC та метод Г. Тагуті. Складність її застосування полягає в тому, що необхідне знання персоналом компанії основ математичної статистики або залучення (хоча б на початковому етапі) профільних спеціалістів/організацій. Разом з тим вони досить доступні, в тому числі для малих підприємств, тому що не вимагають технічного переоснащення, інвестування в інфраструктурні об'єкти та інших капіталовкладень. Наразі в Україні будь-яка автотранспортна організація веде облік операцій та має можливість збирання статистичних даних щодо своєї діяльності. Саме такі дані потрібно брати за основу та застосовувати до них один чи декілька з обраних конкретною компанією інструментів математичної статистики: контрольний листок та карта; діаграми Паретто, причинно-наслідкова чи розсіювання; гістограма; стратифікації; побудова довірчих інтервалів;

регресивний аналіз тощо. Якщо у компанії в певній мірі налагоджено зворотній зв'язок з замовниками послуг, то вона може адаптувати під себе інструменти методів структурування функції якості та будинку якості. Концепція Кайдзен також може знайти своє застосування в управлінні якістю вантажних перевезень. Вона базується на ідеї постійного аналізу та вдосконалення процесів у всіх аспектах діяльності організації та включає в себе залучення всіх рівнів персоналу до ініціативи щодо виявлення і вирішення проблем, спрямованих на покращення продуктивності, якості та зменшенні витрат [15]. Всі запропоновані вище методики поєднують простота в застосуванні та відсутність вагомих навантажень на оборотний капітал підприємства.

Таблиця 2

## Класифікація методів TQM

Класичні методи	Статистичне управління	Комплекс методів статистичного аналізу, спрямований на забезпечення стабільності процесів і зменшення варіабельності
	Цикл PDCA	Концепція постійного циклічного покращення процесів завдяки зменшенню варіацій і виключенню причин порушень стабільності
	Концепція TQC	Системний підхід при якому сфера управління якістю поширюється на всі етапи життєвого циклу продукту або послуги й охоплює всі рівні управлінської ієрархії
	Концепція Дж. Джурана	Концепція щорічного (цикл) підвищення якості орієнтована на довгострокові результати завдяки зосередженості на стратегічних рішеннях та адмініструванні процесів
	Метод Г. Тагучі	При їх застосуванні акцент робиться на підвищенні якості з одночасним зниженням витрат та застосуванням «функції витрат»
Новітні методи	Концепція Кайдзен	Системний підхід, орієнтований на здійснення постійних невеликих кроків з підвищення якості кожним працівником компанії
	Метод структурування функції якості (QFD)	Систематизований шлях вивчення потреб та побажань споживачів через розгортання функцій і операцій із забезпечення якості на кожному етапі
	Концепція Будинку якості (Quality House)	Заснована на використанні комплексу методів та інструментів, орієнтованих на вивчення вимог споживача та перетворення їх у конкретні характеристики продукту
	Методологія «шість сигм»	Стратегічний підхід для вдосконалення бізнесу в цілому засобами контролю та управління якістю, заснований на виключенні браку взагалі
	Методологія Lean+«шість сигм»	Поєднання підходів технології ощадливого виробництва зі статистичним аналізом та контролем процесів

Досвід провідних зарубіжних країн доводить високу ефективність логістики в отриманні стійких конкурентних переваг. Завдяки їй підприємства забезпечують необхідний рівень обслуговування кінцевого споживача, надаючи йому при цьому певні додаткові цінності [9]. Застосування сучасного логістичного підходу до організації надання транспортних послуг споживачам сприяє усуненню вад колишньої командної системи управління й підвищенню якості доставки вантажів [2]. В багатьох дослідженнях останніх років неодноразово згадується можливість застосування логістичному підходу до вирішення проблем управління якістю. На жаль, в більшості з них не визначається конкретних інструментів та методик, а розглядаються загальні заходи та запропоновані логістичні технології. Найбільш поширені з них – це використання термінальних комплексів або регіональних транспортних організацій, що не дуже актуально в нашому дослідженні з тих самих причин, які наведені в тексті раніше.

В одному з досліджень автори зазначають, що в даний час ефективним підходом до управління якістю є логістичний, що передбачає системний розгляд сукупності процесів організації, створення інтегрованої ефективної системи регулювання та контролю матеріальних та інформаційних потоків, що забезпечує високу якість продукції та послуг [5]. Тому вважаємо за необхідне розглянути перспективи застосування саме цього методу автотранспортними підприємствами вантажних перевезень. Для цього пропонується провести порівняння логістичного менеджменту та управління якістю, проаналізувавши їх спільні риси та відмінності. Результати порівняльної характеристики наведено у таблиці 3.

На підставі даного порівняння автори [9] роблять висновок про можливість інтеграції цих методів та заявляють о необхідності поглиблення дослідницької роботи в цьому напрямку.

Для визначення резервів підвищення якості транспортних послуг необхідно використовувати сучасні аналітичні методи. Одним із таких методів є аналіз функціональних витрат (FCA), за допомогою якого одночасно визначаються резерви підвищення ефективності роботи та якості надання транспортних послуг для кожного з транспортних замовників [3]. Він також заснований на принципах математичної статистики та є доволі ефективним інструментом виявлення внутрішньовиробничих резервів на підприємствах різних галузей та сфер діяльності. Дослідимо етапи та порядок практичного застосування до управління якістю вантажних перевезень цього сучасного методу. Послідовність дій розділено на 4 наступні етапи, які вказано в таблиці 4.

Таблиця 3

**Порівняльна характеристика управління якістю та логістичного менеджменту [9]**

Ознака	Логістичний менеджмент	Управління якістю
Ціль	Досягнення довгострокового успіху шляхом максимального задоволення вимог та запитів споживача, співробітників, власників та інших зацікавлених осіб, суспільства загалом; отримання синергетичного ефекту, що сприяє підвищенню частки фірм на ринку та досягненню переваг перед конкурентами	
Ключова концепція	Процесна теорія та методологія управління процесами	
Реалізація	Своєчасно, якісно та з мінімальними витратами доставити матеріальні цінності від постачальника до споживача	
Об'єкт	Логістичний потік – сукупність матеріального, інформаційного, фінансового та ін потоків, які рухаються в межах логістичного ланцюга	Потік якості – сукупність матеріального, інформаційного, фінансового та ін. потоків
Предмет	Оптимізація потоків за рахунок збалансованої взаємодії та використання синергетичних зв'язків	
Суб'єкт	Організаційно відокремлені суб'єкти процесів або управлінський персонал у функціональних галузях логістики та управління якістю на підприємстві	
Концепція	Just-in-time (точно в термін), Requirements / resource planning (планування потреб / ресурсів), Demand-driven Logistics (логістика, орієнтована на попит), Time-based Logistics (логістика, орієнтована на час), «Integrated Supply Chain Management» (інтегрований менеджмент логістичного ланцюга), TQM – Total Quality Management	
Системний підхід	Розгляд взаємодії основних складових логістичного потоку (потіку якості) як сукупності елементів та підсистем; емерджентні, цілісні властивості та параметри функціонування підприємства як логістичної системи	
Функції	Комплекс загальноприйнятих управлінських дій зі специфічними властивостями конкретної логістичної системи, пов'язаними з плануванням, організацією та контролем за процесом обслуговування споживачів по всьому ланцюжку "постачальник-споживач"	

Таблиця 4

**Етапи FCA-аналізу (створено автором на основі [3, 4])**

Етап	Дія	Інструменти	Результат
1.	Виділення основних груп замовників та їх ранжування	Стовпчаста діаграма, графік Лоренца, ABC-аналіз та інші	Клієнтів поділено на 3 основні групи, 2 з котрих будуть досліджуватись
2.	Аналіз виробничих витрат та ефективності для кожного замовника	Розрахунки, стовпчаста діаграма	Ранжування клієнтів 1та 2 групи за рівнем рентабельності
3.	Аналіз функціональності виконання транспортних послуг	Розрахунки, стовпчаста діаграма	Ранжування клієнтів 1та 2 групи за рівнем функціональності
4.	Вибір об'єктів інноваційної діяльності	Кореляційна таблиця, матриця	Група «ризик» клієнтів для наведення фокусу

Кінцевим результатом проведення FCA-аналізу, на основі [4], є кореляційна матриця зразок якої показано на рисунку 3.



**Рис. 3. Кореляційна матриця**

### Висновки

В процесі дослідження розглянуто проблематику управління якістю вантажних перевезень автомобільним транспортом в Україні та можливості застосування в цій сфері діяльності деяких загальновідомих у світі методик з управління якістю товарів та послуг. В результаті можливо з впевненістю стверджувати, що ці методики придатні до використання в даній галузі та не потребують занадто великих фінансових вкладень та зусиль.

### Список використаної літератури

1. Безродна С.М. Управління якістю: навчальний посібник для студентів економічних спеціальностей. Чернівці: ХПІ, 2017. 174 с.
2. Устенко М. О., Івашкевич В.С. Логістичні технології як фактор забезпечення якості обслуговування споживачів транспортних послуг. *Вісник економіки, транспорту і промисловості*. 2018. № 61. С. 95-102.
3. Beketov Yu., Levchenko Ia., Britchenko I., Bekmukhanbetova Sh. & Sadenova M. (2023). "Improvement of the quality management methods of cargo transportation by road transport," Chapters of Monographs, in: *Innovative development of the road and transport complex: problems and prospects* (chapter 1). PC TECHNOLOGY CENTER. Pp. 2-15. DOI: 10.15587/978-617-7319-71-8.ch1
4. Бекетов Ю.О., Ковалік А.О. Вдосконалення методів управління якістю перевезень вантажів автотранспортом. *Комунальне господарство міст*. 2021. Том 3. № 163. С. 173-178.
5. Криворучко О.Н. Основи логістичного управління якістю транспортних послуг. *Економіка транспортного комплексу*. 2016. № 28. С. 84-97.
6. Ширяєва С.В., Дяченко І.О. Дослідження проблем транспортно-експедиторської діяльності в сучасних умовах. *Вісник Національного транспортного університету*. 2023. № 1(55). С. 318-322.
7. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. № 1(11). С. 4-10.
8. ДСТУ ISO 9000:2015. Національний стандарт України. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. (ISO 9000: 2015, IDT). [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2016. 45 с.
9. Васильєв О.Л., Волохов В.А., Волохова І.В., Лук'янова О.М., Жовтяк Г.А. Транспортно-логістичні системи в умовах глобалізації. *Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика*: матеріали 16-ї науково-практичної міжнародної конференції. Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 64-65.
10. Pimenowa, O., Pimenov, S., Fyliuk, H., Sitnicki, M.W., Kolosha, V., Kurinskyi, D. Sustainable Business Model of Modern Enterprises in Conditions of Uncertainty and Turbulence. *Sustainability*, 2023, 15, 2654. <https://doi.org/10.3390/su15032654>.
11. Мельниченко О.І., Ігнатенко О.С., Дмитриченко А.М., Дерезуз І.А. Логістичне управління системою надання транспортних послуг населенню: антикризовий аспект. *Вісник Національного транспортного університету*, 2023. № 1(55). С. 200-210.
12. Чернявська Т. А. Стратегічні напрями розвитку транспортно-комунікативної системи України в контексті забезпечення національної безпеки і самодостатності. *Економічний вісник Національного гірничого університету*, 2015. № 3. С. 68-76.
13. Розпорядження кабінету міністрів України від 30.05.2018 р. No 430-р. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Дата оновлення: 28.04.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 26.11.2024).
14. Офіційний сайт державної служби статистики України URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 26.11.2024).
15. Гірна О.Г. Концепція Кайдзен: теоретичні та прикладні аспекти. *Економіка та суспільство*. 2023. № 54.

### References

1. Bezrodna S.M. (2017) *Upravlinnya yakistyu: navchal'nyy posibnyk dlya studentiv ekonomichnykh spetsial'nostey* [Quality Management: A Textbook for Students of Economic Majors]. Chernivtsi: KHPI. (in Ukrainian)
2. Ustenko M. O., Ivashkevych V.S. (2018) *Lohistychni tekhnolohiyi yak faktor zabezpechennya yakosti obsluhovuvannya spozhyvachiv transportnykh posluh* [Logistics technologies as a factor in ensuring the quality of service to consumers of transport services]. *Bulletin of Economy, Transport and Industry*. No. 61, pp. 95-102.
3. Beketov Yu., Levchenko Ia., Britchenko I., Bekmukhanbetova Sh. & Sadenova M. (2023). "Improvement of the quality management methods of cargo transportation by road transport," Chapters of Monographs, in: *Innovative development of the road and transport complex: problems and prospects* (chapter 1). PC TECHNOLOGY CENTER. Pp. 2-15. DOI: 10.15587/978-617-7319-71-8.ch1
4. Beketov Yu.O., Kovalik A.O. (2021) *Vdoskonalennya metodiv upravlinnya yakistyu perevezen' vantazhiv avtotransportom* [Improving methods of managing the quality of cargo transportation by road]. *Communal economy of the cities*. Vol 3, no 163, pp. 173-178.

5. Kryvoruchko O.N. (2016) Osnovy lohistychnoho upravlinnya yakystyu transportnykh posluh [Fundamentals of logistics management of transport services quality]. *Economics of the transport complex*. No28, pp. 84-97.
6. Shiryayeva S.V., Dyachenko I.O. (2023) Doslidzhennya problem transportno-ekspedytors'koyi diyal'nosti v suchasnykh umovakh [Research on the problems of transport and forwarding activities in modern conditions]. *Bulletin of the National Transport University*. No. 1(55), pp. 318-322.
7. Aulin V.V., Holub D.V., Bilichenko V.V., Zamurenko A.S. (2020) Formuvannya pokaznykiv otsinky efektyvnosti transportnoho protsesu perevezen' [Formation of indicators for assessing the efficiency of the transport process]. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. No. 1(11), pp. 4-10.
8. DSTU ISO 9000:2015 (2016). Natsional'nyy standart Ukrayiny. Systemy upravlinnya yakystyu. Osnovni polozhennya ta slovnyk terminiv [National standard of Ukraine. Quality management systems. Basic provisions and glossary of terms]. (ISO 9000: 2015, IDT). [Valid from 2016-07-01]. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 45 p. (in Ukrainian)
9. Vasyl'yev O.L., Volokhov V.A., Volokhova I.V., Luk'yanova O.M., Zhovtyak H.A. (2020) Transportno-lohistychni systemy v umovakh hlobalizatsiyi [Transport and logistics systems in the context of globalization]. *International transport infrastructure, industrial centers and corporate logistics: materials of the 16th scientific and practical international conference*. Kharkiv: UkrDUZT, pp. 64-65.
10. Pimenowa, O., Pimenov, S., Fyliuk, H., Sitnicki, M.W., Kolosha, V., Kurinskyi, D. (2023) Sustainable Business Model of Modern Enterprises in Conditions of Uncertainty and Turbulence. *Sustainability*, 2023, 15, 2654. <https://doi.org/10.3390/su15032654>.
11. Melnychenko O.I., Ignatenko O.S., Dmytrichenko A.M., Dereguz I.A. (2023) Lohistychno upravlinnya systemoyu nadannya transportnykh posluh naseleunny: antykrizovyy aspekt. [Logistic management of the system of providing transport services to the population: anti-crisis aspect]. *Bulletin of the National Transport University*. No. 1(55), pp. 200-210.
12. Chernyavska T. A. (2015) Stratehichni napryamy rozvytku transportno-komunikatyvnoyi systemy Ukrayiny v konteksti zabezpechennya natsional'noyi bezpeky i samodostatnosti [Strategic directions of development of transport and communication system of Ukraine in the context of ensuring national security and self-sufficiency]. *Economic Bulletin of the National Mining University*. No. 3, pp. 68–76.
13. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 30.05.2018 No. 430-r. Pro skhvalennya Natsional'noyi transportnoyi stratehii Ukrayiny na period do 2030 roku [On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period until 2030] Update date: 28.04.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text> (date of application 26.11.2024). (in Ukrainian)
14. Official website of the State Statistics Service of Ukraine URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (date of application 26.11.2024).
15. Girna O.G. (2023) [The Kaizen Concept: Theoretical and Applied Aspects]. *Economy and Society*. No. 54.

**С. О. СЕМЕНОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автомобільного транспорту  
Приазовський державний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-5236-4557

**А. В. САРАХМАН**

магістрант  
Приазовський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0005-7935-4251

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТА РІВЕНЬ ВИКИДІВ РЕФРИЖЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК ВЕЛИКОТОННАЖНОГО ТРАНСПОРТУ

*Стаття присвячена вивченню впливу кліматичних умов на особливості експлуатації автомобільних транспортних засобів, які призначені для транспортування швидкопсувних та інших категорій вантажів, з урахуванням роботи рефрижераторних установок. Доставка вантажів даним видом транспорту обумовлена збільшенням його присутності на транспортному ринку Європи та багатьох частин світу. Крім цього, проблеми з авіасполученням та скорочення об'ємів перевезень водними видами, відсутність технічної сумісності вітчизняних залізниць із залізницями країн Євросоюзу дають перевагу доставці вантажів у міжнародному сполученні саме з використанням автомобільного транспорту.*

*Основну увагу при виборі відповідних автотранспортних засобів приділено напівприцепам з рефрижераторним обладнанням з функцією підтримки температурного режиму. З'ясовано, що вплив температури навколишнього середовища прямо впливає на ефективність роботи такого виду транспортного обладнання, постійне збільшення глобальної температури призводить до пропорційного збільшення рівня споживання палива і, як наслідок, впливу на екологію.*

*Вихідними даними для проведення дослідження є показники приладів рефрижераторних установок, вбудованих у бортові системи фіксації температури. Результати вимірювань зчитувались з транспортної одиниці, що виконувала перевезення за заданим маршрутом у певні періоди часу. Зазначено, що всі перевезення виконувались автомобілями з однаковим устаткуванням. Маршрут перевезення був однаковим для всіх поїздок і не включав зміну кліматичних зон чи різкий перепад висоти над рівнем моря, що дозволяло забезпечити найбільшу однорідність даних. Це знижувало можливі похибки, пов'язані з зовнішніми факторами, такими як різка зміна погодних умов або атмосферний тиск. Розглянуто широкий спектр температурних умов навколишнього середовища, від негативних до позитивних значень. Для кожного рейсу фіксували середньодобову температуру на основі показників.*

*У результаті проведеного дослідження було виявлено, що зміна температури навколишнього середовища безпосередньо впливає на ефективність роботи рефрижераторних установок великотоннажного транспорту.*

**Ключові слова:** автотранспортний засіб, аналіз, перевезення, рефрижераторна установка, температура, технічні характеристики.

**S. O. SEMENOV**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Road Transport  
Pryazovsky State Technical University  
ORCID: 0000-0002-5236-4557

**A. V. SARAKHMAN**

Master  
Pryazovsky State Technical University  
ORCID: 0009-0005-7935-4251

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS ON THE OPERATING EFFICIENCY AND EMISSION VALUES OF REFRIGERATION UNITS IN LARGE-CAPACITY TRANSPORT

*The article deals with the study of the influence of climatic conditions on the operation of motor vehicles intended for the transport of perishable and other goods, taking into account the operation of refrigeration systems. The delivery of goods using this type of transport is due to its increasing presence on the transport market in Europe and many parts of the world. In addition, the problems in air transport and the decline in water transport, as well as the lack of technical*

compatibility between the domestic railways and the railways of the countries of the European Union, mean that the delivery of goods in international transport by road is favoured.

The main focus in the selection of suitable vehicles was on semi-trailers with cooling systems that are responsible for maintaining the temperature regime. It was found that the influence of the ambient temperature has a direct impact on the efficiency of this type of transport. The steady rise in global temperature leads to a proportional increase in fuel consumption and thus environmental pollution.

The initial data for the study are the indicators of refrigeration units that are installed in on-board temperature recording systems. The measured values originate from a transport unit that has carried out transports on a specific route at specific times. It should be noted that all transports were carried out by vehicles with the same equipment. The transport route was the same for all journeys and did not include a change of climate zones or a large difference in altitude above sea level, so that the greatest possible uniformity of the data was ensured. This reduced possible errors due to external factors, such as a sharp change in weather conditions or air pressure. A wide range of ambient temperatures was taken into account, from negative to positive values. For each journey, the average daily temperature was recorded using the indicators.

As a result of the study, it was found that changes in ambient temperature have a direct influence on the efficiency of refrigeration units in heavy commercial vehicles.

**Key words:** vehicle, analysis, transportation, refrigeration unit, temperature, technical data.

### Постановка проблеми

Відомо, що транспорт – найважливіша інфраструктурна галузь народного господарства будь-якої держави, яка забезпечує виробничі й невиробничі потреби виробництв і населення в усіх видах перевезень та переміщень. Швидке та неспинне економічне та соціальне зростання життя сучасних країн призводить до збільшення популяції планети, що в свою чергу призводить до все більшої необхідності забезпечення надійних і постійних вантажопотоків між державами. Особливу увагу варто звернути на автотранспорт, що останнім часом тільки збільшує свою присутність на транспортному ринку Європи та багатьох частин світу. Відомі події в державі змусили транспортний ринок адаптуватися до нових умов, що призвело до повного зупинення авіасполучення, значного скорочення морського сполучення, а відсутність інтегрованості між українською та Європейською залізничними інфраструктурами так і не дозволяє на повну потужність використовувати потенціал залізниці. Тому саме на автотранспорт покладена вагома роль на ринку вантажних перевезень.

Значний вплив транспорту на економічне зростання не залишив по собі тільки позитивні наслідки, оскільки обмеженість можливостей автотранспорту у транспортуванні великої кількості вантажів призвело до подрібнення партій у вантажопотоці, що в свою чергу змусило країни збільшувати об'єми автопарків, що як наслідок призвело до збільшення кількості автопоїздів на наших дорогах.

Відповідно до даних Міністерства інфраструктури України «Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту» [1] в Україні зареєстровано понад 3873 одиниць великотоннажних Фургонів. І якщо обсяг перевезень з початку повномасштабного вторгнення все ж скоротився, проте доля перевезень, яка припадала на автотранспорт, набагато збільшилася і перетнула позначку в 40%.

Оскільки одним з головних стовпів транспортної логістики є твердження «Вантаж має бути доставлений у потрібній якості», найважливішою частиною транспортування будь-якого товару є підтримка якісних умов для його перевезення та забезпечення необхідних заходів для підтримки надійності вантажу до завершення транспортування. Особливу роль серед всіх вантажних перевезень займають перевезення, що потребують підтримки певного температурного режиму під час транспортування. Серед таких вантажів варто виокремити продукти харчування, свіжі овочі та фрукти, фармацевтичні товари, хімічні речовини та рослини. Для підтримки постійного температурного режиму напівпричепи обладнують спеціалізованими рефрижераторними пристроями, що у більшості випадків працюють на дизельному паливі і мають великий вуглецевий слід.

У дослідженні звернено увагу саме на особливості транспортування з використанням напівпричепів, що здійснюють доставку вантажу з підтриманням температурного режиму. Оскільки вплив температури навколишнього середовища прямо впливає на ефективність роботи такого виду транспортного обладнання, постійне збільшення глобальної температури призводить до пропорційного збільшення рівня споживання палива і, як наслідок, впливу на екологію.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Детальний огляд наукових праць, які відносяться до напрямку впливу рефрижераторного автотранспорту на клімат показав, що проблематику викидів саме рефрижераторного автотранспорту не було достатньо вивчено сучасною вітчизняною наукою. Тому дана проблема потребує більш глибокого дослідження.

Деякі сучасні вітчизняні науковці все ж вивчали напрямок впливу транспорту на екологію. Так, у роботі професора Лямзіна [2] було чітко виокремлено вплив автотранспорту на вуличну мережу індустріальних зон, що дозволяє зрозуміти особливості забруднення навколишнього середовища у великих містах та транспортних хабах. У роботі Запорожця [3] простежується всеохоплюючий вплив автотранспорту на екологію та навколишнє середовище України.

Більш глибоко питання впливу саме рефрижераторного автотранспорту вивчали іноземні науковці. Зокрема, дослідження Wu та ін. [4] зосереджено на оцінці вуглецевого сліду транспортних рефрижераторних систем, з урахуванням впливу холодоагентів, а також прямих і непрямих емісій протягом усього життєвого циклу систем. Cascini та ін. [5] порівняли вуглецевий слід двох транспортних холодильних систем із використанням трьох альтернативних холодоагентів за різних температурних режимів.

Дослідження Li [6] розглядало викиди парникових газів у контексті кліматичної ефективності життєвого циклу. У ньому враховано кліматичні умови, ефективність систем і витoki холодоагентів.

Yang та ін. [7] досліджували реальні викиди CO<sub>2</sub> і NO<sub>x</sub> із рефрижераторних фургонів, використовуючи миттєву модель викидів транспортного засобу.

Також важливо зазначити, що за даними Adekoma та ін. [8], рефрижераторні фури споживають до 15% світових викопних палив, причому 86% загальних викидів парникових газів у їхній діяльності пов'язані з використанням пального.

Таким чином, існуючі дослідження чітко свідчать про необхідність подальшого аналізу впливу рефрижераторного автотранспорту на екологію, зокрема у вітчизняному контексті.

#### Формулювання мети дослідження

Аналіз впливу викидів автотранспорту на навколишнє середовище є складним процесом, що враховує безліч факторів [9, 10]. Метою цієї статті є дослідження залежності між температурою навколишнього середовища та мотогодинами роботи рефрижераторної установки, яка перевозила однаковий вантаж з одними й тими ж вимогами до транспортування протягом різних сезонів року. Результати дослідження мотогодин роботи рефрижераторної установки будуть зіставлені з технічними характеристиками, зокрема рівнем витрати палива, для розрахунку впливу транспортної одиниці на навколишнє середовище.

Об'єктом дослідження є робота рефрижераторної установки Carrier Vector 1550 з ізотермічним напівприцепом Schmitz Cargobull за різних умов температури навколишнього середовища. Метою статті є визначення залежності між мотогодинами роботи рефрижераторної установки вантажівок і температурою навколишнього середовища.

Для отримання даних, безпосередньо відносних до предмета дослідження, авторами було проведено огляд наукової та технічної літератури з цієї теми.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

У межах дослідження було проаналізовано роботу автопарку з рефрижераторними установками Carrier Vector 1550, які використовуються для міжнародних перевезень великотоннажним автотранспортом. Carrier Vector 1550 забезпечує підтримання замороженої температури -20°C з потужністю охолодження до 8 200 Вт при високих обертах двигуна [9]. Дана модель оснащена дизельним двигуном моделі CT4-91TV з робочим об'ємом 1498 см<sup>3</sup> і чотирициліндровою конструкцією, що сприяє стабільній роботі установки протягом тривалих перевезень. Двигун забезпечує оптимальний повітряний потік – 5 700 м<sup>3</sup>/год на високих обертах, рівномірно розподіляючи холодне повітря по всьому об'єму напівприцепа та підтримуючи сталі температурні умови для заморожених вантажів.

Всі перевезення виконувались автомобілями з однаковим устаткуванням. Зокрема, сам напівпричіп був від виробника Schmitz Cargobull із ізотермічною будовою і сертифікацією FRC, яка підтверджує відповідність міжнародним нормам. Напівпричіп вміщав у себе 33 стандартні європалети і мав внутрішній об'єм 86 м<sup>3</sup>.

Для збору даних про мотогодини роботи напівпричепів використовувалися показники приладів рефрижераторних установок, вбудованих у бортові системи фіксації температури. Результати вимірювань зчитувались з транспортної одиниці, що виконувала перевезення за заданим маршрутом у певні періоди часу, зазвичай кожні 7–10 днів.

Маршрут перевезення був однаковим для всіх поїздок і не включав зміну кліматичних зон чи різкий перепад висоти над рівнем моря, що дозволяло забезпечити найбільшу однорідність даних. Це знижувало можливі похибки, пов'язані з зовнішніми факторами, такими як різка зміна погодних умов або атмосферний тиск.

Кожне завантаження включало однаково підготовлений вантаж – продукти харчування з однаковим об'ємом і вагою. Вантаж перевозився при стабільній температурі в межах від -18°C до -24°C у режимі «старт-стоп» [10].

Режим «старт-стоп», або «автоматичний», є стандартним заводським налаштуванням рефрижераторної установки. Він підтримує внутрішню температуру в напівпричепі з різницею не більше 3°C від заданої температури, що дозволяє забезпечити необхідні умови для зберігання заморожених продуктів. Особливістю цього режиму є не постійний обдув вантажу, а періодичне включення і вимикання рефрижераторної установки залежно від коливань температури всередині рефрижератора.

Всі цикли ввімкнення рефрижератора для підтримки температури фіксувалися бортовими приладами, а дані зчитувалися у таблиці із загальним часом роботи установки за добу під час кожного рейсу.

Дослідження охоплювало широкий спектр температурних умов навколишнього середовища, від негативних до позитивних значень. Для кожного рейсу фіксували середньодобову температуру на основі показників Української метеорологічної служби, а потім аналізували залежність часу роботи установок від зовнішньої температури. Заміри тривали протягом 4 місяців (2023–2024 рр.).



Хоч заміри і проводились у холодні пори року з грудня 2023 р. по березень 2024 р. це дозволило отримати найбільшу різницю у середньодобовій температурі впродовж року. Екстремуми температури навколишнього середовища фіксувалися з різницею у  $17^{\circ}\text{C}$  від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+7^{\circ}\text{C}$ .

Отримані результати продемонстрували, як підвищення температури впливає на тривалість роботи рефрижераторів і загальну ефективність перевезень у контексті температурних коливань. Було зафіксовано витрату палива на рівні 6,6 мотогодин на добу (далі м.г/добу) під час середньодобової температури під час рейсу  $+6/+7^{\circ}\text{C}$  та 4,25 м.г/добу за температури  $-9/-10^{\circ}\text{C}$ .

Такий вплив середньодобової температури на час роботи рефрижератора підтверджує факт того, що час роботи рефрижераторної установки знаходиться у пропорційній залежності від середньодобової температури навколишнього середовища. Авторами дослідження було побудовано графік залежності середньодобової температури від часу роботи рефрижераторної установки (див. рис. 1).

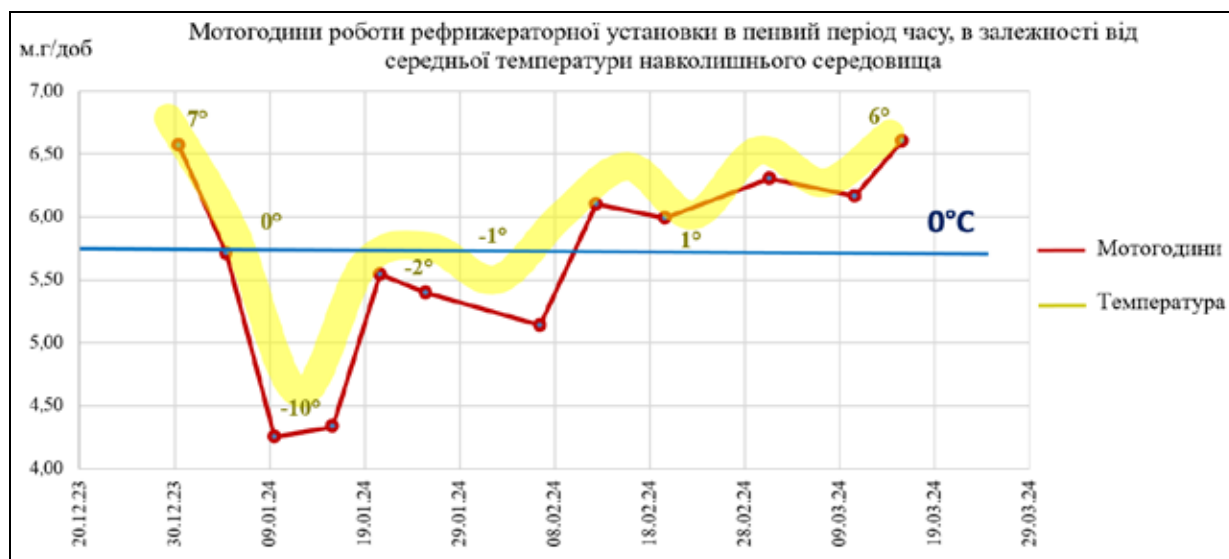


Рис. 1. Графік залежності середньодобової температури від часу роботи рефрижераторної установки виражений в мотогодинах/добу

На основі наведених даних залежності між температурою навколишнього середовища і мотогодинами можна стверджувати, що в холодний період (до  $-10^{\circ}\text{C}$ ) середній час роботи рефрижератора становив близько 4–5 мотогодин на добу. При підвищенні температури до  $0^{\circ}\text{C}$  цей показник зростав до 5–6 мотогодин, а у найбільш теплі дні ( $+7^{\circ}\text{C}$ ) час роботи рефрижераторної установки досягав понад 6–7 мотогодин на добу.

Детальний аналіз технічних характеристик Carrier Vector 1550 дозволив провести розрахунок витрати палива і рівня вуглецевих викидів. Зокрема, при середній витраті 2,5 л дизельного палива на годину (мотогодину) рефрижераторна установка з двигуном ZF19VE-164 виробляє близько 6,7 кг  $\text{CO}_2$  на годину роботи або 2,64 кг  $\text{CO}_2$  на літр пального.

Розрахунки показали, що при найнижчій середньодобовій температурі рівень емісії складає  $\approx 30$  кг  $\text{CO}_2$  на добу, тоді як у дні з максимальною середньою температурою він збільшувався до  $\approx 40$  кг  $\text{CO}_2$  на добу. Це підтверджує, що підвищення температури навколишнього середовища на  $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$  призводить до збільшення часу роботи рефрижераторної установки і відповідно до збільшення викидів на 30%.

Окрім викидів вуглекислого газу було розраховано рівень викидів твердих частинок (PM) та оксиду азоту ( $\text{NO}_x$ ). Оскільки рефрижераторні установки не підпадають під специфікацію Європейського стандарту викиду вихлопних газів, на установках зазвичай не встановлюються технології фільтрів  $\text{NO}_x$  або системи SCR (Selective Catalytic Reduction або Система вибіркового каталітичного відновлення). Це призводить до суттєвого рівня викидів твердих частинок і  $\text{NO}_x$ . Якщо порівнювати рівень викидів тягача класу Євро-6 і рефрижераторного напівпричепа, який до нього приєднаний, можна побачити чітку картину, що рефрижератор має майже такі самі викиди твердих частинок на рівні 0,096 г PM на літр, а викиди оксид азоту у рефрижератора Carrier Vector 1550 перевищують рівень двигунів Євро-6 у майже 7 разів і доходять до 42 г  $\text{NO}_x/\text{л}$ .

Однак, наведені дані є приблизними і розраховані на основі статистичних показників і технічних характеристик розглянутої рефрижераторної установки.

Цей аналіз є важливим для розробки стратегій зниження викидів і адаптації транспортної інфраструктури до кліматичних змін. Оскільки рефрижератори (наприклад Carrier Vector 1550) не мають систем очищення викидів, їхній вуглецевий слід суттєво вищий порівняно із транспортом, що відповідає стандартам Євро-1 чи Євро-6.

### Висновки

У результаті проведеного дослідження було виявлено, що зміна температури навколишнього середовища безпосередньо впливає на ефективність роботи рефрижераторних установок великотоннажного транспорту. Аналіз показав, що зі зростанням температури на зовнішньому середовищі збільшується час роботи рефрижераторів, що, своєю чергою, впливає на рівень викидів вихлопних газів.

Рефрижератори, які використовуються для перевезення товарів при низьких температурах (наприклад, м'ясо, заморожені продукти та ін.), споживають більше палива при підвищених температурах навколишнього середовища. Це призводить до збільшення кількості викидів CO<sub>2</sub>, а також інших забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) та тверді частинки (PM), які є результатом роботи двигуна рефрижератора.

Під час аналізу було виявлено, що при підвищенні температури навколишнього середовища на 15–20°C середньодобові викиди CO<sub>2</sub> можуть збільшуватися на 30%, що корелює зі збільшенням мотогодин роботи рефрижераторної установки. Також виявлено, що на рівень викидів суттєво впливає не тільки температура, а й технічні характеристики самого двигуна, зокрема його клас екологічності (Євро 6).

Ці результати дозволяють краще зрозуміти вплив змін клімату на ефективність роботи рефрижераторних установок, а також на екологічну безпеку транспортування. Такі дані можуть бути корисними для розробки заходів з оптимізації роботи рефрижераторів в умовах змінної температури, а також для зниження їхнього екологічного сліду.

### Список використаної літератури

1. Міністерство інфраструктури України. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту [Електронний ресурс]. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (дата звернення 25.11.2024).
2. Лямзін, А. О. Науково-методологічні основи управління екологічною безпекою транспортних потоків у середовищі вулично-дорожньої мережі промислових зон: дис. д-ра техн. наук: 05.22.01. Київ, 2021. 372 с.
3. Запорожець О.І., Бойченко С.В., Матвєєва О.Л., Шаманський С.Й., Дмитруха Т.І., Маджд С.М. Транспортна екологія: навчальний посібник. Київ: НАУ, 2017. – 507 с.
4. Wu, J. (2022). Evaluating the impact of refrigerated transport trucks in China on climate change from the life cycle perspective. *Environmental Impact Assessment Review*, 97, 106866.
5. Cascini, A., Saraceni, M., & Tornese, F. (2016). Comparative carbon footprint assessment of commercial walk-in refrigeration systems under different use configurations. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4016–4026.
6. Li, G. (2017). Comprehensive investigation of transport refrigeration life cycle climate performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 22, 97–107.
7. Yang, Z., Zhai, H., Zhou, J., & Yang, Y. (2021). Real-world CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions from refrigerated vans. *Science of the Total Environment*, 780, 146542.
8. Adekomaya, O., Jamiru, T., Sadiku, R., & Huan, Z. (2016). Sustaining the shelf life of fresh food in cold chain – a burden on the environment. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 1357–1365.
9. Carrier. (n.d.). Vector 1550 Trailer Refrigeration Units. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.carrier.com/truck-trailer/en/eu/products/eu-truck-trailer/trailer/vector-1550/> (дата звернення 25.11.2024).
10. OPERATION & SERVICE MANUAL for VECTOR 1550 & 1550 CITY Trailer Refrigeration Units. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.manualslib.com/manual/1880044/Carrier-Vector-1550-Series.html?page=262#manual> (дата звернення 25.11.2024).

### References

1. Ministry of Infrastructure of Ukraine. Statistical data on the road transport sector [Electronic resource]. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (date of application 25.11.2024).
2. Lyamzin, A. O. (2021) *Naukovo-metodolohichni osnovy upravlinnya ekolohichnoyu bezpekoyu transportnykh potokiv u seredovyshechi vulychno-dorozhn'oyi merezhi promyslovykh zon* [Scientific and methodological foundations of the management of environmental safety of traffic flows in the environment of the road and highway network of industrial areas]: dys. d-ra tekhn. nauk: 05.22.01. Kyiv. 372 p. [in Ukrainian]
3. Zaporozhets' O.I., Boychenko S.V., Matvyeyeva O.L., Shamans'kyi S.Y., Dmytrukha T.I., Madzhd S.M. (2017) *Transportna ekolohiya: navchal'nyu posibnyk* [Transport Ecology: A Study Guide]. Kyiv: NAU. [in Ukrainian]
4. Wu, J. (2022). Evaluating the impact of refrigerated transport trucks in China on climate change from the life cycle perspective. *Environmental Impact Assessment Review*, 97, 106866.
5. Cascini, A., Saraceni, M., & Tornese, F. (2016). Comparative carbon footprint assessment of commercial walk-in refrigeration systems under different use configurations. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4016–4026.
6. Li, G. (2017). Comprehensive investigation of transport refrigeration life cycle climate performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 22, 97–107.

7. Yang, Z., Zhai, H., Zhou, J., & Yang, Y. (2021). Real-world CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions from refrigerated vans. *Science of the Total Environment*, 780, 146542.
8. Adekomaya, O., Jamiru, T., Sadiku, R., & Huan, Z. (2016). Sustaining the shelf life of fresh food in cold chain – a burden on the environment. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 1357–1365.
9. Carrier. (n.d.). *Vector 1550 Trailer Refrigeration Units*. [Electronic resource]. URL: <https://www.carrier.com/truck-trailer/en/eu/products/eu-truck-trailer/trailer/vector-1550/>
10. OPERATION & SERVICE MANUAL for VECTOR 1550 & 1550 CITY Trailer Refrigeration Units. [Electronic resource]. URL: <https://www.manualslib.com/manual/1880044/Carrier-Vector-1550-Series.html?page=262#manual> (date of application 25.11.2024).

**О. О. СОЛАРЬОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри транспортних технологій  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-1485-0685

**О. Ю. САВОЙСЬКИЙ**

старший викладач кафедри транспортних технологій  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-6459-4931

**Н. М. МЕЛЬНИК**

старший викладач кафедри вищої математики  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0003-4235-4651

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ У КУЗОВІ НА СТІЙКІСТЬ ТА НАВАНТАЖЕННЯ НА ОСІ ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

У даній статті ми розглядаємо теоретичні аспекти а також практичні рекомендації раціонального розподілу навантаження на осі вантажного транспортного засобу, метою якого є підвищення безпеки, стійкості і ефективності експлуатації. На сьогодні автомобільний транспорт досить швидко розвивається та збільшується кількість автомобільних, вантажних перевезень. Розвиток автомобільного транспорту дозволяє значно спростити процес завантаження та розвантаження автомобіля, але питання розподілу навантаження на осі транспортного засобу залишається досить актуальним. Під час руху завантаженого транспортного засобу одним з найважливіших питань є безпека водія та інших учасників дорожнього руху. Розподіл навантаження на осі є одним з базових питань яке на безпеку руху впливає. Існує багато методик визначення реакцій ґрунту на колеса транспортного засобу, але нашою метою є знаходження оптимального, швидкого методу визначення оптимального розподілу навантаження на осі транспортного засобу. Проведено детальний аналіз методів розрахунку навантажень на дві осі та колеса, що базуються в свою чергу на принципах рівноваги сил і моментів, а саме визначення реакцій ґрунту на колеса в залежності від положення центру ваги. Суттєві складнощі під час керування транспортним засобом для водіїв має і гачове навантаження від використаного причепу. Проаналізовано вплив розміщення вантажу в середині кузова на стійкість автомобіля, зокрема під час маневрування та гальмування, що особливо важливо для зменшення перевантаження осей і зменшення зношування вузлів транспортного засобу. Розглядається вплив зміщення центру ваги на розподіл навантаження між колесами, що дозволяє мінімізувати ризики перекидання, зменшити нерівномірне зношування шин і покращити зчеплення з дорогою. Запропоновано рекомендації щодо оптимального розташування вантажу в кузові, що сприяє досягненню стабільного положення автомобіля, забезпечуючи безпечне та економічне транспортування вантажів.

**Ключові слова:** вантаж, розміщення вантажу, стійкість, навантаження на осі, вантажний транспортний засіб.

**О. О. SOLAROV**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Transport Technologies  
Sumy National Agrarian University  
ORCID: 0000-0002-1485-0685

**О. YU. SAVOISKYI**

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies  
Sumy National Agrarian University  
ORCID: 0000-0002-6459-4931

**N. M. MELNYK**

Senior Lecturer at the Department of Higher Mathematics  
Sumy National Agrarian University  
ORCID: 0000-0003-4235-4651

## RESEARCH ON THE INFLUENCE OF CARGO ARRANGEMENT IN THE BODY ON THE STABILITY AND LOAD ON THE AXLES OF A CARGO VEHICLE

*In this article, we consider theoretical aspects and practical recommendations for rational distribution of the load on the axles of a freight vehicle, the purpose of which is to increase safety, stability and efficiency of operation. Today, road transport is developing quite rapidly and the number of road and freight transportation is increasing. The development of road transport allows us to significantly simplify the process of loading and unloading a vehicle, but the issue of distributing the load on the axles of a vehicle remains quite relevant. When driving a loaded vehicle, one of the most important issues is the safety of the driver and other road users. The distribution of the load on the axles is one of the basic issues that affects traffic safety. There are many methods for determining the reactions of the soil on the wheels of a vehicle, but our goal is to find an optimal, fast method for determining the optimal distribution of the load on the axles of a vehicle. A detailed analysis of the methods for calculating the loads on two axles and wheels, which are based in turn on the principles of equilibrium of forces and moments, namely the determination of soil reactions on the wheels depending on the position of the center of gravity. The hook load from the trailer used also poses significant difficulties for drivers when driving a vehicle. The influence of placing the load in the middle of the body on the stability of the vehicle, in particular during maneuvering and braking, is analyzed, which is especially important for reducing axle overload and reducing wear of vehicle components. The influence of the center of gravity shift on the load distribution between the wheels is considered, which allows minimizing the risks of overturning, reducing uneven tire wear and improving road grip. Recommendations are offered for the optimal location of the load in the body, which contributes to achieving a stable position of the vehicle, ensuring safe and economical transportation of goods.*

**Key words:** cargo, cargo placement, stability, axle load, cargo vehicle.

### Постановка проблеми

Вантажні автомобілі є однією з ключових та невід'ємних складових сучасної логістики, оскільки забезпечують транспортний зв'язок між виробниками різних компаній, дистриб'юторами та споживачами на великих і малих відстанях. Маючи на сьогоднішній день на світовому рівні зростання обсягу товарообігу і збільшенням маси вантажів, що транспортуються, вантажні автомобілі піддаються значним механічним навантаженням, які впливають не лише на конструктивні елементи транспортного засобу, а й на дорожнє покриття, це на самперед впливає на довговічність компонентів та загальну безпеку під час автомобільних вантажних перевезень.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним із найважливіших аспектів, який потребує постійної уваги, є раціональний розподіл ваги вантажу в кузові вантажного автомобіля, особливо якщо вантаж досить велику вагу. Він визначає стійкість автомобіля під час руху, маневрування та гальмування, впливає на рівномірність зношування шин, систем підвіски, дорожнього покриття, а також на енергоефективність перевезень, що, в свою чергу, знижує експлуатаційні витрати та вплив на навколишнє середовище [2, 3].

Українські вчені приділяють значну увагу дослідженням стійкості та керованості техніці з різноманітними рушіями [1, 4], але в першу чергу наша мета дослідити стійкість та керованість колісної техніки під час перевезення вантажу вантажними транспортними засобами.

Правильний розподіл навантаження у свою чергу сприяє підтримці безпечного рівня навантаження на осі, що насамперед забезпечує рівновагу та знижує ризик перевертання при різких маневрах, а також підвищує керованість транспортного засобу, особливо в складних умовах. Одночасно нерівномірний, або невідповідний розподіл ваги може призвести до перевантаження окремих осей чи коліс, що загрожує підвищеним зносом шин, зменшенням ефективності гальмування, а також збільшує ймовірність небезпечних ситуацій на дорозі особливо під час погіршених погодних умов. У разі надмірного навантаження на одну з осей може виникати перевантаження на дорожнє покриття, що сприяє швидшому його руйнуванню та створює додаткові витрати на ремонт доріг [5, 6].

У цьому дослідженні розглянуто ключові фактори та методики, що дозволяють раціонально визначити й оптимізувати розподіл навантаження між осями та колесами вантажного транспортного засобу. Використання науково обґрунтованих підходів до розподілу навантаження допоможе підвищити безпеку руху, покращити стійкість транспортного засобу на дорозі, а також забезпечити рівномірне навантаження на шини й елементи підвіски. Ці аспекти важливі для досягнення ефективної експлуатації вантажного транспорту та забезпечення його довговічності, що є актуальним завданням у сфері сучасної логістики та транспорту.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є розробка методики визначення оптимального розподілу навантаження на осі вантажного транспортного засобу.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Важливим фактором, що впливає на стійкість вантажного автомобіля, є висота і положення центру ваги (рис. 1, 2).

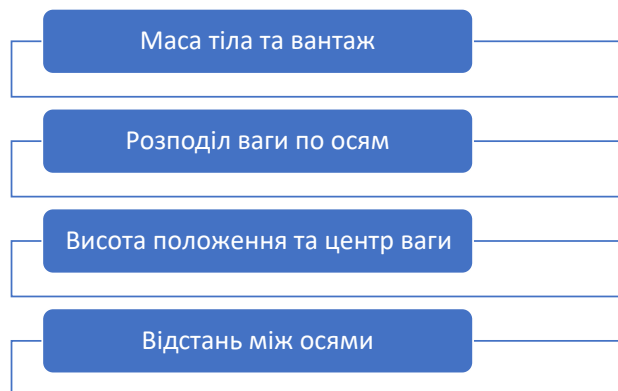


Рис. 1. Фактори, які впливають на стійкість транспортного засобу

Центр ваги зміщується в залежності від того, як розміщено вантаж у кузові з наступними наслідками:

1. Зміщення центру ваги назад підвищує навантаження на задню вісь, що може призвести до підвищеного зносу задніх шин і зниження стабільності на високих швидкостях та при значних маневрах.
2. Зміщення центру ваги вперед збільшує навантаження на передню вісь, що може зменшити зчеплення задніх коліс з дорогою, особливо під час гальмування, або виконання інших різких маневрів.
3. Високе розміщення центру ваги підвищує ризик перекидання транспортного засобу за рахунок виникнення поздовжніх та бічних коливань, найчастіше такі коливання виникають під час руху по шосейному дорожньому покриттю.
4. Реакції ґрунту на колеса транспортного засобу – це вертикальні сили, які виникають у точках контакту шин з дорожньою поверхнею.

Ці сили з'являються як реакція на вагу самого транспортного засобу та додатковий вантаж, якщо він присутній. Кожне колесо отримує свою частку навантаження залежно від ряду факторів.

Розглянемо їх детальніше:

1. Маса транспортного засобу та вантажу.

Маса автомобіля є основним фактором, який впливає на реакції ґрунту на колеса. Загальна маса складається з маси самого автомобіля (без навантаження) та маси вантажу, який він перевозить.

Чим більша маса, тим вищими будуть вертикальні сили на точках контакту шин з дорогою.

2. Висота і положення центру ваги.

Центр ваги визначає, як рівномірно або нерівномірно розподіляється навантаження між колесами.

Якщо центр ваги розташований високо (наприклад, в автобусах або вантажних автомобілях), автомобіль буде більш схильним до нахилів і перевертання, що може змінювати розподіл навантаження на колеса під час руху.

Зміщення центру ваги вперед, або назад вплине на розподіл ваги між передніми та задніми осями, а також між лівими та правими колесами.

3. Розподіл ваги між осями.

Розподіл навантаження між передньою і задньою осями залежить від конструкції автомобіля і положення центру ваги.

Наприклад, у передньопривідних автомобілях вага зазвичай розподілена більше на передні колеса, тоді як у задньопривідних і позашляховиків це навантаження може бути зміщене до задньої осі.

4. Відстань між осями.

Чим більша відстань між осями (колісна база), тим більш стабільним може бути транспортний засіб. Відстань між осями визначає розподіл навантаження між передньою і задньою осями.

Велика відстань між осями дозволяє рівномірно розподілити вагу, тоді як коротка база може спричинити нерівномірне навантаження на осі, що вплине на стійкість і маневреність.

Розглянемо більш детально процес впливу розміщення центру ваги на реакції ґрунту на рис. 2.

З умови статичної рівноваги у стані нерухомості автомобіля знаходимо реакції ґрунту на осі:

$$Y_1 = G \frac{l_1}{l};$$

$$Y_2 = G \frac{l_2}{l}.$$

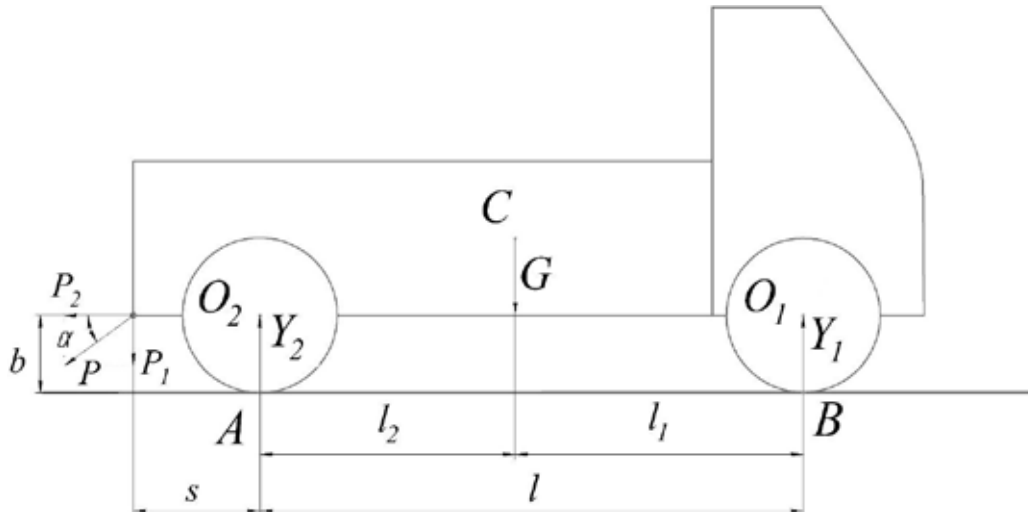


Рис. 2. Дослідження реакцій ґрунту на русії вантажного транспортного засобу

Для визначення реакцій ґрунту на кожну вісь використовують умови рівноваги моментів сил відносно кожної осі та центральних точок ваги:

$$Y_1 + Y_2 = G;$$

$$Y_1 \cdot l_1 = Y_2 \cdot l_2;$$

де  $Y_1, Y_2$  – реакції ґрунту на передню та задню осі;

$G$  – загальна вага автомобіля;

$l_1, l_2$  – відстані від центру ваги до відповідних осей.

Таким чином враховуючи рівняння отриманих реакцій  $Y_1$  і  $Y_2$  бачимо, що зміна центру мас на яку відповідно впливає розміщення вантажу в кузові має суттєве значення для рівноваги та рівномірного розподілу навантаження на осі транспортного засобу.

Але слід пам'ятати, що більшість сучасних великогабаритних вантажних транспортних засобів використовують під час перевезення автомобільні причепи. Прикладені сили до крюка (рис. 2) причіпного пристрою також мають свій вплив на стійкість транспортного засобу, а особливо на зчипні реакції ведучих (задніх) коліс з дорожнім покриттям.

Залежність реакцій ґрунту на осі вантажного автомобіля можна описати наступним чином:

$$Y_1 = \frac{Gl_1 - P[s \sin \alpha + b \cos \alpha]}{l} = \frac{Gl_1 - P_{кр}(\operatorname{tg} \alpha + b)}{l};$$

$$Y_2 = \frac{Gl_2 - P[(l+s) \sin \alpha + b \cos \alpha]}{l} = \frac{Gl_2 + P_{кр}[(s+l) \operatorname{tg} \alpha + b]}{l}.$$

При збільшенні кута  $\alpha$  на який впливає висота точки прикладеної сили  $b$  та відповідно вектори сил  $P$  зчипні реакції зменшуються, що має досить негативний характер у зимовий період чи русі по поверхні зі слабкою несучою здатністю. Детально залежність оптимального розміщення центра мас від точки прикладеної сили причіпного пристрою зображена на рис. 3. Оптимальними умовами для забезпечення високої стійкості транспортного засобу будуть ті параметри, які забезпечуватимуть розміщення точки  $M$  у границях  $ABCD$ .

#### Висновки

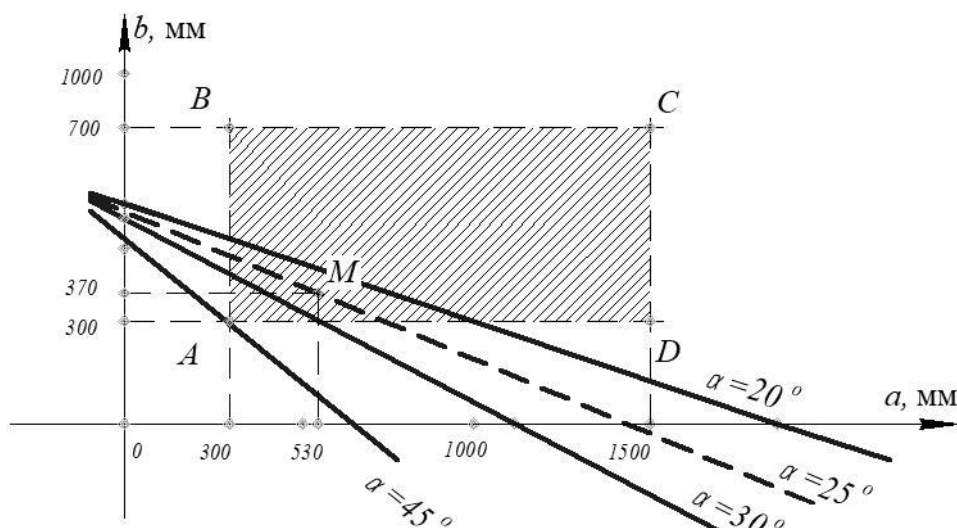
Для підтримання стійкості та рівномірного розподілу навантаження рекомендується:

Розмішувати важкий вантаж нижче та ближче до центру автомобіля.

Забезпечувати рівномірний розподіл маси по обох боках кузова.

Уникати концентрації вантажу в передній або задній частині кузова.

Процес раціонального розподілу навантаження на осі вантажного транспортного засобу є критично важливим для забезпечення стійкості, безпеки та довговічності компонентів автомобіля. Дослідження показують, що навіть незначне зміщення центру ваги вантажу на 20 см від оптимального положення може призвести до зростання навантаження на одну з осей на більше ніж на 15%. Це збільшує ризик передчасного зношування шин та знижує ефективність транспортного засобу.



**Рис. 3. Залежність оптимального розміщення центра мас від точки прикладеної сили причіпного пристрою**

Рівномірне розміщення вантажу також покращує керуваність автомобіля, що особливо важливо при різких маневрах і гальмуванні. Наприклад, дослідження показали, що при зміщенні навантаження на передню вісь лише на 5%, гальмівний шлях може збільшитися на 8–10% через зниження ефективності зчеплення задніх коліс з дорогою. З іншого боку, розміщення вантажу в задній частині кузова на 10% від загальної довжини кузова зменшує ефективність передніх гальмівних механізмів на 5–7%, що також впливає на загальну безпеку під час руху.

Отже, раціональний підхід до розподілу вантажу між осями дозволяє підвищити загальну стійкість транспортного засобу, ефективність гальмування та маневрування, а також продовжити ресурс шин і дорожнього покриття. Це особливо важливо для транспортної галузі, де зростає попит на енергоефективні та надійні логістичні рішення.

#### Список використаної літератури

1. Мартинюк А. В., Марченко М. В., Соларьов О. О. Траєкторія криволінійного руху трактора [Електронний ресурс]. Технології XXI століття : збірник тез за матеріалами 27 міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми – Одеса, 24–26 листопада 2021 р.) (Ч. 1, с. 39–40). Суми – Одеса : СНАУ.
2. Мельник В. І., Довжик М. Я., Татяниченко Б. Я., Соларьов О. О. Кінематична невідповідність і динамічна нерівномірність навантаження спарених коліс трактора. Кінематична неузгодженість і динамічна нерівномірність навантаження спарених коліс трактора. Інженерія природокористування, 2015. (1), 90–95. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/IPrk\\_2015\\_1\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/IPrk_2015_1_18).
3. Довжик М. Я., Татяниченко Б. Я., Соларьов О. О. Силовий аналіз тракторного агрегату з пахотним плугом / О.В. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, 2015. (157), 208–214. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg\\_2015\\_157\\_38](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_157_38).
4. Кожушко А. П., Григор'єв О. Л. Моделювання зв'язаних коливань колісного трактора та цистерни з рідиною на прямій траєкторії зі складним рельєфом місцевості / О.В. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях, 2018. 34–61. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/e82dd96f-874a-415a-952d-71b162c727c4>.
5. Колодненко В.М., Соларьов О.О. Дослідження вільних коливань кузова автомобіля під час руху. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, 2022. 1(47), 55-58. URL: <https://www.snaubulletin.com.ua/index.php/mapp/article/download/885/808>
6. Соларьов О.О., Герасименко В.О., Таценко О.В. Методика розподілу навантаження на осі вантажного транспортного засобу», Вісник ВПІ, 2022. Вип. 6, С. 65–68, Груд. 2022. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2825>

#### References

1. Martyniuk, A. V., Marchenko, M. V., Solarov, O. O. (2021). Traiektoriia kryvoliniinoho rukhu traktora [Trajectory of curvilinear movement of the tractor] [Elektronnyi resurs]. Tekhnolohii XXI storichchia : zbirnyk tez za materialamy 27



mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Sumy – Odesa, 24–26 lystopada, 2021 r.) (Ch. 1, s. 39–40). Sumy – Odesa : SNAU [in Ukrainian].

2. Melnyk, V. I., Dovzhyk, M. Ya., Tatiachenko, B. Ya., & Solarov, O. O. (2015). Kinematychna nevidpovidnist i dynamichna nerivnomirnist navantazhennia sparenykh kolis traktora. [Kinematic inconsistency and dynamic unevenness of the load of paired tractor wheels]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*, (1), 90–95. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk\\_2015\\_1\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk_2015_1_18) [in Ukrainian].

3. Dovzhyk, M. Ya., Tatiachenko, B. Ya., & Solarov, O. O. (2015). Sylovyi analiz traktornoho ahrehatu z pakhotnym pluhom [Power analysis of a tractor unit with an arable plow]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, (157), 208–214. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg\\_2015\\_157\\_38](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_157_38) [in Ukrainian].

4. Kozhushko, A. P., Hryhoriev, O. L. (2018). Modeliuvannia zviiazanykh kolyvan kolisnoho traktora ta tsysterny z ridynoiu na priamii traiektorii zi skladnym reliefom mistseivosti [Modeling coupled vibrations of a wheeled tractor and a liquid tank on a straight path with complex terrain]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu “KhPI”*. Serii: Matematychni modeliuvannia v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, 34–61. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/e82dd96f-874a-415a-952d-71b162c727c4> [in Ukrainian].

5. Kolodnenko V.M., Solarov O.O. (2022). Doslidzhennia vilnykh kolyvan kuzova avtomobilia pid chas rukhu. *Visnyk Sums'koho natsionalnoho aharnoho universytetu*. Serii: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv, 1(47), 55-58. URL: <https://www.snaubulletin.com.ua/index.php/mapp/article/download/885/808>

6. Solarov O.O., Herasymenko V.O., Tatsenko O.V., (2022) *Metodyka rozpodilu navantazhennia na osi vantazhnoho transportnoho zasobu*», *Visnyk VPI*, vyp. 6, s. 65–68, Hrud. 2022. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2825>

В. О. СТРОЄВА

кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри математичного моделювання та системного аналізу  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-8890-9056

О. С. ТАРАСЮК

аспірант  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0009-1704-7749

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ

У роботі проведено дослідження питань оптимізації технічних задач проектування, що є ключовим елементом сучасної інженерної діяльності та сприяє підвищенню ефективності реалізації проектних рішень, особливо в умовах невизначеності, багатовекторного впливу внутрішніх і зовнішніх чинників, а також динамічно змінюваного середовища. Встановлено, що технологічні особливості управління та необхідність інтелектуального супроводу технічних задач проектування зумовлюють неможливість повторення процесів і формують унікальні, невідтворювані умови для реалізації проектів. У статті висвітлено основні аспекти оптимізації, що включають детальний аналіз сучасних підходів, методів та інструментів, які застосовуються у цій сфері, їх сильні сторони та недоліки, а також можливості для вдосконалення процесів проектування. Особливу увагу приділено таким методологіям, як інтервально-ймовірнісні алгоритми, нечітко-логічні моделі та генетичні алгоритми, які довели свою ефективність у роботі з неточними та неповними даними, дозволяючи знижувати вплив похибок вимірювань на кінцеві результати. Обґрунтовано доцільність використання поліметодичного підходу для вирішення задач оптимізації, який враховує складність технічних систем, їх нелінійний характер, а також взаємозалежність багатьох факторів, що визначають умови реалізації проектів. В межах дослідження розроблено практичні алгоритми та методологічні рекомендації, зокрема алгоритм підтримки ухвалення рішень, що стосуються передачі частини задач стороннім виконавцям. Запропоновано підходи, які охоплюють техніко-економічні, інформаційні та управлінські аспекти, що забезпечує підвищення ефективності процесів оптимізації. На основі отриманих результатів запропоновано шляхи вдосконалення процесів оптимізації технічних задач проектування, які забезпечують більшу гнучкість і стійкість інженерних рішень, відповідаючи викликам сучасного швидкозмінного середовища. Отримані результати є значущими не лише з теоретичної точки зору, але й мають практичну цінність для подальшого використання в інженерній практиці.

**Ключові слова:** технічні задачі, проектування, нечітко-логічні методи, логіка процесів, математичний алгоритм, лінгвістична оцінка.

V. O. STROIEVA

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Mathematical Modeling  
and System Analysis  
Dniprovsky State Technical University  
ORCID: 0000-0001-8890-9056

O. S. TARASIUK

Postgraduate Student  
Dniprovsky State Technical University  
ORCID: 0009-0009-1704-7749

## STUDY OF TECHNICAL DESIGN OPTIMIZATION PROBLEMS

The article studies the issues of optimization of technical design tasks, which is a key element of modern engineering activities and contributes to increasing the efficiency of implementing design solutions, especially in conditions of uncertainty, multi-vector influence of internal and external factors, as well as a dynamically changing environment. It is established that the technological features of management and the need for intellectual support of technical design tasks make it impossible to repeat processes and form unique, unrepeatable conditions for the implementation of projects. The article highlights the main aspects of optimization, including a detailed analysis of modern approaches, methods and tools used in this area, their strengths and weaknesses, as well as opportunities for improving design processes. Particular

attention is paid to such methodologies as interval-probabilistic algorithms, fuzzy-logical models and genetic algorithms, which have proven their effectiveness in working with inaccurate and incomplete data, allowing to reduce the impact of measurement errors on the final results. The author substantiates the feasibility of using a multi-method approach to solving optimization problems, which takes into account the complexity of technical systems, their nonlinear nature, as well as the interdependence of many factors that determine the conditions for project implementation. Within the framework of the study, practical algorithms and methodological recommendations have been developed, in particular, an algorithm for supporting decision-making regarding the transfer of part of the tasks to third-party performers. Approaches have been proposed that cover technical and economic, informational and managerial aspects, which ensures increased efficiency of optimization processes. Based on the results obtained, ways of improving the optimization processes of technical design tasks have been proposed, which provide greater flexibility and stability of engineering solutions, meeting the challenges of the modern rapidly changing environment. The results obtained are significant not only from a theoretical point of view, but also have practical value for further use in engineering practice.

**Key words:** technical tasks, design, fuzzy-logical methods, process logic, mathematical algorithm, linguistic evaluation.

### Постановка проблеми

В умовах стрімкого розвитку технологій та підвищення вимог до інженерних рішень питання оптимізації технічних задач проектування набуває особливого значення. Сучасні проекти, незалежно від галузі застосування, потребують високого рівня точності, мінімізації витрат ресурсів та забезпечення відповідності екологічним стандартам. Це вимагає впровадження нових підходів до розв'язання складних технічних задач, які виникають у процесі проектування. Дослідження у цій сфері є актуальними через необхідність підвищення ефективності розробки інноваційних технічних систем, скорочення часу на їх створення та оптимального використання матеріальних і людських ресурсів. Особливого значення набуває розробка методів і алгоритмів, які дозволяють враховувати багатофакторність умов проектування, включаючи економічні, технічні та соціальні аспекти. Отже, дослідження, спрямовані на вирішення проблем оптимізації технічних задач проектування, є не лише науково значущими, але й практично корисними, оскільки дозволяють розробляти більш ефективні, економічно вигідні та екологічно безпечні рішення.

### Аналіз основних досліджень і публікацій

Одним із найбільш поширених напрямів досліджень є використання інтервально-ймовірнісних алгоритмів, які пропонуються як ефективний інструмент для роботи з неповними даними. У ряді робіт зазначається, що ці алгоритми дозволяють враховувати неточності та похибки вхідних даних, розширюючи можливості традиційних методів ймовірнісного аналізу [1]. Інший напрям досліджень – нечітко-логічні моделі, які знаходять широке застосування в умовах, коли формалізація технічних задач ускладнена через наявність якісної та невизначеної інформації. Як відзначається у [2], нечітка логіка дозволяє ефективно моделювати складні системи за допомогою лінгвістичних змінних, що сприяє прийняттю більш гнучких управлінських рішень у процесі проектування.

Особливе місце займає використання генетичних алгоритмів для оптимізації, які базуються на принципах природного відбору та є ефективними для пошуку глобального оптимуму у складних багатовимірних задачах. У роботі [3], генетичні алгоритми розглядаються як потужний інструмент для розв'язання задач, які включають багатокритеріальні обмеження та вимагають швидкого досягнення результатів.

Значна кількість досліджень присвячена інтеграції різних методів у межах поліметодичних підходів. Наприклад, у дослідженні від Адібфар А., Костін А., Ісса Р. [4], акцентується увага на перевагах комбінування генетичних алгоритмів із нечіткою логікою та інтервально-ймовірнісними моделями, що дозволяє враховувати складність і багатовекторність впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на процес проектування. Не менш важливим є розгляд питань підтримки ухвалення рішень у проектуванні, зокрема щодо передачі частини задач стороннім виконавцям. У роботі [5], представлено алгоритми оцінки доцільності аутсорсингу проектних робіт, що враховують не лише техніко-економічні показники, але й аспекти інформаційної безпеки та рівень кваліфікації виконавців. Аналіз демонструє, що проблема оптимізації технічних задач проектування має багатогранний характер і потребує комплексного підходу, що об'єднує сучасні математичні методи, інформаційні технології та управлінські рішення.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є виявлення та обґрунтування методів та підходів до оптимізації технічних задач проектування в умовах багатофакторності, невизначеності та динамічності.

Основними цілями дослідження є необхідність дослідити перспективні методи і підходи до оптимізації, включаючи інтервально-ймовірнісні алгоритми, нечітко-логічні моделі та генетичні алгоритми, для визначення їх ефективності в умовах недостатньо повних і невизначених даних; розробити комплексний поліметодичний підхід, який враховуватиме складність та багатовимірність впливу як зовнішніх, так і внутрішніх факторів на процеси вирішення технічних задач проектування; сформулювати алгоритм ухвалення рішень, що базуватиметься на специфіці технічних задач проектування і сприятиме оцінці доцільності передачі окремих проектних завдань.

### Викладення основного матеріалу дослідження

В аспекті формування методичного базису дослідження ми виходимо з положення про те, що технологічна особливість управління і інтелектуальна потреба супроводу технічних задач проектування обумовлює неможливість повторення явищ, що відбуваються в процесі їх розв'язання. Окрім умови оптимізації технічних задач проектування, визначальним фактором зовнішнього середовища, під впливом якого перебуває велика кількість врахованих і неврахованих чинників, стає динаміка, що формує невідтворювані умови в яких реалізується проєкт. Усе це говорить про необхідність поліметодичного розгляду проблем оптимізації технічних задач проектування.

Для глибшого розуміння проблематики оптимізації технічних задач проектування та визначення шляхів їх ефективного вирішення необхідно провести аналіз сучасних підходів, інструментів і методів, які застосовуються у цій сфері. Основна частина роботи присвячена дослідженню ключових аспектів оптимізації, зокрема аналізу існуючих методологій, їх переваг та недоліків, а також можливостей удосконалення процесів проектування.

Визначальною проблемою є складність математичного моделювання та алгоритмізації процесів оптимізації, оскільки технічні задачі проектування, як правило, є багатофакторними і нелінійними. У багатьох випадках класичні методи оптимізації, такі як методи лінійного програмування або градієнтні методи, не можуть забезпечити належну ефективність через складність розв'язуваних задач, особливо коли вони включають стохастичні елементи або динамічні зміни параметрів, що і визначає доцільність необхідності використання сучасних підходів, таких як інтервально-ймовірнісні алгоритми, генетичні алгоритми, нечітко-логічні методи, нейронні мережі, які мають здатність працювати з великими обсягами даних і враховувати складні залежності.

Ще однією значущою проблемою є недостатність даних або їх низька якість, що ускладнює точність розрахунків і впровадження оптимізаційних рішень. У проектуванні часто стикаються з невизначеністю вихідних даних або неповнотою інформації про зовнішні умови, які можуть впливати на ефективність реалізації проєкту [6]. Дослідимо можливості впровадження ряду нескладних і практично цінних методичних підходів щодо оптимізації внутрішніх технічних задач в інженерній справі.

1. *Інтервально-ймовірнісний метод.* Згідно з цим підходом спостереження представляються не у вигляді чисел, а у вигляді інтервалів, що відображають діапазон можливих значень спостережуваних величин в середовищі оптимізації технічних задач проектування. Так, ми можемо відзначити, що в результаті спостереження стають відомими не елементи вибірки  $x_j$ , а величини  $y_j = x_j + \varepsilon_j$ , де,  $\varepsilon_j$  – похибки вимірів, досліджень технічних задач проектування. Тоді статистичним розподілом, якому відповідають вказані спостереження, є не  $f(x)$ , а  $f(y)$ , відмінність між якими виражається як:  $N_f(x) = \sup |f(y) - f(x)|$  (супремум береться за безліччю можливих значень вектору похибок. Використання цієї методики за рахунок розширення ймовірнісних величин на інтервально-ймовірнісний дозволяє ослабити допущення класичного ймовірнісно-статистичного підходу, що робить можливим його обґрунтоване застосування в умовах недостатньої кількості однорідних спостережень в інженерному проектуванні та оптимізації внутрішніх технічних задач [7].

2. *Нечітко-логічні методи оптимізації технічних задач проектування.* Використання цього методу і практичних компонентів найбільш доцільне у випадках великої складності досліджуваного об'єкту, його нелінійності, складності формалізації і в ситуаціях, коли джерела інформації інтерпретуються якісно, неточно або невизначено. Основою нечітко-логічних методів оптимізації технічних задач проектування є поняття нечіткої великої кількості. Під нечіткою множиною  $A$  на універсальній множині  $X = \{x\}$  розуміється сукупність пар  $A = \{\mu_A(x), x\}$ , де  $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$  – функція приналежності нечіткої множини. Тоді значення цієї функції приналежності  $\mu_A(x)$  для елемента  $x \in X$  називається мірою приналежності. Однією з центральних проблем практичного застосування нечітких множин в задачах оптимізації є побудова функцій приналежності. Серед таких методів виділяють прямі (завдання функцій приналежності графіком, таблицею або формулою), а також непрямі (статистичний метод, метод субтрактивної кластеризації, метод на основі експертних оцінок, параметричні методи тощо) [8]. Важливою складовою нечітко-логічного підходу є поняття лінгвістичної змінної, що дозволяє формалізувати нечіткі поняття звичайної мови. Під лінгвістичною змінною розуміється набір:

$$\beta = \{\beta, T, X, G, M\}, \quad (1)$$

де:  $\beta$  – її найменування;  $T$  – множина її значень (термів), що є найменуваннями нечітких змінних  $\{\alpha, X_\alpha, A\}$ , де  $\alpha$  – ім'я нечіткої змінної;  $A$  – нечітка множина на області визначення  $X_\alpha$ ;  $G$  – синтаксична процедура, що дозволяє генерувати нові терми;  $M$  – семантична процедура, що дозволяє перетворити генеровані синтаксичною процедурою терми на нечітку змінну.

При цьому лінгвістичні змінні можуть бути як числовими (тоді її терм-множину складають нечіткі числа), так і нечисловими, що дозволяє відображати і фізичну (кількісну), і лінгвістичну (якісну) невизначеність.

3. *Оцінка альтернатив оптимізації при адитивності показників оцінки.* Нехай задано  $n$  альтернатив  $A_i, i = \overline{1, n}$ , які слід оцінити за  $t$  показниками  $x_j, j = \overline{1, t}$  відносна важливість кожного з яких задана ваговим коефіцієнтом,

$w_j, j = \overline{1, m}$ . У випадку, коли вказані показники є адитивними, то зважена оцінка  $i$ -ої альтернативи розв'язання задачі обчислюється за формулою:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_j R_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (2)$$

де:  $R_{ij}$  – оцінка  $i$ -ої альтернативи за  $j$ -м показником. У разі, якщо оцінки нормовані, то використовується наступна формула:

$$R_i = \sum_{j=1}^m w_j R_{ij} \quad (3)$$

Оскільки оцінки є нечіткими числами, то в умовах задач оптимізації для множення і підсумовування вимагається реалізовувати вказані формули відповідно до одного із способів нечіткої арифметики і м'яких обчислень, зокрема інтервального методу або на основі принципу нечіткого узагальнення [9]. У разі, якщо оцінки виражені у вигляді трикутних або трапецеїдальних чисел, результатом підсумовування алгебри будуть також трикутні і трапецеїдальні числа відповідно, а результатом множення і ділення в загальному випадку стає нечітке число довільного виду. Після обчислення зважених оцінок  $R_i$  вимагається порівняти альтернативи  $A_i$  на їх основі. Найкращою визнається альтернатива, що зайняла перше місце у впорядкованій множині.

4. *Нечітка логіка процесів*. Система нечіткого виводу для оптимізації технічних задач проектування – це «процес отримання нечітких висновків про необхідне управління об'єктом на основі нечітких умов або передумов, що є інформацією про поточний стан об'єкту». У своїй основі системи нечіткого виводу мають базу знань, яка формується фахівцями предметної області і призначена для формалізації їх емпіричних знань у вигляді сукупності нечітких когнітивних оптимізацій наступного виду [10]:

$$(i): Q, P, A \rightarrow B, S, F, N \quad (4)$$

де  $(i)$  – ім'я нечіткої продукції;  $Q$  – сфера її застосування;  $P$  – умова застосовності її ядра;  $A \rightarrow B$  – ядро нечіткої продукції, в якому: 1)  $A$  – умова ядра (антецедент), 2)  $B$  – укладення ядра (консеквент), 3)  $\rightarrow$  – позначення логічної операції імплікації;  $S$  – метод визначення кількісного значення ступеня істинності утворення ядра;  $F$  – коефіцієнт упевненості нечіткої продукції;  $N$  – постумови виконання проекту.

Ядро  $A \rightarrow B$  є центральним компонентом системи нечіткого виводу і представляється зазвичай у вигляді нечіткого предикативного правила виду:  $P_i$ . Якщо  $x \in A_i$ , тоді  $y \in B_i$ , де  $x$  – вхідна змінна,  $y$  – змінна виводу,  $A$  і  $B$  – функції приналежності, визначені відповідно на  $x$  та  $y$ . Процедура логічного висновку зазвичай складається з наступних основних етапів: введення нечіткості (фазифікація), агрегація ступеня істинності передумов правил, активізація висновків правил, акумуляція активізованих висновків правил і приведення до чіткості (дефазифікація). При цьому компоненти нечітких моделей можуть мати різну реалізацію і вибір конкретної реалізації одного з компонентів часто визначає вибір і усіх інших компонентів.

5. *Алгоритм підтримки ухвалення рішення про передачу технічних задач проектування стороннім виконавцям (системний аутсорсинг)*. У разі технологічної і витратної необхідності, має бути вибрано пріоритетні напрями виконання технічних задач проектування «вибіркового аутсорсингу» або «комплексного аутсорсингу», при цьому актуальним стає завдання оцінки доцільності передачі конкретних проектних робіт стороннім виконавцям. Цю проблему ми зводимо до рішення задачі багатокритерійної бінарної класифікації: залежно від результатів оцінки задачі проектування, за множиною показників вимагається віднести її до одного з двох класів, тобто виконати відображення виду  $f(R): R \rightarrow Y \in \{C_1, C_2\}$ , де  $C_1$  – клас робіт, для яких застосування аутсорсингу є недоцільним,  $C_2$  – клас задач проектування, для виконання яких доцільно залучити сторонніх виконавців. Пропонується наступна сукупність показників такої класифікації:

- Вплив роботи на інформаційну безпеку замовника проекту ( $z_1$ ):
  - величина втрат через недоступність пов'язаних з роботою проектних сервісів ( $z_{1,1}$ ), тис. грн.;
  - величина втрат через порушення цілісності даних за допомогою використання пов'язаних з роботою сервісів ( $z_{1,2}$ ), тис. грн.;
  - величина втрат від порушення конфіденційності даних через використання пов'язаних з роботою проектних сервісів ( $z_{1,3}$ ), тис. грн.;
- Техніко-економічні характеристики проектних робіт ( $z_2$ ) [11]:
  - термін виконання роботи власними силами ( $z_{2,1}$ ), днів;
  - термін виконання роботи із залученням аутсорсингу ( $z_{2,2}$ ), днів;
  - вартість виконання роботи власними силами ( $z_{2,3}$ ), тис. грн.;
  - вартість виконання роботи із залученням аутсорсингу ( $z_{2,4}$ ), тис. грн.;
  - число дій ( $z_{2,5}$ ), що блокуються завданням, од.

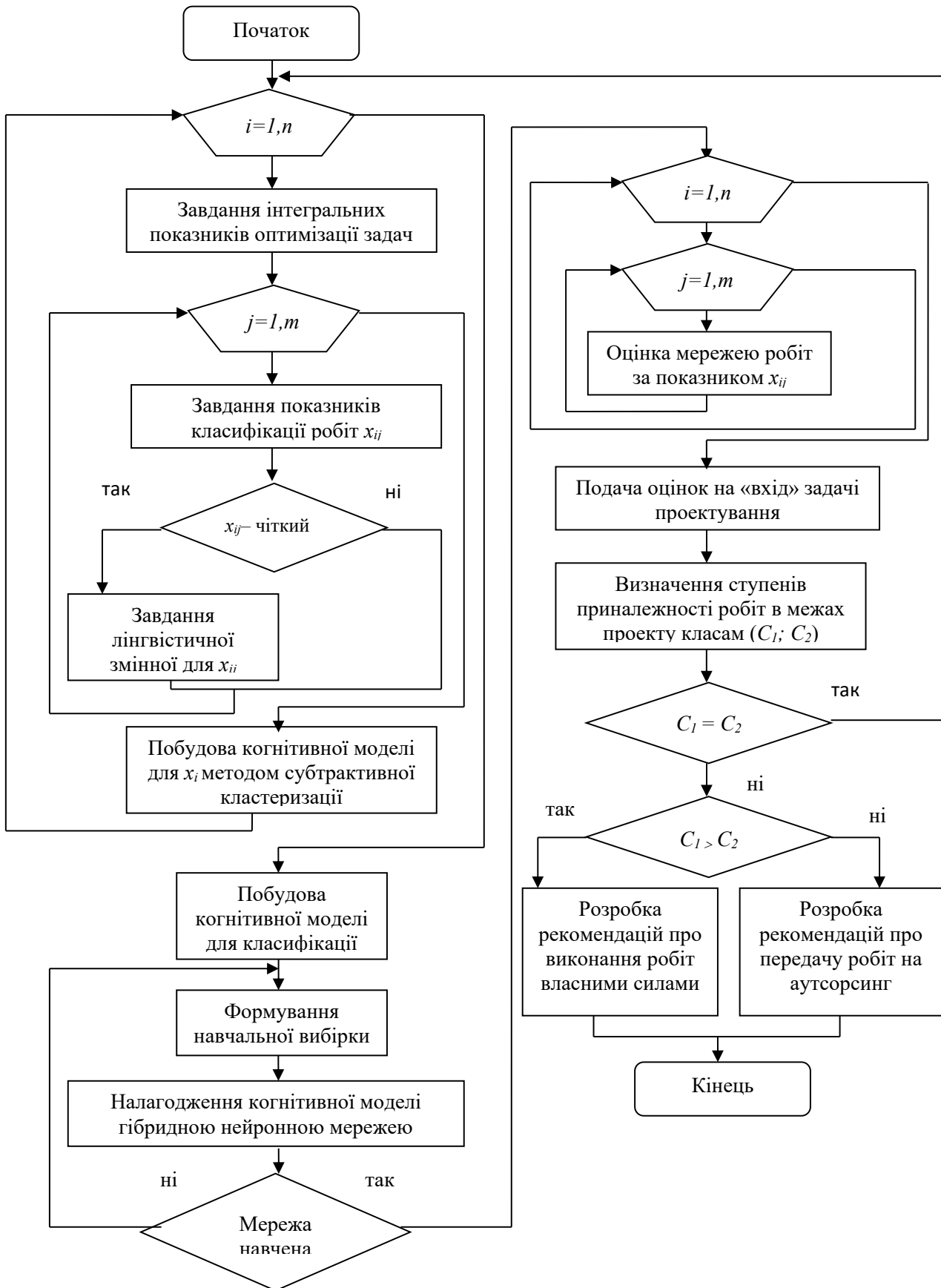


Рис. 1. Блок-схема алгоритму оцінки варіантів оптимізації і виконання технічних задач проектування

3. Рейтинг потенційного стороннього виконавця проектних робіт ( $z_3$ ).

4. Готовність головного підрядника виконувати роботи за проектом самостійно ( $z_4$ ):

– кількість аналогічних робіт, вже виконаних персоналом підрядника ( $z_{4,1}$ ), од.;

– частка співробітників з вченим ступенем у штаті ( $z_{4,2}$ ), од.;

– частка витрат на R&D у виручці ( $z_{4,3}$ ), %;

– середня вартість раніше виконаних проектів ( $z_{4,4}$ ), тис. грн.;

– кількість аналогічних виконаних проектів ( $z_{4,5}$ ), од.;

– відповідність процесів підрозділів політиці та стандартам інформаційної безпеки ( $z_{4,6}$ ), лінгвістична оцінка;

– забезпеченість необхідною інфраструктурою і інструментальними засобами ( $z_{4,7}$ ), лінгвістична оцінка;

– рівень володіння необхідними технологіями ( $z_{4,8}$ ), лінгвістична оцінка;

– рівень кваліфікації інженерної команди ( $z_{4,9}$ ), лінгвістична оцінка;

– актуальність використовуваного технологічного і інструментального стека ( $z_{4,10}$ ), лінгвістична оцінка;

– поширеність практики рев'ю і аудиту результатів ( $z_{4,11}$ ), лінгвістична оцінка;

– стабільність застосування автоматизованих інструментів забезпечення якості виконання проектних робіт ( $z_{4,12}$ ), лінгвістична оцінка [3].

Застосування запропонованої сукупності показників припускає, що потенційний сторонній виконавець вже обраний. Так пропонується алгоритм оцінки доцільності передачі конкретних робіт в межах проекту на аутсорсинг, блок-схема якого представлена на рисунку 1.

Сучасна практика технічних задач проектування використовує велику кількість алгоритмів класифікації композитних проектних робіт, проте більшість з них мають істотний недолік – вони працюють за принципом «чорного ящика», тобто спроби явної інтерпретації закономірностей, що призводять до віднесення об'єкту до одного з класів, і це призводить до певних складнощів [12]. Такого недоліку позбавлені класифікатори, засновані на когнітивних моделях представлення знань, в основі яких лежить база правил. З урахуванням того, що роботи в межах окремих задач проектування, зазвичай, є унікальними і специфічними, можна зробити висновок про те, що «точна» оцінка показників  $z_{1,1} - z_{1,3}$ ,  $z_{2,1} - z_{2,4}$ , представляється складною, а використання ймовірнісних методів для виключення невизначеності ускладнюється недоліком релевантної статичної інформації для визначення та застосування конкретного закону розподілу. В свою чергу, показники  $z_{4,6} - z_{4,12}$  є якісними і не мають фізичної шкали виміру.

### Висновки

У ході дослідження були проаналізовані методологічні підходи до оптимізації технічних задач, зокрема, значна увага була приділена таким методам, як інтервально-ймовірнісні підходи, нечітко-логічні моделі та алгоритми підтримки ухвалення рішень, які надають можливість враховувати невизначеність вихідних даних і мінімізувати вплив похибок вимірювань на точність отриманих результатів. Проведений аналіз переваг і недоліків сучасних методів оптимізації, таких як генетичні алгоритми, методи нечіткої логіки та принципи нечіткої арифметики, продемонстрував, що їх інтеграція з традиційними підходами сприяє підвищенню адаптивності процесів проектування до змінних умов зовнішнього середовища. Доведено необхідність застосування поліметодичного підходу у вирішенні задач оптимізації, який враховує багатовимірність і складність сучасних інженерних систем, а також їх взаємозалежність і вплив різноманітних факторів. Отримані результати підтверджують, що комбінування кількох методів дозволяє досягти більш ефективного балансу між технічними, економічними та екологічними аспектами, що є ключовими критеріями оцінки проектів.

У результаті дослідження було розроблено алгоритми та методологічні рекомендації, спрямовані на підвищення ефективності процесів проектування шляхом інтеграції сучасних інформаційних технологій і когнітивних підходів. Зокрема, запропоновано алгоритм підтримки ухвалення рішень, що стосується передачі частини задач проектування стороннім виконавцям, із використанням когнітивних моделей і нечітких оцінок. Також були визначені шляхи вдосконалення процесів оптимізації технічних задач, що включають впровадження систем нечіткої логіки, застосування нейронних мереж для моделювання та аналізу складних систем, а також використання сучасних хмарних платформ для спільного виконання проектних робіт. Це закладає основи для створення більш гнучких і адаптивних механізмів управління технічними проектами в умовах динамічних змін і складних викликів сучасності.

### Список використаної літератури

1. Marzouk M., Abubakr A. Decisions up port for to wercranese lection with building information models and genetic algorithms. *Automation in Construction*. 2016. no 61. p. 1–15.
2. Yashchenko V.A. Neural-like growing network sin the development of general intelligence. Neural-like element (P.I) *Mathematical machines and systems*. 2022. No 4. P. 15–36.
3. Безклубенко І. С., Гетун Г. В., Баліна О. І., Буценко Ю. П. Дослідження властивостей множини ефективних значень критеріїв в задачі оптимізації інженерної мережі. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 51, с. 81–86. DOI: 10.32347/2412-9933.2022.51.81-86

4. Adibfar A., Costin A., Issa R.R.A. Design Copyright in Architecture, Engineering, and Construction Industry: Review of History, Pitfalls, and Lessons Learned. *Journal of legal affairs and dispute resolution in engineering and construction*. 2020. 12. 04520032. DOI:10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000421.
5. Chernyshev D., Ryzhakov D., Dikiy O., Khomenko O., Petrukha S. Innovative Methodology and Management Tools of Commercial Real Estate. *International Journal on Emerging Technologies*. 2020. № 11 (5). P. 283–289.
6. Pajak K., Omelyanenko V., Makedon V., Shevchenko V., Ovcharenko I. Raising the level of financial security of the enterprise based on the basic risks differentiation. *Journal of Security and Sustainability Issues*. 2020. No 10(1). pp. 115–130. [https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1\(9\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1(9)).
7. Смолич Д.В. Інноваційні методи управління проектами. *Економічний форум*. 2019. № 1. С. 50–53. 10.36910/6765-2308-8559-2019-4-8.
8. Prasad V., Khare R., Palod N. A new multi-objective evolutionary algorithm for the optimization of water distribution networks. *Water Science & Technology Water Supply*. 2022.No 22(6). P. 8972–8987. DOI: 10.2166/ws.2022.413.
9. Yi W., Chi H-L., Wang S. Mathematical programming models for construction site layout problems. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 85. P. 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.031>.
10. Scibilia A., Pedrocchi N., Fortuna L. Human Control Model Estimation in Physical Human–Machine Interaction: A Survey. *Sensors*. 2022. № 22(5). P. 1732. <https://doi.org/10.3390/s22051732>.
11. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. Smart construction sites: A promising approach to improving on site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104007>
12. Македон В., Михайленко О., Красніков П. Управління розробкою та реалізацією національних і міжнародних проектів у сфері відновлювальної енергетики. *Підприємництво та інновації*. 2023. №(26). с. 5–13. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/26.1>.

#### References

1. Marzouk, M., & Abubakr, A. (2016). Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms. *Automation in Construction*, 61, 1–15.
2. Yashchenko, V.A. (2022). Neural-like growing networks in the development of general intelligence. Neural-like element (P. I) Mathematical machines and systems, N4, 15–36.
3. Bezklubenko, I. S., Getun, G. V., Balina, O. I., Butsenko, Yu. P. (2022). Study of the properties of the set of effective criteria values in the engineering network optimization problem. Management of the development of complex systems, No. 51, 81–86. DOI: 10.32347/2412-9933.2022.51.81-86
4. Adibfar, A., Costin, A., Issa, R.R.A. (2020). Design Copyright in Architecture, Engineering, and Construction Industry: Review of History, Pitfalls, and Lessons Learned. *Journal of legal affairs and dispute resolution in engineering and construction*, 12, 04520032. DOI:10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000421.
5. Chernyshev, D., Ryzhakov, D., Dikiy, O., Khomenko, O., Petrukha, S. (2020). Innovative Methodology and Management Tools of Commercial Real Estate. *International Journal on Emerging Technologies*, 11 (5), 283–289.
6. Pajak, K., Omelyanenko, V., Makedon, V., Shevchenko, V., Ovcharenko, I. (2020). Raising the level of financial security of the enterprise based on the basic risks differentiation. *Journal of Security and Sustainability Issues*, № 10(1), 115–130. [https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1\(9\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1(9)).
7. Smolych, D.V. (2019). Innovative project management methods. *Economic forum*. 1. 50–53. 10.36910/6765-2308-8559-2019-4-8.
8. Prasad, V., Khare, R., Palod, N. (2022). A new multi-objective evolutionary algorithm for the optimization of water distribution networks. *Water Science & Technology Water Supply*, 22(6), 8972–8987. DOI: 10.2166/ws.2022.413
9. Yi, W., Chi, H-L., Wang, S. (2018). Mathematical programming models for construction site layout problems. *Automation in Construction*, Vol. 85, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.031>.
10. Scibilia, A., Pedrocchi, N., Fortuna, L. (2022). Human Control Model Estimation in Physical Human–Machine Interaction: A Survey. *Sensors*, 22(5), 1732. <https://doi.org/10.3390/s22051732>.
11. Xu, M., Nie, X., Li, H., Cheng, J., Mei, Z. (2022). Smart construction sites: A promising approach to improving onsite HSE management performance. *Journal of Building Engineering*, Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104007>
12. Makedon, V., Mykhaylenko, O., Krasnikov, P. (2023). Management of development and implementation of national and international projects in the field of renewable energy. *Entrepreneurship and innovation*, (26), 5–13. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/26.1>.



О. І. ТЕСЛЕНКО

кандидат технічних наук, старший дослідник,  
провідний науковий співробітник відділу трансформації структури  
паливно-енергетичного комплексу  
Інститут загальної енергетики Національної академії наук України  
ORCID: 0000-0002-3772-5991

К. В. ТАРАНЕЦЬ

аспірант відділу прогнозування енергетичної ефективності  
та перспективних паливно-енергетичних балансів  
Інститут загальної енергетики Національної академії наук України  
ORCID: 0009-0007-7357-2594

## ВПЛИВ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ НА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

У даній статті представлені результати розрахунково – аналітичного дослідження впливу низьковуглецевої технологічної трансформації чорної металургії на обсяги споживання електроенергії та потреби в електрогенеруючих потужностях для задоволення цього споживання електроенергії, а також на зміну обсягів викидів парникових газів внаслідок цієї технологічної трансформації. Перспективний прогноз цієї низьковуглецевої технологічної трансформації передбачає поступову заміну традиційної аглодоменої технології виробництва сталі з застосуванням кисневого конвертора технологію прямого відновлення заліза воднем з використанням електродугової сталеплавильної печі. В якості проміжної (перехідної) технології цієї трансформації використовується аглодомена технологія виробництва сталі із застосуванням електродугової сталеплавильної печі. Для всіх технологій використовується технологія безперервного лиття заготовки. Варіантні розрахунки проводились для загального річного виробництва сталі 10,0 млн т/рік для забезпечення можливості подальшого індикативного масштабування стосовно перспективних обсягів річного виробництва сталі. Показано, що внаслідок застосування електролізної технології отримання водню, технології прямого відновлення заліза та електродугової сталеплавильної технології споживання електроенергії зростає з 2,74 млрд кВт·год/рік до 35,13 млрд кВт·год/рік (в 12,84 рази) порівняно із традиційною аглодоменою технологією виробництва сталі з застосуванням кисневого конвертора. При цьому необхідна потужність електрогенерації зростає з 0,48 ГВт до 6,15 ГВт (в 12,84 рази). Викиди парникових газів в результаті такої трансформації зменшуються з 17,98 млн т CO<sub>2</sub>-екв/рік до 7,0 млн т CO<sub>2</sub>-екв/рік (в 2,57 рази). В перспективі викиди парникових газів можна зменшити до нульових значень із застосуванням безвуглецевих технологій електрогенерації з відновлювальних джерел енергії – сонячних, вітрових та гідралічних електростанцій. Однак, зважаючи на стохастичний (мінливий) характер електрогенерації сонячними та вітровими електростанціями, необхідність забезпечення безперервного та стабільного постачання електроенергією металургійного виробництва в зростаючих обсягах її потужності є завданням найближчих десятиліть. Результати цього дослідження можуть бути використанні при прогнозованому плануванні розвитку електрогенеруючих потужностей Об'єднаної енергетичної системи України.

**Ключові слова:** декарбонізація, чорна металургія, технологічна трансформація, потреби електроенергії, потужність електрогенерації, парникові гази.

О. І. TESLENKO

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,  
Leading Researcher at the Department of Transformation of the Structure  
of the Fuel and Energy Complex  
General Energy Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine  
ORCID: 0000-0002-3772-5991

К. В. TARANETS

Postgraduate Student at the Department of Energy Efficiency Forecasting  
and Prospective Fuel and Energy Balances  
General Energy Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine  
ORCID: 0009-0007-7357-2594

## IMPACT OF LOW-CARBON TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION OF FERROUS METALLURGY ON ELECTRICITY CONSUMPTION

This article presents the results of a computational and analytical study on the impact of the low-carbon technological transformation of ferrous metallurgy on electricity consumption and the demand for electricity generation capacities to meet this consumption, as well as the change in greenhouse gas emissions resulting from this transformation. The prospective forecast of this low-carbon technological transformation includes the gradual replacement of the traditional sinter-blast furnace technology of steel production using an oxygen converter with the technology of direct reduction of iron with hydrogen using an electric arc steelmaking furnace. The sinter-blast furnace technology and an electric arc steelmaking furnace of steel production is used as an intermediate (transitional) technology in this transformation. The technology of continuous billet casting is applied to all technologies. Variant calculations were carried out for a total annual steel production of 10.0 million tons/year to ensure the possibility of further indicative scaling in relation to the prospective volumes of annual steel production. It is shown that as a result of the application of electrolysis technology for hydrogen production, direct iron reduction technology, and electric arc steelmaking technology, electricity consumption will increase from 2.74 billion kWh/year to 35.13 billion kWh/year (12.84 times) compared to the traditional sinter-blast furnace technology for steel production using an oxygen converter. At the same time, the required power generation capacity will increase from 0.48 GW to 6.15 GW (12.84 times). Greenhouse gas emissions as a result of such a transformation will decrease from 17.98 million tons of CO<sub>2</sub>-eq/year to 7.0 million tons of CO<sub>2</sub>-eq/year (2.57 times). In the future, greenhouse gas emissions can be reduced to zero with the use of carbon-neutral electricity generation technologies from renewable energy sources such as solar, wind and hydroelectric power plants. However, given the stochastic (variable) nature of electricity generation by solar and wind power plants, ensuring a continuous and stable electricity supply to metallurgical production as its capacity increases is a task for the coming decades. The results of this study can be used in forecasting the development of electricity generating capacities of the Integrated Power System of Ukraine.

**Key words:** decarbonization, ferrous metallurgy, technological transformation, electricity demand, electricity generation capacity, greenhouse gases.

### Постановка проблеми

Одним з головних завдань сталого розвитку людської цивілізації є запобігання змінам клімату внаслідок антропогенного впливу на довкілля, зокрема зменшення утворення парникових газів (ПГ) для обмеження поступового глобального зростання температури атмосферного повітря. Чорна металургія відноситься до найбільших джерел за обсягами викидів ПГ енергоємними галузями промисловості в світі та в Україні: до 7% загальносвітових викидів ПГ продукується при виробництві чавуну та сталі, а в Україні цей показник досягає 14% (або майже 57% щорічних викидів ПГ в промисловості країни) та є визначальною галуззю промисловості щодо зменшення викидів ПГ [1, 2]. Ця обставина обумовлює актуальність наукових досліджень щодо аналізу напрямів та технологічних заходів зменшення викидів ПГ у чорній металургії, а також супутніх ефектів, які при цьому супроводжують зміни у дотичних галузях економіки, насамперед, в електроенергетиці.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню низьковуглецевої технологічної трансформації промислових виробництв металургійної промисловості за останнє десятиліття присвячено значна кількість наукових праць закордонних [3–8] та українських фахівців [9–14]. Наведені дослідження оцінюють рівень викидів ПГ за існуючими технологіями металургійного виробництва та прогнозують зменшення викидів ПГ внаслідок впровадження новітніх технологій виробництва заліза, чавуну та сталі на перспективу до 2050 р. Однак в наведених роботах не досліджується вплив технологічних змін при переході традиційної технологічної схеми металургійного виробництва до інноваційних низьковуглецевих технологій отримання сталі на суміжні галузі економіки, насамперед, на електроенергетику та на потреби у додаткових потужностях електрогенерації.

### Формулювання мети дослідження

Метою цього дослідження є визначення розрахунково-аналітичним методом впливу низьковуглецевої технологічної трансформації промислових виробництв чорної металургії на обсяги споживання електроенергії та потреб в електрогенеруючих потужностях для задоволення цього споживання електроенергії, а також на обсяги викидів ПГ внаслідок цієї технологічної трансформації.

### Викладення основного матеріалу дослідження

**Методичні положення.** Загальне річне споживання електроенергії  $E^{заг}$  при виробництві сталі з використанням кількох технологій можна визначити наступним чином

$$E^{заг} = \sum_{j=1}^J e_j^{ел} \cdot b_j \cdot C^{заг}, \text{ млн кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}; \quad (1)$$

де  $j$ ,  $J$  – порядковий номер  $j$  та загальна кількість  $J$  використаних технологій виробництва сталі, одиниць;  
 $e_j^{ел}$  – питомі витрати електроенергії при виробництві сталі за технологією  $j$ , кВт·год/т сталі;

$b_j = C_j / C^{заг}$ ;  $\sum b_j = 1$  – частка виробництва сталі з використанням технології  $j$  в загальному річному виробництві сталі,-;

$C_j$  – річне виробництво сталі з використанням технології  $j$ , млн т/рік;

$C^{заг}$  – загальне річне виробництво сталі з використанням технологій  $J$ , млн т/рік.

Необхідну потужність електричної генерації  $P^{ем}$  для забезпечення потреб виробництва сталі можна обрахувати за формулою

$$P^{ст} = \frac{E^{заг}}{1000 \cdot D \cdot \Gamma} \cdot \frac{k_{нв} \cdot k_3}{(1 - k_{тр})}, \text{ ГВт} \tag{2}$$

де  $k_{нв}$  – коефіцієнт неврахованих витрат електроенергії при виробництві сталі, -;

$k_{тр}$  – коефіцієнт врахування втрат електроенергії при її транспортуванні до металургійних підприємств, -;

$k_3$  – коефіцієнт нерівномірності споживання електроенергії при виробництві сталі, -;

$D = 365$  – кількість днів в році, днів/рік;

$\Gamma = 24$  – кількість годин в добі, год/добу.

Загальні річні обсяги викидів ПГ  $G^{заг}$  при виробництві сталі з використанням кількох технологій можна визначити наступним чином

$$G^{заг} = \sum_{j=1}^J g_j^{пг} \cdot b_j \cdot C^{заг}, \text{ млн т CO}_{2-екв}/\text{рік}, \tag{3}$$

де  $g_j^{пг}$  – питомі обсяги викидів ПГ при виробництві сталі за технологією  $j$ , т  $\text{CO}_{2-екв}$  /т сталі;

інші позначення згідно з формулою (1).

**Вихідні дані.** Перспективний прогноз низьковуглецевої технологічної трансформації металургійного виробництва передбачає поступову заміну традиційної аглодоменої технології виробництва сталі з застосуванням кисневого конвертора (АД+КК) на технологію прямого відновлення заліза воднем і з використанням електродугової сталеплавильної печі ( $\text{H}_2$ +ЕП). В якості проміжної (перехідної) технології цієї трансформації передбачається використання аглодоменої технології виробництва сталі із застосуванням електродугової сталеплавильної печі (АД+ЕП). Для всіх технологій передбачається застосування безперервного лиття заготовки.

В табл. 1 наведені узагальнені та обраховані авторами цієї статті з використанням методу матеріальних балансів питомі витрати електроенергії при виробництві сталі технологіями, що були досліджені, за даними з наступних джерел [3, таб. А1; 15, с. 52; 16, с. 127, с. 207, с. 249, с. 307, с. 372, с. 387, с. 455, 17, с. 248; 18, с. 142]. Також в табл. 1 наведені узагальнені питомі обсяги викидів ПГ, які складені авторами статті із використанням даних з наступних джерел [9, с. 14; 11, таб. 1].

Таблиця 1

**Питомі витрати електроенергії та питомі обсяги викидів ПГ при виробництві сталі за окремими технологіями**

№	Показник	Одиниця вимірювання	Технологія виробництва сталі		
			АД+КК	АД+ЕП	$\text{H}_2$ +ЕП
1	Питомі витрати електроенергії	кВт·год т сталі	133	695	3513
2	Питомі обсяги викидів ПГ	т $\text{CO}_{2-екв}$ т сталі	1,83	1,7	0,7

При розрахунках потужності електричної генерації  $P^{ем}$  для забезпечення потреб виробництва сталі були прийняті наступні значення коефіцієнтів для формули (2):

- коефіцієнт неврахованих витрат електроенергії при виробництві сталі  $k_{нв} = 1,15$ ;
- коефіцієнт врахування втрат електроенергії при її транспортуванні до металургійних підприємств  $k_{тр} = 0,1$ ;
- коефіцієнт нерівномірності споживання електроенергії при виробництві сталі  $k_3 = 1,2$ .

Показники застосування окремих технологій у загальному виробництві сталі при низьковуглецевій трансформації галузі чорної металургії наступні:

- частка застосування технологій з електродуговими сталеплавильними печами

$$b_{ЕП} = 1 - b_{АД+КК}$$

- коефіцієнт використання технології прямого відновлення заліза воднем в загальному виробництві сталі із застосуванням електродугової сталеплавильної печі

$$k_{\text{H}_2+\text{ЕП}} = b_{\text{H}_2+\text{ЕП}} / b_{ЕП} = b_{\text{H}_2+\text{ЕП}} / (1 - b_{АД+КК}).$$

При розрахунках діапазон зміни частки виробництва сталі із застосуванням аглодоменої технології та кисневого конвертора складав  $b_{АД+КК}=0,7...0,0$ ; коефіцієнт використання технології прямого відновлення заліза воднем із застосуванням електродугової сталеплавильної печі складав  $k_{H_2+ЕП}=0,0...1,0$ .

Варіантні розрахунки проводились для загального річного виробництва сталі  $C^{зас} = 10,0$  млн т/рік для забезпечення можливості подальшого індикативного масштабування стосовно перспективних обсягів річного виробництва сталі. Розрахунки були виконані із застосуванням комп'ютерної програми EXEL компанії Microsoft.

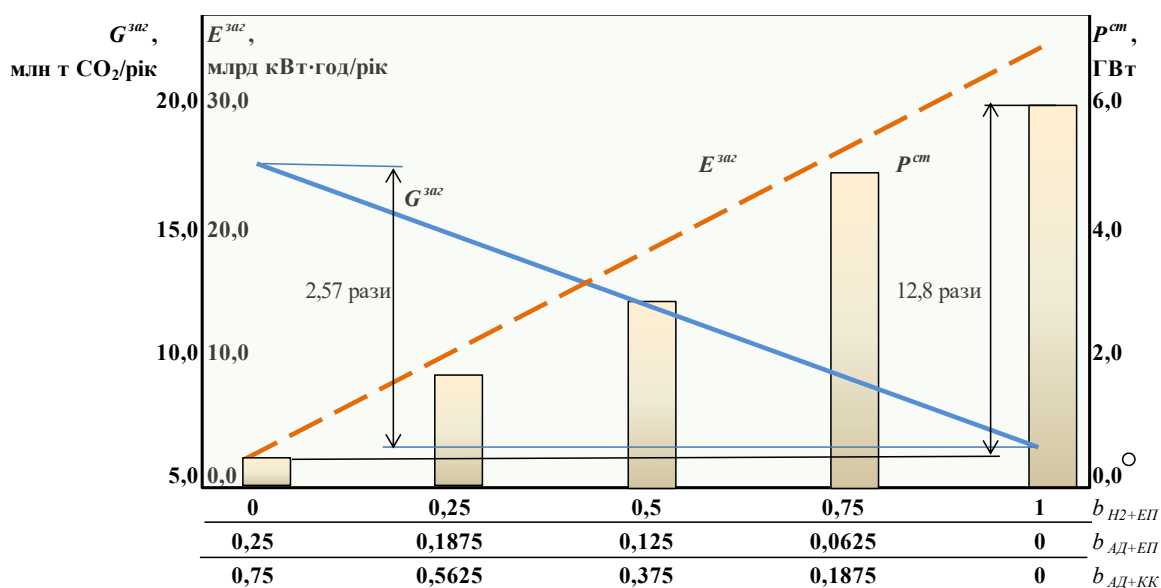
**Результати розрахунків.** В табл. 2 наведені результати розрахунків загального річного споживання електроенергії  $E^{зас}$  та необхідної потужності електричної генерації  $P^{см}$  для забезпечення потреб виробництва сталі внаслідок технологічної трансформації галузі чорної металургії, а також загальних річних обсягів викидів парникових газів  $G^{зас}$ , які обумовлені цією трансформацією.

Таблиця 2

**Загальне річне споживання електроенергії, необхідної потужності електричної генерації та загальних річних обсягів викидів парникових газів при технологічній трансформації виробництва сталі (10 млн т сталі/рік)**

Технологія/ Показник	Частка технології $b_i$ / Значення показника				
Аглодоменна + кисневий конвертор (АД+КК)	0,75	0,5625	0,375	0,1875	0,0
Аглодоменна + електродугова піч (АД+ЕП)	0,25	0,1875	0,125	0,0625	0,0
Пряме відновлення + електродугова піч (H <sub>2</sub> +ЕП)	0	0,25	0,5	0,75	1,0
Викиди ПГ, млн т CO <sub>2</sub> -екв/рік	17,98	15,23	12,49	9,74	7,0
Споживання електроенергії, млрд кВт-год/рік	2,74	10,83	18,93	27,03	35,13
Необхідна потужність електрогенерації, ГВт	0,48	1,90	3,31	4,73	6,15

**Обговорення результатів дослідження.** На рисунку наведені зміни загального річного споживання електроенергії  $E^{зас}$  та необхідної потужності електричної генерації  $P^{см}$  для забезпечення потреб виробництва сталі внаслідок технологічної трансформації галузі чорної металургії, а також зміни загальних річних обсягів викидів парникових газів  $G^{зас}$ , які обумовлені цією трансформацією.



**Рис. 1. Діаграма змін загального річного споживання електроенергії  $E^{зас}$ , необхідної потужності електричної генерації  $P^{см}$  та загальних річних обсягів викидів парникових газів  $G^{зас}$  внаслідок технологічної трансформації виробництва сталі (10 млн т сталі/рік)**

Внаслідок застосування електролізної технології отримання водню, технології прямого відновлення заліза та електродугової сталеплавильної технології споживання електроенергії зростає з 2,74 млрд кВт-год/рік до 35,13 млрд кВт-год/рік (в 12,84 рази) порівняно із традиційною аглодоменою технологією виробництва сталі з застосуванням кисневого конвертора. При цьому необхідна потужність електрогенерації зростає з 0,48 ГВт до 6,15 ГВт (загальна потужність Запорізької АЕС) в 12,84 рази. Зважаючи на безперервний технологічний процес

виробництва сталі, таку потужність електрогенерації на поточний стан розвитку енергетичної системи України здатні гарантовано забезпечити тільки атомні електростанції.

Викиди парникових газів в результаті такої трансформації зменшаться з 17,98 млн т CO<sub>2</sub>-екв/рік до 7,0 млн т CO<sub>2</sub>-екв/рік (в 2,57 рази). В перспективі викиди парникових газів можна зменшити до нульових значень із застосуванням безвуглецевих технологій електрогенерації з відновлювальних джерел енергії – сонячних, вітрових та гідравлічних електростанцій. Однак зважаючи на стохастичний характер електрогенерації сонячними та вітровими електростанціями, забезпечення безперервного та стабільного постачання електроенергією в таких обсягах її потужності є завданням найближчих десятиліть.

### Висновки

Перспективним напрямом низьковуглецевої трансформації промислових виробництв чорної металургії є впровадження технології прямого відновлення заліза з електролізною технологією отримання водню як відновника в поєднанні з електродуговою сталеплавильною технологією, що має потенціал отримання без вуглецевого виробництва сталі.

Результати розрахунково – аналітичного дослідження впливу низьковуглецевої трансформації чорної металургії (на прикладі виробництва 10 млн т сталі на рік), яка передбачає поступову заміну традиційної аглодомної технології виробництва сталі з застосуванням кисневого конвертора технологією прямого відновлення заліза воднем з використанням електродугової сталеплавильної печі, показали значне зростання споживання електроенергії (в 12 разів), що обумовлює суттєві потреби в електрогенеруючих потужностях для задоволення цього споживання електроенергії (до 6 ГВт). Таку потужність електрогенерації на поточний стан розвитку енергетичної системи України здатні гарантовано забезпечити тільки атомні електростанції. Обсяги викидів парникових газів внаслідок цієї технологічної трансформації знизяться майже в 3 рази.

Результати дослідження можуть бути використанні при прогнозованому плануванні розвитку електрогенеруючих потужностей Об'єднаної енергетичної системи України.

**Напрями подальших досліджень.** Як показали результати даного дослідження низьковуглецева технологічна трансформація чорної металургії призводить до значної зміни структури споживання цією галуззю паливно-енергетичних ресурсів. Фактично прогнозується електрифікація цієї галузі, яка буде супроводжуватись відмовою від використання викопних вуглецевмісних палив (вугілля, нафти, природного газу) та потребуватиме нових сировинних ресурсів, наприклад, водних ресурсів для виробництва водню. Комплексний аналіз структурних змін та обсягів споживання паливно-енергетичних ресурсів, обумовлених цією трансформацією чорної металургії, є напрямом подальших досліджень.

**Внесок авторів.** Концептуалізація, методологічні положення, обговорення результатів, висновки, напрями подальших досліджень – О.І. Тесленко; аналітичний огляд літератури, формування вихідних даних, виконання розрахунків, анотація – К.В. Таранець.

**Фінансування.** Дослідження проведено фахівцями Інституту загальної енергетики НАН України в рамках бюджетної тематики Національної академії наук України при виконанні наукової роботи за темою: «Напрями декарбонізації електроенергетики та енергоємних галузей промисловості України відповідно до вимог вітчизняної екологічної політики та міжнародних зобов'язань» (№ державної реєстрації 0122U000176).

### Список використаної літератури

1. Decarbonization Pathways for Steel and Cement Industries. URL: <https://cdn.ihsmarket.com/www/pdf/0622/Infographic---Decarbonization-Pathways-for-Steel-and-Cement-Industries.pdf>
2. Презентація сценаріїв, політик та інвестицій до НВВ2. Засідання Робочої групи з питань розробки другого Національно-визначеного внеску України до Паризької угоди: обговорення політик та заходів. м. Київ, Україна, 26 листопада 2020 р. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina\\_klimaty/26.11.2020%20презентація%20сценаріїв,%20політик%20та%20інвестицій%20до%20НВВ2.pptx](https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/26.11.2020%20презентація%20сценаріїв,%20політик%20та%20інвестицій%20до%20НВВ2.pptx)
3. A. Toktarova, I. Karlsson, J. Rootzen and others. Pathways for Low-Carbon Transition of the Steel Industry – A Swedish Case Study. *Energies* 2020, 13, 3840. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13153840>
4. J.R. Diez, S. Tome-Torquemada, A. Vicente Decarbonization Pathways, Strategies and Use Cases to Achieve Net-Zero CO<sub>2</sub> emissions in the steelmaking industry. *Energies* 2023, 16, 7360. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16217360>
5. Monika Draxler et al. Green Steel for Europe, Technology Assessment and Road mapping. 2021, 88 p. URL: [https://www.este.eu/assets/Projects/GreenSteel4Europe/GreenSteel\\_Publication/210308\\_D1-2\\_-Assessment\\_and\\_roadmapping\\_of\\_technologies\\_-Publishable-version.pdf](https://www.este.eu/assets/Projects/GreenSteel4Europe/GreenSteel_Publication/210308_D1-2_-Assessment_and_roadmapping_of_technologies_-Publishable-version.pdf)
6. Guevara Opinska, L., et al. 2021, Moving towards Zero-Emission Steel, *Publication for the committee on Industry, Research and Energy (ITRE), Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies*, European Parliament, Luxembourg. URL: <https://www.europarl.europa.eu/committees/en/supporting-analyses/sa-highlights>

7. Tian Liang, Shanshan Wang, Chunyang Lu, Nan Jiang, Wenqi Long, Min Zhang, Ruiqin Zhang. Environmental impact evaluation of an iron and steel plant in China: Normalized data and direct/indirect contribution. *Journal of Cleaner Production*. 2020, Vol. 264, 121697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121697>

8. Carina Harpprecht, Tobias Naegler, Bernhard Steubing, Arnold Tukker, Sonja Simon. Decarbonization scenarios for the iron and steel industry in context of a sectoral carbon budget: Germany as a case study. *Journal of Cleaner Production*. 2022, Vol. 380, Part 2, 134846. DOI: [10.1016/j.jclepro.2022.134846](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134846)

9. Тубольцев Л. Г., Чайка О. Л., Бабаченко О. І. Перспективи розвитку металургійного виробництва в Україні за рахунок використання нових технологій. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*, 2023, Вип. 37, с. 4-25. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-4-25>

10. Тесленко О.І., Куц Г.О. Структурні та технологічні напрями зменшення викидів парникових газів підприємствами чорної металургії. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки, Том 33 (72), № 6. 2022, с. 165-173. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/27>

11. Декарбонізація сталевих галузі: виклик на найближчі десятиліття. *Horst Wiesenger Consulting*. Київ: GMK Center. 2021, 48 с. URL: <https://gmk.center/ua/tag/forum-dekarbonizaciya-stalevoi-industrii-viklik-dlya-ukraini/>

12. А.М. Глущенко Декарбонізація металургії: роль економічної політики держави. *Проблеми економіки* № 1 (43) 2020, с. 340-347. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2020-1-340-347>

13. В.О. Горохова, О.В. Гупало, Л.Г. Тубольцев Аналіз перспективних технологій декарбонізації сталі на базі дослідження тенденцій розвитку металургійного виробництва світу та України. Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАНУ. НДР 2024.

14. О. І. Бабаченко, О. С. Нестеров, Л. І. Гармаш Декарбонізація та енергетична криза. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. Випуск 36. 2022, с. 35-48. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-35-48>

15. Тимошенко Д.О., Кухар В.В., Воловченко І. В. Порівняння енергоспоживання при виробництві сталі застарілими аглодомним та маргєнівським переділами із сучасною технологією прямого відновлення заліза MIDREX H2 та виплавкою в дуговій сталеплавильній печі. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки*. Серія: Технічні науки, № 2, 2024, с. 49-54. DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-8>

16. Райнер Ремус, Мігель А. Агуадо-Монсоне, Серж Рудьє, Луїс Дельгадо Санчо. Європейська комісія: Довідковий документ щодо найкращих доступних технологій та методів управління (ДД НДТМ) у ковальській та ливарній промисловості. Директива 2010/75/ЄС «Про промисловезабруднення (інтегроване запобігання та контроль забруднення)». Міністерство охорони навколишнього середовища України, 2020 р, 671 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2024/04/v4NDTM-CHavun-ta-stal-Final-1.pdf>

17. Куц Г.О., Тесленко О.І. Доповнення методичних положень визначення повної енергоємності продукції промислових виробництв. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. Том 33 (72), № 5. 2022, с. 244-250. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/36>

18. Куц Г.О. Тесленко О.І. Повна технологічна енергоємність виробництва доменного агломерату та окатишів. II Международная научно-практическая конференция «Scientific progress: innovations, achievements and prospects» 6-8 ноября 2022 года Мюнхен, Германия, с. 138-144. URL: <https://sci-conf.com.ua/ii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-progress-innovations-achievements-and-prospects-6-8-11-2022-myunhen-nimechchina-arhiv/>.

## References

1. Decarbonization Pathways for Steel and Cement Industries. URL: <https://cdn.ihsmarket.com/www/pdf/0622/Infographic---Decarbonization-Pathways-for-Steel-and-Cement-Industries.pdf>

2. Prezentatsiya stsenariyiv, polityk ta investytsiy do NVV2. [Presentation of scenarios, policies and investments to the NDC2]. *Zasidannya Robochoyi hrupy z pytan rozrobky drugoho Natsionalno-vyznachenoho vnesku Ukrainy do Paryzkoji uhody: obhovorennya polityk ta zakhodiv*. Kyiv, Ukraine, 26 November 2020. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina\\_klimaty/26.11.2020%20prezentatsiya%20scenariyv,%20polityk%20ta%20investytsiy%20do%20HBB2.pptx](https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/26.11.2020%20prezentatsiya%20scenariyv,%20polityk%20ta%20investytsiy%20do%20HBB2.pptx)

3. A. Toktarova, I. Karlsson, J. Rootzen and others (2020) Pathways for Low-Carbon Transition of the Steel Industry – A Swedish Case Study. *Energies* 2020, 13, 3840. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13153840>

4. J.R. Diez, S. Tome-Torquemada, A. Vicente (2023) Decarbonization Pathways, Strategies and Use Cases to Achieve Net-Zero CO2 emissions in the steelmaking industry. *Energies* 2023, 16, 7360. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16217360>

5. Monika Draxler et al. (2021) Green Steel for Europe, Technology Assessment and Road mapping. 88 p. URL: [https://www.estep.eu/assets/Projects/GreenSteel4Europe/GreenSteel\\_Publication/210308\\_D1-2\\_-Assessment\\_and\\_roadmapping\\_of\\_technologies\\_Publishable-version.pdf](https://www.estep.eu/assets/Projects/GreenSteel4Europe/GreenSteel_Publication/210308_D1-2_-Assessment_and_roadmapping_of_technologies_Publishable-version.pdf)

6. Guevara Opinska, L., et al. (2021) Moving towards Zero-Emission Steel, *Publication for the committee on Industry, Research and Energy (ITRE), Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies*, European Parliament, Luxembourg. URL: <https://www.europarl.europa.eu/committees/en/supporting-analyses/sa-highlights>

7. Tian Liang, Shanshan Wang, Chunyang Lu, Nan Jiang, Wenqi Long, Min Zhang, Ruiqin Zhang (2020) Environmental impact evaluation of an iron and steel plant in China: Normalized data and direct/indirect contribution. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 264, 121697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121697>
8. Carina Harpprecht, Tobias Naegler, Bernhard Steubing, Arnold Tukker, Sonja Simon (2022) Decarbonization scenarios for the iron and steel industry in context of a sectoral carbon budget: Germany as a case study. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 380, Part 2, 134846. DOI: [10.1016/j.jclepro.2022.134846](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134846)
9. Tuboltsev L. H., Chayka O. L., Babachenko O. I. (2023) Perspektyvy rozvytku metalurhiynoho vyrobnytstva v Ukraini za rakhunok vykorystannya novykh tekhnolohiy. [Prospects of technological development of metallurgical production in Ukraine due to the use of new technologies]. *Fundamentalni ta prykladni problemy chornoyi metalurhiyi*, No. 37, pp. 4-25. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-4-25>
10. Teslenko O.I., Kuts H.O. (2022) Strukturni ta tekhnolohichni napryamy zmeshennya vykydiv parnykovykh haziv pidpryemstvamy chornoyi metalurhiyi. [Structural and technological areas for reducing greenhouse gas emissions by the enterprises of ferrous metallurgy]. *Vcheni zapysky Tavriyskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky*. Volume 33 (72), № 6. pp. 165-173. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/27>
11. (2021) Dekarbonizatsiia stalevoi haluzi: vyklyk na naiblyzhchi desiatyllittia. [Decarbonization of the steel industry: a challenge for the coming decades]. *Horst Wiesenger Consulting*. Kyiv: GMK Center, 48 pp. URL: <https://gmk.center/ua/tag/forum-dekarbonizaciya-stalevoi-industrii-viklik-dlya-ukraini/>
12. A.M. Hlushchenko (2020) Dekarbonizatsiia metalurhiyi: rol ekonomichnoyi polityky derzhavy. [Decarbonization of the Steel Industry: the Role of State Economic Policy]. *Problemy ekonomiky*, № 1 (43), pp. 340-347. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2020-1-340-347>
13. V.O. Horokhova, O.V. Hupalo, L.H. Tuboltsev (2024) Analiz perspektyvnykh tekhnolohiy dekarbonizatsiyi stali na bazi doslidzhennya tendentsiy rozvytku metalurhiynoho vyrobnytstva svitu ta Ukrainy. [Analysis of promising steel decarbonization technologies based on research into trends in the development of metallurgical production in the world and Ukraine]. Instytut chornoyi metalurhiyi im. Z. I. Nekrasova NANU. Research work.
14. O. I. Babachenko, O. S. Nesterov, L. I. Harmash (2022) Dekarbonizatsiia ta enerhetychna kryza. [Decarbonization and energy crisis]. *Fundamentalni ta prykladni problemy chornoyi metalurhiyi*, no. 36, pp. 35-48. DOI: <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-35-48>
15. Tymoshenko D.O., Kukhar V.V., Volovnenko I. V. (2024) Porivnyannya enerhospozhyvannya pry vyrobnytstvi stali zastarilymy ahlodomennym ta martenivskym peredilamy iz suchasnoyu tekhnolohiyeyu pryamoho vidnovlennya zaliza MIDREX H2 ta vyplavkoyu v duhoviy staleplavyl'nyi pechi. [Comparison of energy consumption in steel production by outdated sinter and open-hearth furnaces with modern direct iron reduction technology MIDREX H2 and smelting in an electric arc furnace]. *Naukovyy Zhurnal Metinvest Politekhniky. Seriya: Tekhnichni nauky*, № 2, pp. 49-54. DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-8>
16. Remus R, Aguado Monsonet M, Roudier S, Delgado Sancho L. (2012) Best Available Techniques (BAT) Reference Document: for Iron and Steel Production: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU: (Integrated Pollution Prevention and Control). *EUR 25521 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union*, JRC69967. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC69967>
17. Kuts H.O., Teslenko O.I. (2022) Dopovnennya metodychnykh polozhen vyznachennya povnoyi enerhoyemnosti produktsiyi promyslovykh vyrobnytstv. [Supplement to the methodological provisions for determining the total energy intensity of industrial products]. *Vcheni zapysky Tavriyskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky*. Volume 33 (72), № 5, pp. 244-250. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/36>
18. Kuts H.O. Teslenko O.I. (2022) Povna tekhnolohichna enerhoyemnist vyrobnytstva domennoho ahlomeratu ta okatyshiv. [Total technological energy intensity of blast furnace sinter and pellets production]. *II Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Scientific progress: innovations, achievements and prospects»*, 6-8 November 2022, Munich, Germany, pp.138-144. URL: <https://sci-conf.com.ua/ii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-progress-innovations-achievements-and-prospects-6-8-11-2022-myunhen-nimechchina-arhiv/>.

YU. M. FEDENKO

Candidate of Technical Sciences,  
Senior Lecturer at the Department of Technology of Inorganic Substances,  
Water Treatment and General Chemical Technology  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-8599-1717

D. V. DIDENKO

Bachelor Student at the Department of Technology of Inorganic Substances,  
Water Treatment and General Chemical Technology  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0009-0004-5257-3422

## REVIEW OF METHODS OF WASTEWATER TREATMENT FROM COMPOUNDS OF DIFFERENT NATURE AND GENESIS. ENVIRONMENTAL ASPECTS

*Environmental pollution has a negative impact on natural resources, including water bodies. Wastewater can easily infiltrate into the soil and even into the liquid supplied to residential and public buildings. Wastewater treatment is required to improve the environmental conditions. There are various ways to remove pollution from wastewater.*

*Type of pollution affects the choice of method of wastewater treatment. Often combined methods are used to achieve the best result. The main methods of wastewater treatment: mechanical – used to remove insoluble impurities; biological – liquid purification is carried out without the use of chemicals; biochemical – along with chemical reagents, microorganisms that feed on pollutants are used; chemical – used to remove various acids and alkalis from the effluent; physical-chemical – includes several methods of removing contaminants. Before using a particular method of sewage treatment, it is necessary to analyze the wastewater.*

*Mechanical methods of wastewater treatment consist in removing insoluble and partially colloidal insoluble and partially colloidal impurities from the water. Waste contained in wastewater (paper, rags, bones, various industrial wastes, etc.).*

*Chemical methods of wastewater treatment include the following neutralization, oxidation, and reduction. Chemical treatment can be used as a preliminary stage of biological treatment or as a subsequent treatment method. Both chemical and physicochemical treatment are used only in industrial conditions and require preliminary mechanical cleaning. Chemical purification reduces the amount of insoluble pollutants by up to 95 % and soluble pollutants up to 25 %.*

*Biological methods are considered the main way to treat wastewater from the oxidation of organic impurities. They are based on biological oxidation, which allows to filter wastewater from various organic substances. These substances cannot be removed from wastewater mechanically. Biological oxidation is carried out with the help of a community of microorganisms (biocenosis), which includes many bacteria, protozoa and some highly organized organisms such as algae, fungi, etc. Rarely used for wastewater from machine-building enterprises.*

**Key words:** wastewater, environment, mechanical methods, chemical methods, biological methods.

Ю. М. ФЕДЕНКО

кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри технології неорганічних речовин,  
водоочищення та загальної хімічної технології  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-8599-1717

Д. В. ДІДЕНКО

бакалавр кафедри технології неорганічних речовин,  
водоочищення та загальної хімічної технології  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0009-0004-5257-3422



## ОГЛЯД МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД СПОЛУК РІЗНОЇ ПРИРОДИ ТА ГЕНЕЗИСУ. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

*Забруднення навколишнього середовища негативно впливає на природні ресурси, в тому числі на водні об'єкти. Стічні води можуть легко проникати в ґрунт і навіть у рідину, що подається в житлові та громадські будівлі. Очищення стічних вод необхідне для поліпшення екологічних умов. Існують різні способи видалення забруднень зі стічних вод.*

*Тип забруднення впливає на вибір методу очищення стічних вод. Часто для досягнення найкращого результату використовують комбіновані методи. Основні методи очищення стічних вод: механічний – використовується для видалення нерозчинних домішок; біологічний – очищення рідини здійснюється без застосування хімічних реагентів; біохімічний – поряд з хімічними реагентами використовуються мікроорганізми, які харчуються забруднювачами; хімічний – використовується для видалення зі стоків різних кислот і лугів; фізико-хімічний – включає в себе кілька методів видалення забруднень. Перед застосуванням того чи іншого методу очищення стічних вод необхідно провести їх аналіз.*

*Механічні методи очищення стічних вод полягають у видаленні з води нерозчинних і частково колоїдних домішок. Відходи, що містяться у стічних водах (папір, ганчірки, кістки, різні промислові відходи тощо).*

*Хімічні методи очищення стічних вод включають нейтралізацію, окислення та відновлення. Хімічне очищення може використовуватися як попередній етап біологічного очищення або як наступний метод очищення. Як хімічне, так і фізико-хімічне очищення застосовуються тільки в промислових умовах і вимагають попереднього механічного очищення. Хімічне очищення зменшує кількість нерозчинних забруднювачів до 95 %, а розчинних – до 25 %.*

*Біологічні методи вважаються основним способом очищення стічних вод від окислення органічних домішок. Вони засновані на біологічному окисленні, яке дозволяє фільтрувати стічні води від різних органічних речовин. Ці речовини неможливо видалити зі стічних вод механічним шляхом. Біологічне окислення здійснюється за допомогою спільноти мікроорганізмів (біоценозу), яка включає багато бактерій, найпростіших і деяких високоорганізованих організмів, таких як водорості, гриби тощо. Рідко використовується для стічних вод машинобудівних підприємств.*

**Ключові слова:** *стічні води, навколишнє середовище, механічні методи, хімічні методи, біологічні методи.*

### Statement of the problem

Environmental pollution has a negative impact on natural resources, including water bodies. Wastewater can easily infiltrate into the soil and even into the liquid supplied to residential and public buildings. Wastewater treatment is required to improve the environmental conditions. There are various ways to remove pollution from wastewater. The activities of many industries lead to wastewater pollution [1]:

- petrochemical and oil refining industries;
- metallurgy and mining industry;
- chemical and pulp and paper industries;
- food processing plants and a number of other industries.

Huge harm to wastewater is caused by improper use of fertilizers and pesticides in agriculture. Some compounds are very difficult to remove from wastewater, including surfactants contained in synthetic detergents.

Radioactive contaminants pose a great danger. These impurities appear during the processing of nuclear fuel, violation of uranium ore purification technology and in several other situations.

### Analysis of recent research and publications

Wastewater pollutants can be categorized into three large groups [2-4].

1. Physical – sand, clay, silt, sludge, sludge, suspended solids, radioactive elements. Organoleptic pollutants affect the color and odor of the liquid.
2. Biological – yeast and mold fungi, lignin and algae, various pathogens.
3. Chemical – acids and alkalis, oil and petroleum products, salts and phenols, dioxides and pesticides, heavy metals, ammonium and nitrite nitrogen, SPABs.

Thermal pollution of wastewater is less common. When high temperatures of process water mix with cooler masses, the chemical and gas composition of wastewater changes. This carries the danger of multiplication of anaerobic bacteria, the release of poisonous gases – methane and hydrogen sulfide, the growth of hydrobionts. Type of pollution affects the choice of method of wastewater treatment. Often combined methods are used to achieve the best result. The main methods of wastewater treatment [5, 6]:

- mechanical – used to remove insoluble impurities;
- biological – liquid purification is carried out without the use of chemicals;
- biochemical – along with chemical reagents, microorganisms that feed on pollutants are used;
- chemical – used to remove various acids and alkalis from the effluent;

- physical-chemical – includes several methods of removing contaminants. Before using a particular method of sewage treatment, it is necessary to analyze the wastewater.

#### **Purpose of the study**

The purpose of the study is to analyze the literature on wastewater treatment methods of different nature and genesis, as well as to establish the environmental aspects of water treatment methods.

#### **Presentation of the main research material**

Methods of wastewater treatment are divided into mechanical, chemical, physicochemical and biological, and when these methods are used together, they are called combined. The choice of approach depends on the type of pollution and its harmfulness. Methods for treating contaminated industrial water can be divided into several groups: mechanical, physical, physical-mechanical, chemical, physical-chemical, biological and integrated methods [7-9].

Mechanical methods of wastewater treatment consist in removing insoluble and partially colloidal insoluble and partially colloidal impurities from the water. Waste contained in wastewater (paper, rags, bones, various industrial wastes, etc.) are collected in the grates in advance. Mechanical cleaning allows removing up to 60–75 % of insoluble contaminants from domestic wastewater and up to 95 % from industrial wastewater. Many of them are valuable pollutants used in production [10].

Grids and nets are used for filtration, and there is also a process of filtration of coarse dirt (bags, rags, plastic, large things and objects). The cleaning device works by installing a special mesh that traps large particles of dirt. Then the purified water enters the fine mesh, and small particles of dirt are trapped in it. Finally, microfilter removes particles and insoluble substances [11-14].

Chemical methods of wastewater treatment include the following neutralization, oxidation, and reduction. Chemical treatment can be used as a preliminary stage of biological treatment or as a subsequent treatment method. Both chemical and physicochemical treatment are used only in industrial conditions and require preliminary mechanical cleaning. Chemical purification reduces the amount of insoluble pollutants by up to 95 % and soluble pollutants up to 25 % [15].

Neutralization is a method of purifying contaminated water that can be to return to normal pH (6.5–8.5). This process neutralizes acids and alkalis and turns them into safe substances. When treating wastewater from industrial enterprises must deal with such contaminants. Even if acidic wastewater is mixed with alkaline wastewater, it can be neutralized by simply by mixing them. To neutralize acidic water, alkaline waste, caustic sodium, soda, chalk, and limestone. To achieve this method, companies install filters and various devices to achieve this method [16-18].

The main methods of neutralization include:

- mixing acid and alkaline liquids;
- introduction of reagents;
- filtering of acidic wastewater with the use of neutralizing substances;
- alkaline dissolution of gases;
- introduction of ammonia solution into acidic wastewater.

After oxidation, pathogenic microorganisms die. This method is used when the removal of pollutants by mechanical means or changing the composition of wastewater is not enough. Advocacy does not give the desired results. The active reagents are ozone, chlorine, potassium dichromate, pyrolusite, calcium chlorate and oxygen. The use of chlorine additionally dechlorinates the water. Although ozonation is an advanced technology, it is very expensive. In addition, ozone is an explosive substance if it is present in large quantities [19].

The reduction process can neutralize compounds such as chromium, mercury, arsenic, and some other easily recoverable elements. The reagents used are sulfur dioxide, sodium hydrosulfite, hydrogen, and ferrous sulfate. Among the methods of wastewater treatment, biological methods play an important role, based on the application of the laws of biochemical and physiological self-purification of rivers and other water bodies. There are several types of biological equipment for wastewater treatment: biofilters, biological tanks and aerotanks [20].

In a biological pond, all living organisms of the lake participate in wastewater treatment. Aerotanks are large reinforced concrete tanks. The active sludge of bacteria and microscopic animals is the treatment element here. All these living beings evolve intensively in aeration tanks, influenced by the organic content of wastewater and the excessive proportion of oxygen that enters the structure by the incoming air stream. Bacteria stick together in flakes and begin to release flakes and begin to secrete enzymes that mineralize organic waste. The sludge with flakes becomes sediment at a high rate, by separation from the water that has been purified. The following list is provided: infusoria, amoebae, flagellates, rotifers and possible similar small organisms, eat bacteria that do not have the ability to stick together in flakes, make the actual bacterial consistency of the sludge younger [21].

Before biological treatment, wastewater is subjected to mechanical treatment, and afterwards to remove pathogenic bacteria and chemical treatment, chlorination with non-solid chlorine or it is also possible to use bleach lime can also be used. Other physical and chemical methods are also used for disinfection (ultrasound, electrolysis, ozonation, and others) [21]. The biological method demonstrates significant results in the treatment of municipal wastewater. It is also used to treat waste from oil refineries, pulp and paper industry and artificial fiber production [22].

Wastewater filtration in various institutions and enterprises has the following list of implementation:

- filtration of wastewater using special treatment facilities of the plant/enterprise;
- filtration of wastewater, following contamination at the plant, and then at municipal wastewater treatment plants and then discharged into water bodies;
- non-continuous treatment of water and institutional or industrial solutions at local treatment facilities according to the time specified by time, after which they are sent for regeneration, after regeneration are returned to circulation and only after the possibility of the possibility of non-regeneration is determined, they are averaged and transferred for processing for planting and utilization.

Biological methods are considered the main way to treat wastewater from the oxidation of organic impurities. They are based on biological oxidation, which allows to filter wastewater from various organic substances. These substances cannot be removed from wastewater mechanically. Biological oxidation is carried out with the help of a community of microorganisms (biocenosis), which includes many bacteria, protozoa and some highly organized organisms such as algae, fungi, etc. Rarely used for wastewater from machine-building enterprises [23].

### Conclusions

Type of pollution affects the choice of method of wastewater treatment. Often combined methods are used to achieve the best result. The main methods of wastewater treatment: mechanical; biological; biochemical; chemical; physical-chemical.

Mechanical methods of wastewater treatment consist in removing insoluble and partially colloidal insoluble and partially colloidal impurities from the water. Waste contained in wastewater (paper, rags, bones, various industrial wastes, etc.).

Chemical methods of wastewater treatment include the following neutralization, oxidation, and reduction. Chemical treatment can be used as a preliminary stage of biological treatment or as a subsequent treatment method.

Biological methods are considered the main way to treat wastewater from the oxidation of organic impurities. They are based on biological oxidation, which allows to filter wastewater from various organic substances. These substances cannot be removed from wastewater mechanically.

### Bibliography

1. Hansen G., Tolstrup L. Viability assessed with the most probable number dilution culture method after chemical treatment of ballast water reveals the presence of false negatives from an approved vital stain method. *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 205. P. 116586.
2. Nyabadza A., McCarthy E., Makhesana M. A review of physical, chemical and biological synthesis methods of bimetallic nanoparticles and applications in sensing, water treatment, biomedicine, catalysis and hydrogen storage. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2023. Vol. 321. P. 103010.
3. Bhatkar S.A., Bhadane N.P. Modifications of petroleum industry effluent treatment Method: An approach for quality improvement of process water for ASP flooding and chemical EOR. *Materials Today: Proceedings*. 2023. Vol. 77. P. 371–375.
4. Wang L., Li X., Yang B. The chemical stability of metal-organic frameworks in water treatments: Fundamentals, effect of water matrix and judging methods. *Chemical Engineering Journal*. 2022. Vol. 450. P. 138215.
5. Pamula J., Karnas M., Poluch A. Comparative study on classical and modified UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Fenton reaction based methods for the removal of chemical pollutants in water treatment. *Desalination and Water Treatment*. 2022. Vol. 275. P. 92–102.
6. Xu Z., Zhang Q. A critical review on chemical analysis of heavy metal complexes in water/wastewater and the mechanism of treatment methods. *Chemical Engineering Journal*. 2022. Vol. 429. P. 131688.
7. Castro-Jimenez C.C., Saldarriaga-Molina J.C. Physical-chemical characterization of an alum-based water treatment sludge in different raw water turbidity scenarios. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. P. 37579.
8. Mahdavi M., Taheri E., Fatehizadeh A. Water recovery and treatment of spent filter backwash from drinking water using chemical reactor-ultrafiltration process. *Journal of Water Process Engineering*. 2024. Vol. 66. P. 105895.
9. Tarazona Y., Hightower M. Treatment of produced water from the Permian Basin: Chemical and toxicological characterization of the effluent from a pilot-scale low-temperature distillation system. *Journal of Water Process Engineering*. 2024. Vol. 67. P. 106146.
10. Mohamed A.Y.A., Tuohy P., Healy M.G. Effects of coagulation pre-treatment on chemical and microbial properties of water-soil-plant systems of constructed wetlands. *Chemosphere*. 2024. Vol. 362. P. 142745.
11. Kumar J., Choudhary M. Recent advancements in utilizing plant-based approaches for water and wastewater treatment technologies. *Cleaner Water*. 2024. Vol. 2. P. 100030.
12. Nie L., Song Z., Li Z. Ground-tunnel geological prospecting and treatment methods of small-diameter TBM crossing shallow buried water-rich tunnel: A case study. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2024. Vol. 153. P. 106024.

13. Benis K.Z. Transforming drinking water treatment residuals into efficient adsorbents: A review of activation and modification methods. *Environmental Research*. 2024. Vol. 262. P. 119893.
14. Kulabhusan P.K. Physico-chemical treatments for the removal of cyanotoxins from drinking water: Current challenges and future trends. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 917. P. 170078.
15. Diver D., Nhapi I. The potential and constraints of replacing conventional chemical coagulants with natural plant extracts in water and wastewater treatment. *Environmental Advances*. 2023. Vol. 13. P. 100421.
16. Ko Y.G. Hybrid method integrating adsorption and chemical precipitation of heavy metal ions on polymeric fiber surfaces for highly efficient water purification. *Chemosphere*. 2024. Vol. 363. P. 142909.
17. Saleh T.A. Materials, nanomaterials, nanocomposites, and methods used for the treatment and removal of hazardous pollutants from wastewater: Treatment technologies for water recycling and sustainability. *Nano-Structures & Nano-Objects*. 2024. Vol. 39. P. 101231.
18. Llonch L., Verdu M., Marti S. Chlorine dioxide may be an alternative to acidification and chlorination for drinking water chemical disinfection in dairy beef bulls. *Animal*. 2024. Vol. 19. P. 101244.
19. Muschket M., Neuwald I.J., Zahn D. Fate of persistent and mobile chemicals in the water cycle: From municipal wastewater discharges to river bank filtrate. *Water Research*. 2024. Vol. 266. P. 122436.
20. Bushnaq H., Munro C. Phthalocyanine-enabled technologies for water treatment and disinfection strategies. *Journal of Water Process Engineering*. 2024. Vol. 665. P. 105861.
21. Adewuyi A., Li Q. Per- and polyfluoroalkyl substances contamination of drinking water sources in Africa: Pollution sources and possible treatment methods. *Chemosphere*. 2024. Vol. 365. P. 143368.
22. Amaral L.M., Kadivar M., Paes J.B. Physical, mechanical, chemical, and durability assessment of water leaching treatment of bamboo. *Advances in Bamboo Science*. 2023. Vol. 5. P. 100040.
23. Wang X., Yang B., Jiang L. Organic substitution regime with optimized irrigation improves potato water and nitrogen use efficiency by regulating soil chemical properties rather than microflora structure. *Field Crops Research*. 2024. Vol. 316. P. 109512.

#### References

1. Hansen G., Tolstrup L. (2024). Viability assessed with the most probable number dilution culture method after chemical treatment of ballast water reveals the presence of false negatives from an approved vital stain method. *Marine Pollution Bulletin*, (205), pp. 116586.
2. Nyabadza A., McCarthy E., Makhesana M. (2023). A review of physical, chemical and biological synthesis methods of bimetallic nanoparticles and applications in sensing, water treatment, biomedicine, catalysis and hydrogen storage. *Advances in Colloid and Interface Science*, (321), pp. 103010.
3. Bhatkar S.A., Bhadane N.P. (2023). Modifications of petroleum industry effluent treatment Method: An approach for quality improvement of process water for ASP flooding and chemical EOR. *Materials Today: Proceedings*, (77), pp. 371-375.
4. Wang L., Li X., Yang B. (2022). The chemical stability of metal-organic frameworks in water treatments: Fundamentals, effect of water matrix and judging methods. *Chemical Engineering Journal*, (450), pp. 138215.
5. Pamula J., Karnas M., Poluch A. (2022). Comparative study on classical and modified UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Fenton reaction-based methods for the removal of chemical pollutants in water treatment. *Desalination and Water Treatment*, (275), pp. 92-102.
6. Xu Z., Zhang Q. (2022). A critical review on chemical analysis of heavy metal complexes in water/wastewater and the mechanism of treatment methods. *Chemical Engineering Journal*, (429), pp. 131688.
7. Castro-Jimenez C.C., Saldarriaga-Molina J.C. (2024). Physical-chemical characterization of an alum-based water treatment sludge in different raw water turbidity scenarios. *Heliyon*, (10), pp. 37579.
8. Mahdavi M., Taheri E., Fatehizadeh A. (2024). Water recovery and treatment of spent filter backwash from drinking water using chemical reactor-ultrafiltration process. *Journal of Water Process Engineering*, (66), pp. 105895.
9. Tarazona Y., Hightower M. (2024). Treatment of produced water from the Permian Basin: Chemical and toxicological characterization of the effluent from a pilot-scale low-temperature distillation system. *Journal of Water Process Engineering*, (67), pp. 106146.
10. Mohamed A.Y.A., Tuohy P., Healy M.G. (2024). Effects of coagulation pre-treatment on chemical and microbial properties of water-soil-plant systems of constructed wetlands. *Chemosphere*, (362), pp. 142745.
11. Kumar J., Choudhary M. (2024). Recent advancements in utilizing plant-based approaches for water and wastewater treatment technologies. *Cleaner Water*, (2), pp. 100030.
12. Nie L., Song Z., Li Z. (2024). Ground-tunnel geological prospecting and treatment methods of small-diameter TBM crossing shallow buried water-rich tunnel: A case study. *Tunnelling and Underground Space Technology*, (153), pp. 106024.
13. Benis K.Z. (2024). Transforming drinking water treatment residuals into efficient adsorbents: A review of activation and modification methods. *Environmental Research*, (262), pp. 119893.

14. Kulabhusan P.K. (2024). Physico-chemical treatments for the removal of cyanotoxins from drinking water: Current challenges and future trends. *Science of The Total Environment*, (917), pp. 170078.
15. Diver D., Nhapi I. (2023). The potential and constraints of replacing conventional chemical coagulants with natural plant extracts in water and wastewater treatment. *Environmental Advances*, (13), pp. 100421.
16. Ko Y.G. (2024). Hybrid method integrating adsorption and chemical precipitation of heavy metal ions on polymeric fiber surfaces for highly efficient water purification. *Chemosphere*, (363), pp. 142909.
17. Saleh T.A. (2024). Materials, nanomaterials, nanocomposites, and methods used for the treatment and removal of hazardous pollutants from wastewater: Treatment technologies for water recycling and sustainability. *Nano-Structures & Nano-Objects*, (39), pp. 101231.
18. Llonch L., Verdu M., Marti S. (2024). Chlorine dioxide may be an alternative to acidification and chlorination for drinking water chemical disinfection in dairy beef bulls. *Animal*, (19), pp. 101244.
19. Muschket M., Neuwald I.J., Zahn D. (2024). Fate of persistent and mobile chemicals in the water cycle: From municipal wastewater discharges to river bank filtrate. *Water Research*, (266), pp. 122436.
20. Bushnaq H., Munro C. (2024). Phthalocyanine-enabled technologies for water treatment and disinfection strategies. *Journal of Water Process Engineering*, (665), pp. 105861.
21. Adewuyi A., Li Q. (2024). Per- and polyfluoroalkyl substances contamination of drinking water sources in Africa: Pollution sources and possible treatment methods. *Chemosphere*, (365), pp. 143368.
22. Amaral L.M., Kadivar M., Paes J.B. (2023). Physical, mechanical, chemical, and durability assessment of water leaching treatment of bamboo. *Advances in Bamboo Science*, (5), pp. 100040.
23. Wang X., Yang B., Jiang L. (2024). Organic substitution regime with optimized irrigation improves potato water and nitrogen use efficiency by regulating soil chemical properties rather than microflora structure. *Field Crops Research*, (316), pp. 109512.

**О. М. ФРОЛОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації та електрообладнання  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
ORCID: 0000-0003-2186-9488

**С. Р. СЕЛІВЕРСТОВА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання  
і засобів автоматизації  
Херсонська державна морська академія  
ORCID: 0000-0003-1015-1593

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАРИКАПІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ САМО-СУМІЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ШАРІВ

*Вимоги до параметрів роботи сучасного електронного обладнання диктують пошук змін у підходах та методах, технології отримання електронних компонентів. Одним з розповсюджених елементів електронних схем є ємнісні діоди – варикапи. Різноманітність їх застосування обумовлена можливістю одночасного використання декількох робочих параметрів варикапів. Тому, пошук альтернативних методів та технологій виготовлення варикапів залишається актуальною задачею.*

*В роботі запропонований новий підхід до технологічного процесу виготовлення напівпровідникової структури варикапів. Він базується на основі отримання технологічних шарів пористого анодного оксиду кремнію та використання методів само-суміщення шарової структури напівпровідника. Наслідками нововведень такого технологічного процесу є скорочення кількості операцій фотолітографії до однієї. Такий підхід не тільки скорочує час технологічного процесу, але дозволяє виключити багатократні супроводжувальні процеси підготовки поверхні пластини, їх хімічне очищення, травлення, дифузії домішок, суміщення шаблонів фотолітографії та інші. За рахунок скорочення кількості операцій знижується ризик спотворень робочих параметрів виготовлених варикапів у ході процесів отримання структур та виготовлення електронних компонентів. Все це приводить до зменшення фінансово-економічних складових отримання якісних електронних приладів з фіксованими параметрами. А також, зменшення небезпечних для довкілля хімічних операцій.*

*Ще однією важливою задачею є наближення теоретично розрахованих параметрів варикапів з отриманими промисловими зразками. Існують різні технології, що забезпечують фіксацію одного або двох основних параметрів варикапу. Однак, єдиної загальної технології, яка б забезпечувала одночасну повторюваність декількох параметрів та характеристик, не існує. В даній роботі відображені результати застосування такої технології виготовлення варикапів і надана порівняльна характеристика основних параметрів приладів з тими, що отримані із застосуванням інших технологій.*

**Ключові слова:** варикап, технологія, пористий анодний оксид кремнію.

**A. N. FROLOV**

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
Assistant Professor at the Department  
of Automation and Electrical Equipment  
National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov  
ORCID: 0000-0003-2186-9488

**S. R. SELIVERSTOVA**

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
Assistant Professor at the Department of Operation  
of Ship Electrical Equipment and Automation Systems  
Kherson State Maritime Academy  
ORCID: 0000-0003-1015-1593

## TECHNOLOGY OF MANUFACTURING VARICAPS USING METHODS OF SELF-COMBINATION OF TECHNOLOGICAL LAYERS

*The requirements to the performance parameters of modern electronic equipment dictate the search for changes in approaches and methods, and the technology of electronic components. One of the most common elements of electronic circuits is capacitive diodes – varicaps. The diversity of their application is due to the possibility of simultaneous*

use of several operating parameters of varicaps. Therefore, the search for alternative methods and technologies for manufacturing varicaps remains an urgent task.

In this work, a new approach to the technological process of manufacturing the semiconductor structure of varicaps is proposed. It is based on the production of technological layers of porous anodic silicon oxide and the use of methods of self-alignment of the semiconductor layer structure. The consequences of the innovations of this technological process are a reduction in the number of photolithography operations to one. This approach not only reduces the process time, but also eliminates multiple accompanying processes of wafer surface preparation, chemical cleaning, etching, impurity diffusion, photolithography template alignment, etc. Reducing the number of operations reduces the risk of distortion of the operating parameters of the manufactured varicaps during the processes of obtaining structures and manufacturing electronic components. All this leads to a reduction in the financial and economic components of obtaining high-quality electronic devices with fixed parameters. It also reduces chemical operations that are hazardous to the environment.

Another important task is to approximate the theoretically calculated parameters of the varicaps with the obtained industrial samples. There are various technologies that provide fixation of one or two main varicap parameters. However, there is no single common technology that would ensure the simultaneous repeatability of several parameters and characteristics. This paper presents the results of applying such a varicap manufacturing technology and provides a comparative characterization of the main parameters of the devices with those obtained using other technologies.

**Key words:** varicap, technology, porous anodic silicon oxide.

### Постановка проблеми

Лінійка компонентів діодної групи, дійсно, необмежена. Робота будь-якої електронної апаратури неможлива без діодної бази. Разом з тим, можливість суміщення параметрів роботи різних компонентів при збереженні їх функціоналу, залишається актуальною [1, 2].

Одним з таких компонентів діодної групи є варикап. Це електронний компонент, характеристикою якого є нормована величина ємності при відповідних напругах зворотного зміщення [3, 4]. Завдяки чому, варикапи широко використовують як альтернативу конденсаторам зі змінною ємністю. В системах автоматичного регулювання варикапи застосовують для налаштування на необхідну частоту.

Область використання варикапів, в першу чергу, визначається за його основними параметрами та характеристиками, такими як напруга пробою, добротність, коефіцієнт перекриття по ємності, величина ємності при заданій напрузі та рівень зворотних струмів [3, 4].

Особливості технологічних процесів та операцій напряму впливають на робочі параметри варикапів. Структурна досконалість матеріалу підкладок та епітаксійних шарів, процесів легування домішками, проведення фотолітографії, процеси окислення та очищення поверхонь та інші чинники, які визначають якість отриманих компонентів і складають сутність обраної технології виготовлення варикапів, мають бути економічно обґрунтованими [5, 6]. Для цього потрібно забезпечити максимальний відсоток повторюваності параметрів варикапу при їх виготовленні. Це можливо отримати при розробці такої технології виготовлення варикапів, яка має відповідну розрахункову модель, результати якої підтверджені отриманими експериментальними даними.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведений аналіз конструкцій та технологій виготовлення варикапів [6, 7, 8], показує, що для отримання варикапу з параметрами та характеристиками, близькими до теоретично можливих при зниженій собівартості виготовлення технологічний процес створення приладу повинен включати наступне [9]:

- для отримання високого значення напруги пробою структура варикапа повинна мати меза-структуру, або подібну;
- для отримання максимально можливої величини добротності структура варикапа не повинна мати додаткового опору в будь-якій області;
- найбільшу величину коефіцієнта перекриття по ємності можна отримати в структурі з ОЗГ (областю зворотного градієнту), де розподіл ОПЗ (області просторового заряду) р-п переходу в бічні сторони обмежений або взагалі відсутній;
- для отримання малих значень зворотних струмів р-п переходу на місці виходу на поверхню повинні бути захищені шаром термічного оксиду кремнію, а металом контакту повинен бути метал, якій не дає глибоких рівнів в забороненій зоні напівпровідника;
- для отримання малих відхилень параметрів та характеристик (тобто для їх високої повторюваності) необхідно щоб площа р-п переходу визначалася тільки розміром вікна при фотолітографії;
- для отримання низької собівартості кількість операцій фотолітографії повинна бути не більш однієї.

Тобто, структура варикапа повинна бути подібною до меза-структури, в якій ОПЗ р-п переходу не розповсюджується в бічні сторони, але при цьому структура не повинна мати додаткових опорів. Технологія виготовлення такої структури повинна передбачати захист р-п переходів в місці їх виходу на поверхню термічним оксидом кремнію, а металом контакту повинен бути алюміній, якій не має глибоких рівнів в забороненій зоні напівпровідника [8].

Остання вимога до технологічного процесу – це низька собівартість виготовлення. На цей показник впливає кількість процесів фотолітографії. Перша фотолітографія має найменшу собівартість, тому що не потребує втрат часу на індивідуальне суміщення фотошаблонів з попередніми шарами на кожній пластині.

Однак структура сучасного варикапу має декілька технологічних шарів: епітаксійний шар n-типу на n+ підкладці, шар зворотного градієнту n-типу, шар області p-типу, шар металевого контакту до області p-типу.

Тому, для отримання найменшої собівартості для зменшення кількості фотолітографій необхідно використовувати методи само-суміщення, коли при допомозі однієї фотолітографії формуються більш одного технологічного шару. Метод само-суміщення технологічних шарів використовується в технології виготовлення МОН транзисторів з затворами з полікристалічного кремнію [3, 10], коли при фотолітографії формуються розміри затворів з полікристалічного кремнію, а по їх границям формуються границі областей стоків та витоків. Методи само-суміщення в наш час використовуються й для виготовлення сучасних мікросхем на біполярних транзисторах.

Одною з технологій виготовлення структур діодів з використанням метода само-суміщення є технологія з застосуванням пористого анодного оксиду кремнію, яка запропонована для виготовлення діодів Шотткі [10].

Однак, технології виготовлення варикапів, яка б мала сукупність всіх параметрів та характеристик, близьких до теоретично можливих, на даний час відсутня.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розробка технологічного процесу, в якому буде досягнуто оптимальне співвідношення параметрів та характеристик варикапів при зниженні економічних показників собівартості їх виготовлення.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Матеріал наведених досліджень даної роботи, є продовженням пошуку технології виготовлення варикапів з оптимальним співвідношенням параметрів, що розглядалася в роботах [8, 9].

В запропонованому варіанті технології виготовлення варикапів приведені тільки основні технологічні операції. Для виготовлення кристалів варикапів використовують одношарові епітаксійні структури, на яких проводять наступні основні технологічні операції:

1. Хімічна обробка пластин;
2. Контроль обробки;
3. Іонне легування\*фосфором;
4. Хімічна обробка після іонного легування;
5. Дифузія фосфору\*(формування області зворотного градієнту);
6. Контроль дифузійного шару\*;
7. Хімічна обробка пластин;
8. Контроль обробки;
9. Дифузія бора;
10. Видалення боро-силікатного скла;
11. Контроль дифузійного шару;
12. Хімічна обробка пластин;
13. Контроль обробки;
14. Нанесення шару нітриду кремнію  $Si_3N_4$ ;
15. Контроль параметрів шару нітриду кремнію;
16. 1-а фотолітографія по нітриду кремнію;
17. Контроль після фотолітографії;
18. Анодне окислювання (пористий оксид);
19. Контроль шару пористого оксиду;
20. Хімічна обробка пластин;
21. Контроль після обробки;
22. Термічне окислювання (захист p-n переходів);
23. Контроль шару термічного окислу;
24. Селективне видалення шару нітриду кремнію в ортофосфорної кислоті;
25. Контроль зовнішнього виду після видалення шару нітриду кремнію;
26. Контроль вольт-амперних та вольт-фарадних характеристик;
27. Додаткова дифузія бору (при необхідності з попередньою хімічною обробкою);
28. Хімічна обробка перед нанесенням алюмінію;
29. Нанесення шару алюмінію в вакуумних установках;
30. Контроль шару алюмінію;
31. Контроль зовнішнього вигляду кристалів;
32. Відпал алюмінію;
33. Контроль параметрів кристалів на пластині;

\* – для варикапів з областю зворотного градієнту.



Такій технологічний процес дозволяє отримати структуру варикапу з областю зворотного градієнту, яка показана на рисунку 1.

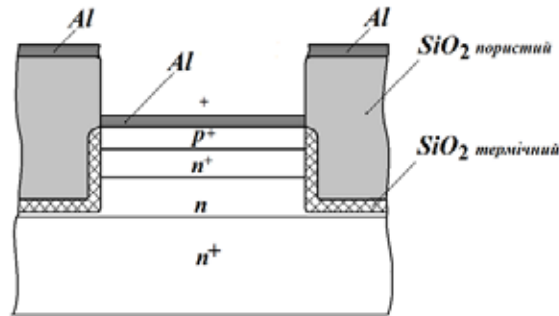


Рис. 1. Поперечний переріз структури надрізного варикапу з шаром пористого анодного оксиду кремнію

Пористий анодний оксид росте в напрямку вертикально донизу та нагору строго по межі маскувального шару, та не розповсюджуються в боки. Це дозволяє застосувати метод само-суміщення основних технологічних шарів в структурі варикапа. Більш наочно технологічний процес, запропонований для виготовлення структури надрізного варикапу при використанні в технологічному процесі пористого анодного оксиду кремнію, приведений на схемі рисунок 2.

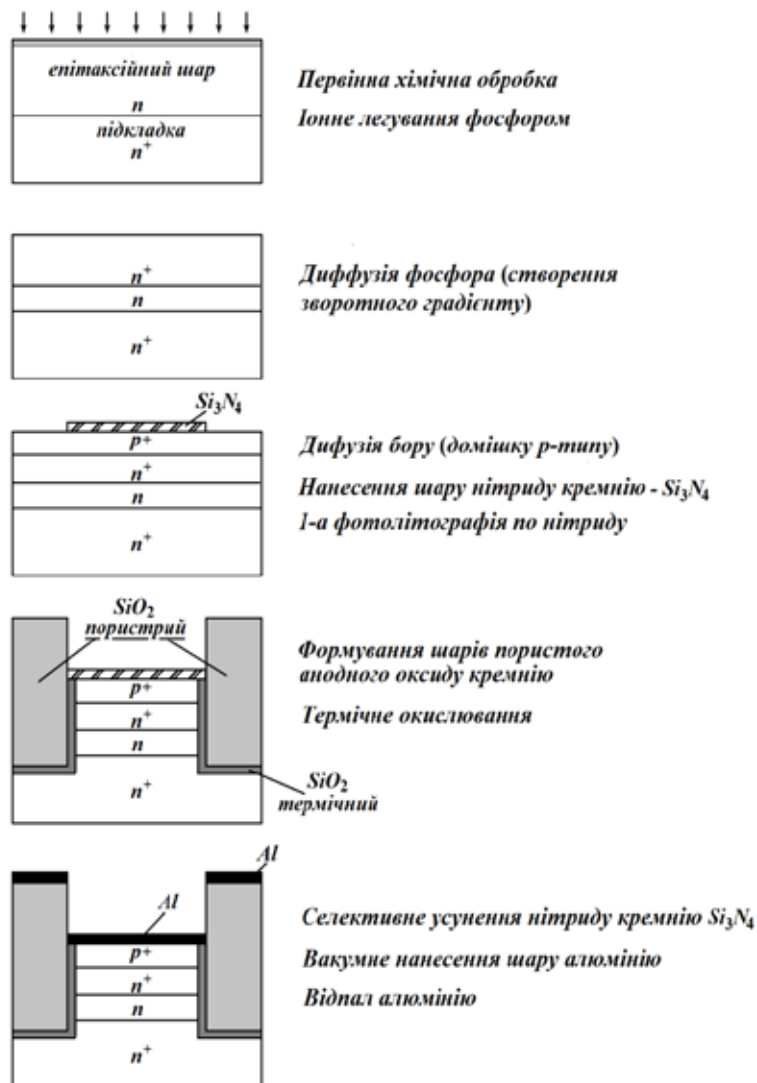


Рис. 2. Схема технологічного процесу виготовлення надрізного варикапу при використанні пористого анодного оксиду кремнію

За рахунок застосування метода само-суміщення при проведенні тільки одної фотолітографії формуються: шар пористого анодного оксиду кремнію, область зворотного градієнту, область анода з р-n переходом, шар металевого (алюмінієвого) контакту до анода. Розміри області зворотного градієнту та області анода формуються за рахунок росту шару пористого анодного оксиду кремнію. Шар алюмінію, товщиною порядку 1 мкм наноситься на пластини в вакуумних установках. При висоті шару пористого анодного оксиду над поверхнею більш 10-11 мкм, шар алюмінію має розрив на вертикальних стінках пористого анодного оксиду кремнію. Тобто, цей шар також створюється за методом само-суміщення.

При необхідності мати меншу висоту пористого анодного оксиду кремнію, додаються технологічні операції заповнення проміжків між стінками пористого оксиду кремнію тонким шаром фоторезисту на центрифугах, видалення алюмінію в кислотних розчинах та видалення фоторезисту.

Таким чином, використання технології з пористим анодним оксидом кремнію дозволяє застосувати методи само-суміщення, а це приводить до зменшення собівартості виготовлення приладів, тому що в технологічному процесі використовується тільки одна фотолітографія, яка не потребує суміщення з попередніми технологічними шарами.

Для розуміння можливості застосування технологічного процесу виготовлення варикапів, що пропонується, слід розглянути, як виконуються вимоги щодо отримання параметрів та характеристик приладів, близьких до теоретично можливих.

Структура варикапа, показана на рисунку 1, подібна до типової меза-структури діодів, тому не має кривизни фронту р-n переходу. Це дозволяє отримати напругу пробою, максимально можливою для плоских ступеневих (різких) р-n переходів.

Також, в цій структурі немає будь-яких шарів, які б приводили до появи додаткового опору, що дозволяє отримувати величину добротності близьку до теоретично можливої.

Площа р-n переходу при підвищенні напруги зворотного зміщення не збільшується за рахунок розповсюдження в боки тому, що вона обмежується стінками пористого анодного оксиду кремнію разом з тонким шаром якісного термічного оксиду кремнію. А це дозволяє отримати максимально-можливу величину коефіцієнта перекриття по ємності.

Величина зворотного струму напівпровідникових приладів має декілька складових. Для зменшення рівня зворотного струму по поверхні застосують термічний оксид кремнію. В даній технології цей оксид формується за рахунок того, що атоми кисню при процесі термічного окислення проникають через пори пористого анодного оксиду до кремнію, де й створюється тонкий шар термічного оксиду кремнію. Таким чином, ця складова зворотного струму буде мінімально-можливою. Друга складова зворотного струму пов'язана з наявністю глибоких рівнів в забороненій зоні напівпровідника. Такі рівні дають деякі метали, наприклад нікель, що приводить до збільшення величини зворотного струму на 3-4 порядки. В запропонованій технології в якості металу застосовано алюміній, який не дає глибоких рівнів в забороненій зоні, тому ця складова також буде мінімально-можливою.

Додатковим, але важливим, показником є повторюваність параметрів та характеристик приладів на різних пластинах, та на різних партіях пластин. Одним з основних показників є повторюваність ємності при заданій напрузі. В структурі варикапу цей показник пов'язаний з розміром площі р-n переходу разом з його ОПЗ. В запропонованій технології розмір площі р-n переходу визначається тільки розміром вікна на фотошаблоні при першій фотолітографії. Типове відхилення розмірів вікон на фотошаблоні не перевищує десятих часток мкм, або ще менше. Тому, при використанні даної технології повторюваність параметрів та характеристик приладів буде дуже високою.

Найменша собівартість виготовлення визначається використанням тільки однієї (першої) фотолітографії, яка не потребує суміщення з попередніми технологічними шарами, застосуванням методів само-суміщення, та відсутністю додаткових складних технологічних операцій.

Для визначення найбільш досконалої технології виготовлення варикапів розглянемо порівняльну таблицю характеристик варикапів. Отриманих за різними технологіями (табл. 1).

Таким чином, запропонована технологія виготовлення варикапів з використанням технологічних шарів пористого анодного оксиду кремнію дозволяє застосувати методи само-суміщення технологічних шарів та одержати прилад з найкращою сукупністю параметрів та характеристик при мінімальній собівартості виготовлення.

Крім того, для створення шару пористого анодного оксиду кремнію застосовується розчин слабких кислот (наприклад, борної кислоти), замість розчинів азотної та плавикової кислоти при створенні меза-структури. Це зменшує негативний вплив технології на навколишнє середовище.

#### Висновки

Застосування технології виготовлення варикапів з використанням технологічних шарів пористого анодного оксиду кремнію та методів само-суміщення дозволяє:

– отримувати високу напругу пробою, використовуючи переваги структури варикапа, яка подібна за властивостями до меза-структури;

Таблиця 1

## Показники якості варикапів різних технологій

Технологія	Напруга пробою	Зворотній струм	Добротність	Коефіцієнт перекриття по ємності	Повторюваність параметрів	Кількість фотолітографій	Показник: сума (+)Σ(+)
Типова планарна	-	++	++	-	+	+ (2)	6
Планарна з областю зворотного градієнту (ОЗГ)	-	++	+	++	+	+ (3)	7
Межа-структура	++	-	++	-	-	++ (1)	6
Межа-структура зі зворотнім градієнтом	++	-	+	++	-	++(1)	7
З пористим анодним оксидом кремнію та зі зворотнім градієнтом	++	++	++	++	++	++ (1)	12

Примітка: (++) – високий показник, близький до максимального можливого;

(+) – середній показник;

(-) – низький показник;

Σ(+) – інтегральний показник якості технології.

- отримувати найбільші величини коефіцієнта перекриття по ємності, тому що при великій напрузі площа ОПЗ р-n переходу не збільшується, а залишається не змінною;
- отримувати максимально-можливу добротність завдяки відсутності додаткових опорів;
- наносити в вакуумі метал, якій не має глибоких рівнів в забороненій зоні (наприклад, алюміній) використав ефект розриву шару металу на вертикальних стінках пористого оксиду, що не приводить до зростання рівня зворотних струмів;
- мати захист р-n переходів термічним оксидом кремнію, що забезпечує мінімальний рівень зворотних струмів;
- мати малий розкид параметрів та характеристик тому, що внаслідок особливостей процесу фотолітографії площа р-n переходу визначається тільки розміром вікна на фотошаблоні;
- застосовувати в процесі виготовлення варикапів тільки одну фотолітографію, без необхідності суміщення з попередніми технологічними шарами, що зменшує собівартість виготовлення кристалів на пластинах;
- зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та на персонал на виробництві за рахунок використання більш слабких кислот для травлення кремнію;
- мати ліпшу сукупність параметрів та характеристик виробу зі всіх відомих типів варикапів.

## Список використаної літератури

1. Прищепя М.М., Погребняк В.П. Мікроелектроніка: в 3 ч. Елементи мікросхемотехніки: навч. посіб. / за ред. М.М. Прищепи. Київ: Вища школа, 2006. Ч. 2. 503 с.
2. Кузьмичев А.І., Писаренко Л.Д., Цибульський Л.Ю. Технологічні основи електроніки. кн.1: Технологія виробництва мікросхем. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 127 с.
3. Литвиненко В.М. Фізика та технологія напівпровідникових діодів: монографія. Херсон : ФОП Вишемирський В.С., 2018. 184 с.
4. Sze S.M. Semiconductor Devices, physics and technology: 2nd ed. Published by John Wiley and Sons Ltd, 2002. 574 p.
5. Milnes A. G. Deep impurities in semiconductors. John Wiley & Sons. New York, 1973. 526 p.
6. Михаліченко П.Є., Фролов О.М., Надточий А.В. та ін. Оперативний розрахунок елементів мікросхем та напівпровідникових приладів: монографія. / за ред. П.Є. Михаліченко. Миколаїв: Іліон, 2024. 188 с.
7. Литвиненко В.М. Оптимізація технології виготовлення епітаксально-планарного варикапа. Вісник ХНТУ. Херсон, 2023. № 4 (87). С. 85-90. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.10>
8. Селіверстова С.Р., Фролов О.М. Використання товстих шарів пористого анодного окислу кремнію для технології виготовлення варикапів. Вісник ХНТУ. Херсон, 2023. № 3 (86). С. 53-59. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.3.7>
9. Ткачук М.А., Селіверстова С.Р. Технологічні особливості виготовлення варикапів. Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства. зб. матеріалів XIII всеукр. студ. наук. конф., м. Херсон, 23 листоп. 2023 р. Херсон, 2023. С. 128-129.
10. Спосіб виготовлення кремнієвих діодів Шоттки з охоронним кільцем: патент на корисну модель № 60700 Україна: МПК: НОІЛ21/04; НОІЛ 21/31; НОІЛ 21/329. опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12. 3 с.

## References

1. Pryshchepa M.M., Pohrebniak V.P. (2006) *Mikroelektronika* [Microelectronics]: in 3 p. P. 2. *Elementy mikroskhemotekhniky* [Elements of microskhemotekhniky]. Kyiv: High school.
2. Kuzmychiv A.I., Pysarenko L.D., Tsybul'skyi L.Iu. (2019) *Tekhnolohichni osnovy elektroniky* [Technological foundations of electronics]. book.1. *Tekhnolohiia vyrobnytstva mikroskhem* [Chip manufacturing technology]. Kyiv: KPI n. Ihoria Sikorskoho.
3. Lytvynenko V.M. (2018) *Fizyka ta tekhnolohiia napivprovodnykovykh diodiv* [Physics and technology of semiconductor diodes: a monograph]. Kherson: FOP Vyshemyrskyi V.S.
4. Sze S.M. *Semiconductor Devices, physics and technology*: 2nd ed. Published by John Wiley and Sons Ltd, 2002. 574 p.
5. Milnes A. G. *Deep Impurities In Semiconductors*. John Wiley & Sons. New York, 1973. 526 p.
6. Mykhalichenko P.Ie., Frolov O.V., Nadtochyi A.V. (2024) *Optymizatsiia tekhnolohii vyhotovlennia epitaksialno-planarnoho varykapa* [Operational calculation of microcircuit elements and semiconductor devices]. Mykolaiv: Ilion.
7. Lytvynenko V.M. (2023) *Optymizatsiia tekhnolohii vyhotovlennia epitaksialno-planarnoho varykapa* [Optimization of the technology of manufacturing epitaxial-planar varicap]. *Bulletin of KhNTU*, no 4 (87), pp. 85-90.
8. Seliverstova S.R., Frolov O.M. (2023) *Vykorystannia товstyx шарів пористого анодного оксиду кремнію для технології виготовлення варикапів* [Use of thick layers of porous anode silicon oxide for varicap manufacturing technology] ]. *Bulletin of KhNTU*, no № 3 (86), pp.53-59.
9. Tkachuk M.A., Seliverstova S.R. (2023) Technological features of manufacturing varicaps [Tekhnolohichni osoblyvosti vyhotovlennia varykapiv]. *Proceedings of the Modern problems of maritime transport and maritime safety: XIII All-Ukrainian Student Scientific Conference, (Ukraine, Kherson, november 23, 2023)*, Kherson: KhDMA, pp. 128-129.
10. Frolov O.M., Seliverstova S.R., Sieliverstov I.A. Sposib vyhotovlennia kremniievykh diodiv Shottki z okhoronnym kiltsem [Method for manufacturing silicon Schottky diodes with a security ring] utility model patent. no 60700 MPK: HOIL21/04; HOIL 21/31; HOIL 21/329. *Bulletin no12/ data 25.06.2011*. p.3.

**К. Є. ХАВІКОВА**

здобувач ступеня доктора філософії 2018/2023,  
викладач біології і екології  
Придніпровський металургійний фаховий коледж  
ORCID: 0000-0002-3276-481X

**А. І. ТРИКІЛО**

кандидат технічних наук, доцент  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-5203-5948

**С. С. ГОЛОВАНЬ**

аспірант кафедри хімічних та біологічних технологій  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0006-1960-5466

**В. О. ШКОДА**

аспірант кафедри хімічних та біологічних технологій  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0000-8811-0391

## ОТРИМАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА РІВНЯНЬ МНОЖИННОЇ РЕГРЕСІЇ ПРОЦЕСУ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ФЕНОЛВМІСНИХ СТОКІВ

В даній роботі об'єктом дослідження обрано фенольні стоки вузлу біохімічної очистки коксохімічного підприємства м. Кам'янського ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». В його умовах затверджені нормативні значення якості вихідних стоків, які для фенолів складають  $415 \text{ мг/дм}^3$ ; роданідів –  $400 \text{ мг/дм}^3$ ; а фактична концентрація  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  (середня за рік) становить –  $1115,9 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{SCN}^-$  –  $601,1 \text{ мг/дм}^3$ . Наведені дані свідчать про те, що слід очікувати нерівномірність процесу біологічної очистки стоків протягом року, що призводить до негативного впливу токсичних речовин на симбіоз активного мулу. Задля підвищення якості фенольної води, що подається у аеротенки виникає необхідність у доочищенні стоків на механічній стадії.

На основі експериментальних даних отримано рівняння регресії, які дозволяють визначити залишкову концентрацію фенолів та роданідів залежно від доз глауконіту та часу контактування адсорбенту зі стічною водою. Оптимальна витрата глауконіту в поєднанні з  $0,1\%$  розчином катіонного флокулянту згідно з першою моделлю очищення становить  $2 - 4,8 \text{ г/дм}^3$  при тривалості часу експерименту  $100 - 110 \text{ хв}$ , що призводить до зменшення концентрації фенолів від  $510 \text{ мг/дм}^3$  до  $340,9 \text{ мг/дм}^3$ . Згідно з другою моделлю, максимальний ступінь вилучення роданідів досягається при витраті глауконіту –  $2 - 5 \text{ г/дм}^3$  в поєднанні з  $0,1\%$  розчином флокулянту катіонного типу та інтервалі часу  $115 \text{ хв}$ , що призводить до зменшення концентрації роданідів з  $475,2 \text{ мг/дм}^3$  до  $345 \text{ мг/дм}^3$ . Одержані множинні рівняння регресії адекватно описують результати експериментальних досліджень.

Практичне зменшення фенолів та роданідів до ГДК, може бути отримано при значеннях витрати глауконіту  $X_2$  ( $2 - 5 \text{ г/дм}^3$ ) та інтервалі часу очищення  $X_3$  ( $100 - 115 \text{ хв}$ ). Оптимальний час контактування сорбенту не перевищує часу перебування стоків у флотаторі і задовольняє технологічним вимогам. Адекватність рівнянь перевірено за критерієм Фішера. За табличними даними визначено, що вилучення фенолів за критерієм Фішера становить:  $F_1 = 1,9$ . В підсумку отримуємо:  $0,461 \leq 1,9$ . Видалення роданідів:  $F_2 = 1,9$ , що в підсумку складає:  $0,369 \leq 1,9$ . Рівняння є адекватними експериментальним даним.

**Ключові слова:** коксохімічні стоки, фенолвмісні стоки, феноли, роданіди, глауконіт, математична модель.

**К. YE. KHAVIKOVA**

Postgraduate Student 2018/2023,  
Lecturer of Biology and Ecology  
Prydniprovsky Metallurgical Vocational College  
ORCID: 0000-0002-3276-481X

**A. I. TRUKILO**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Dniprovsky State Technical University  
ORCID: 0000-0002-5203-5948

S. S. GOLOVAN

Postgraduate Student at the Department of Chemical and Biological Technologies  
Dniprovsky State Technical University  
ORCID: 0009-0006-1960-5466

V. O. SKODA

Postgraduate Student at the Department of Chemical and Biological Technologies  
Dniprovsky State Technical University  
ORCID: 0009-0000-8811-0391

## OBTAINING THE MATHEMATICAL MODEL AND MULTIPLE REGRESSION EQUATIONS OF THE NEUTRALIZATION PROCESS OF PHENOL-CONTAINING WASTEWATER

*In this work, the object of study was selected as the phenol effluents of the biochemical treatment unit of the coke-chemical enterprise of Kamianske, PJSC "KAMET-STEEL". Under its conditions, the regulatory values of the quality of the initial effluents were approved, which for phenols are 415 mg/dm<sup>3</sup>; for rhodanides – 400 mg/dm<sup>3</sup>; and the actual concentration of C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH (average for the year) is – 1115.9 mg/dm<sup>3</sup>, SCN<sup>-</sup> – 601.1 mg/dm<sup>3</sup>. The given data indicate that the unevenness of the process of biological wastewater treatment should be expected during the year, which will lead to a negative effect of toxic substances on the symbiosis of activated sludge. In order to improve the quality of phenolic water supplied to aeratanks, there is a need to further purify the effluents at the mechanical stage.*

*Based on the experimental data, regression equations were obtained that allow determining the residual concentration of phenols and rhodanides depending on the doses of glauconite and the contact time of the adsorbent with wastewater. The optimal consumption of glauconite in combination with a 0.1% solution of a cationic flocculant according to the first model of purification is 2 – 4.8 g/dm<sup>3</sup> with a duration of the experiment of 100 – 110 min, which leads to a decrease in the concentration of phenols from 510 mg/dm<sup>3</sup> to 340.9 mg/dm<sup>3</sup>. According to the second model, the maximum degree of rhodanide extraction is achieved with a glauconite consumption of 2 – 5 g/dm<sup>3</sup> in combination with a 0.1% cationic flocculant solution and a time interval of 115 minutes, which leads to a decrease in the rhodanide concentration from 475.2 mg/dm<sup>3</sup> up to 345 mg/dm<sup>3</sup>. The obtained multiple regression equations adequately describe the results of experimental studies. Practical reduction of phenols and rhodanides to the MPC can be obtained at the values of glauconite flow rate X<sub>2</sub> (2 – 5 g/dm<sup>3</sup>) and the cleaning time interval X<sub>3</sub> (100 – 115 min). The optimal contact time of the sorbent does not exceed the residence time of the effluents in the flotation device and satisfies the technological requirements. The adequacy of the equations was checked by the Fisher criterion. According to the tabular data, it was determined that the extraction of phenols by the Fisher criterion is: F<sub>1</sub> = 1.9. As a result, we obtain: 0.461 ≤ 1.9. Removal of rhodanides: F<sub>2</sub> = 1.9, which as a result is: 0.369 ≤ 1.9. The equations are adequate to the experimental data.*

**Key words:** coke chemical effluents, phenol-containing effluents, phenols, rhodanides, glauconite, mathematical model.

### Постановка проблеми

В умовах діючого коксохімічного підприємства нормативний вміст фенолів у вихідних стоках складає 415 мг/дм<sup>3</sup>, роданідів – 400 мг/дм<sup>3</sup>; а фактична концентрація C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH (середня за рік) – 1115,9 мг/дм<sup>3</sup>, SCN<sup>-</sup> – 601,1 мг/дм<sup>3</sup>, що призводить до нерівномірності процесу біологічної очистки стоків протягом року із токсичним впливом на симбіоз активного мулу, родан- та фенолруйнуючі мікроорганізми.

Концентрація фенолів та роданідів на коксохімічних заводах, складає II клас небезпеки та потребує додаткового очищення на механічній стадії перед біохімічною очисткою [1, с. 27].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Критичний аналіз літературних даних по дослідженню і використанню дисперсних сорбентів та фільтруючих матеріалів показав, що пошук нових сорбційних матеріалів для ефективного вилучення фенолів і супутніх речовин зі стічних вод залишається актуальним. Зазвичай в промислових умовах застосовуються синтетичні високомолекулярні сполуки, такі як поліакриламід. Відомо про приклади зарубіжних джерел застосування мінеральних глин для очистки води від різноманітних органічних речовин: нафти та нафтопродуктів, фенолів, роданідів, ціанідів і т.п. [2 с. 1; 3 с. 705; 4 с. 692].

### Формулювання мети дослідження

Запропоновано зниження концентрації фенолів та роданідів в коксохімічних стоках підприємства ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» до нормативних значень з описанням математичної моделі адсорбційного процесу, отриманням рівнянь множинної регресії, з перевіркою адекватності за критерієм Фішера та пропозицією оптимальної дози сорбентів.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Для описання математичної моделі адсорбційного процесу, проведено експериментальні випробування на лабораторному флотаторі. Досліди проводились при температурному показнику фенольної рідини – 20,5 °С, що

відповідає середньорічній температурі стоків, які надходять до флотатору і, при нагріві до 50 °С, що потрапляють до смоловідстійників. Початкова концентрація фенолів у вихідних стоках становила 510 мг/дм<sup>3</sup> та роданідів – 475,2 мг/дм<sup>3</sup>. В якості факторів, від яких залежить ступінь очистки (залишкова концентрація фенолів та роданідів) обрано наступні: X<sub>1</sub> – температура стоків, °С, X<sub>2</sub> – витрата глауконіту, г/дм<sup>3</sup>; X<sub>3</sub> – інтервал часу, хв; Y<sub>1</sub> – концентрація фенолів, мг/дм<sup>3</sup>; Y<sub>2</sub> – концентрація роданідів, мг/дм<sup>3</sup>. Результати серії лабораторних експериментів зведені у табл. 1 – 2, в яких приведені значення вихідних параметрів – X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> та залишкових концентрацій фенолів і роданідів – Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>.

Таблиця 1

**Значення вихідних параметрів та результатів експериментів при вилученні фенолів з стічної води**

	X1	X2	X3	Y1	Y1(X1)	%	Y1(X2)	%	Y1(X3)	%	Y1(X2,X3)	%
1	20,5	2	20	420	381,69	9,12%	383,79	8,62%	415,69	1,03%	412,05	1,89%
2	50	2	20	415	378,50	8,80%	383,79	7,52%	415,69	0,17%	412,05	0,71%
3	20,5	2	40	383	381,69	0,34%	383,79	0,21%	387,80	1,25%	387,81	1,26%
4	50	2	40	392	378,50	3,44%	383,79	2,09%	387,80	1,07%	387,81	1,07%
5	20,5	2	60	372	381,69	2,60%	383,79	3,17%	367,27	1,27%	370,93	0,29%
6	50	2	60	392	378,50	3,44%	383,79	2,09%	367,27	6,31%	370,93	5,38%
7	20,5	2	120	328	381,69	16,37%	383,79	17,01%	349,83	6,66%	364,39	11,09%
8	50	2	120	392	378,50	3,44%	383,79	2,09%	349,83	10,76%	364,39	7,04%
9	20,5	4	20	365	381,69	4,57%	373,12	2,22%	415,69	13,89%	406,27	11,31%
10	50	4	20	420	378,50	9,88%	373,12	11,16%	415,69	1,03%	406,27	3,27%
11	20,5	4	40	383	381,69	0,34%	373,12	2,58%	387,80	1,25%	379,58	0,89%
12	50	4	40	372	378,50	1,75%	373,12	0,30%	387,80	4,25%	379,58	2,04%
13	20,5	4	60	348	381,69	9,68%	373,12	7,22%	367,27	5,54%	360,25	3,52%
14	50	4	60	328	378,50	15,40%	373,12	13,76%	367,27	11,97%	360,25	9,83%
15	20,5	4	120	348	381,69	9,68%	373,12	7,22%	349,83	0,53%	346,37	0,47%
16	50	4	120	350	378,50	8,14%	373,12	6,61%	349,83	0,05%	346,37	1,04%
17	20,5	6	20	425	381,69	10,19%	374,76	11,82%	415,69	2,19%	412,80	2,87%
18	50	6	20	392	378,50	3,44%	374,76	4,40%	415,69	6,04%	412,80	5,31%
19	20,5	6	40	420	381,69	9,12%	374,76	10,77%	387,80	7,67%	383,67	8,65%
20	50	6	40	383	378,50	1,18%	374,76	2,15%	387,80	1,25%	383,67	0,17%
21	20,5	6	60	392	381,69	2,63%	374,76	4,40%	367,27	6,31%	361,89	7,68%
22	50	6	60	372	378,50	1,75%	374,76	0,74%	367,27	1,27%	361,89	2,72%
23	20,5	6	120	335	381,69	13,94%	374,76	11,87%	349,83	4,43%	340,67	1,69%
24	50	6	120	350	378,50	8,14%	374,76	7,07%	349,83	0,05%	340,67	2,67%
25	20,5	8	20	452	381,69	15,56%	388,71	14,00%	415,69	8,03%	431,64	4,50%
26	50	8	20	415	378,50	8,80%	388,71	6,34%	415,69	0,17%	431,64	4,01%
27	20,5	8	40	440	381,69	13,25%	388,71	11,66%	387,80	11,86%	400,06	9,08%
28	50	8	40	383	378,50	1,18%	388,71	1,49%	387,80	1,25%	400,06	4,46%
29	20,5	8	60	348	381,69	9,68%	388,71	11,70%	367,27	5,54%	375,84	8,00%
30	50	8	60	350	378,50	8,14%	388,71	11,06%	367,27	4,93%	375,84	7,38%
31	20,5	8	120	348	381,69	9,68%	388,71	11,70%	349,83	0,53%	347,28	0,21%
32	50	8	120	350	378,50	8,14%	388,71	11,06%	349,83	0,05%	347,28	0,78%
Похибка						<b>7,24%</b>		<b>7,07%</b>		<b>4,02%</b>		<b>4,10%</b>
Коефіцієнт кореляції						<b>-0,0486</b>		<b>0,0558</b>		<b>-0,6937</b>		<b>-0,7909</b>

Для виявлення взаємозв'язку параметрів досліджуваного процесу очистки стоків від фенолів та роданідів виконано кореляційний аналіз, а саме перевірена гіпотеза про значущість парних коефіцієнтів кореляції, результати приведені у табл. 4.

Виділені коефіцієнти кореляції – значущі на рівні  $p < 0,05000$ , визначають значний вплив параметрів X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> (температура стоків, витрата глауконіту, інтервал часу) на ефективність очищення, як фенолів так і роданідів.

В результаті обробки експериментальних даних методами математичної статистики, визначено коефіцієнти кореляції (табл. 4) і наведені рівняння множинної регресії Y<sub>1</sub>(X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>), які представлені графіками 3D поверхонь відгуку, та графіками 2D карт ліній рівнів.

За даними експериментів, наведених у табл. 1, одержано рівняння множинної регресії, залежності вилучення фенолів Y<sub>1</sub> одночасно від витрати глауконіту X<sub>2</sub> та від інтервалу часу очищення X<sub>3</sub>, яке має вигляд:

$$Y_1 = 459,2830 - 10,9022 \cdot X_2 - 1,6408 \cdot X_3 - 0,0612 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1,5391 \cdot X_2^2 + 0,0092 \cdot X_3^2 \quad (1)$$

Середня відносна похибка рівняння становить 4,1%.

Таблиця 2

**Значення вихідних параметрів та результатів експериментів при вилученні роданідів з фенолвмісних стоків**

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub> (X <sub>1</sub> )	%	Y <sub>2</sub> (X <sub>2</sub> )	%	Y <sub>2</sub> (X <sub>3</sub> )	%	Y <sub>2</sub> (X <sub>2</sub> ,X <sub>3</sub> )	%
1	20,5	2	20	407	381,33	6,31%	374,87	7,97%	415,69	1,03%	412,05	1,89%
2	50	2	20	402	370,45	7,85%	374,87	6,78%	415,69	0,17%	412,05	0,71%
3	20,5	2	40	399	381,33	4,43%	374,87	6,01%	387,80	1,25%	387,81	1,26%
4	50	2	40	389	370,45	4,77%	374,87	3,59%	387,80	1,07%	387,81	1,07%
5	20,5	2	60	390	381,33	2,22%	374,87	3,97%	367,27	1,27%	370,93	0,29%
6	50	2	60	350	370,45	5,84%	374,87	7,00%	367,27	6,31%	370,93	5,38%
7	20,5	2	120	322	381,33	18,42%	374,87	16,25%	349,83	6,66%	364,39	11,09%
8	50	2	120	320	370,45	15,76%	374,87	17,11%	349,83	10,76%	364,39	7,04%
9	20,5	4	20	399	381,33	4,43%	378,39	5,13%	415,69	13,89%	406,27	11,31%
10	50	4	20	389	370,45	4,77%	378,39	2,74%	415,69	1,03%	406,27	3,27%
11	20,5	4	40	390	381,33	2,22%	378,39	3,06%	387,80	1,25%	379,58	0,89%
12	50	4	40	380	370,45	2,51%	378,39	0,54%	387,80	4,25%	379,58	2,04%
13	20,5	4	60	390	381,33	2,22%	378,39	3,06%	367,27	5,54%	360,25	3,52%
14	50	4	60	375	370,45	1,21%	378,39	0,81%	367,27	11,97%	360,25	9,83%
15	20,5	4	120	382	381,33	0,18%	378,39	0,91%	349,83	0,53%	346,37	0,47%
16	50	4	120	377	370,45	1,74%	378,39	0,46%	349,83	0,05%	346,37	1,04%
17	20,5	6	20	416	381,33	8,33%	377,65	9,18%	415,69	2,19%	412,80	2,87%
18	50	6	20	406	370,45	8,76%	377,65	6,94%	415,69	6,04%	412,80	5,31%
19	20,5	6	40	382	381,33	0,18%	377,65	1,10%	387,80	7,67%	383,67	8,65%
20	50	6	40	371	370,45	0,15%	377,65	1,91%	387,80	1,25%	383,67	0,17%
21	20,5	6	60	373	381,33	2,23%	377,65	1,14%	367,27	6,31%	361,89	7,68%
22	50	6	60	348	370,45	6,45%	377,65	8,40%	367,27	1,27%	361,89	2,72%
23	20,5	6	120	339	381,33	12,49%	377,65	11,26%	349,83	4,43%	340,67	1,69%
24	50	6	120	330	370,45	12,26%	377,65	14,36%	349,83	0,05%	340,67	2,67%
25	20,5	8	20	441	381,33	13,53%	372,65	15,55%	415,69	8,03%	431,64	4,50%
26	50	8	20	438	370,45	15,42%	372,65	14,97%	415,69	0,17%	431,64	4,01%
27	20,5	8	40	390	381,33	2,22%	372,65	4,53%	387,80	11,86%	400,06	9,08%
28	50	8	40	375	370,45	1,21%	372,65	0,72%	387,80	1,25%	400,06	4,46%
29	20,5	8	60	339	381,33	12,49%	372,65	9,79%	367,27	5,54%	375,84	8,00%
30	50	8	60	340	370,45	8,95%	372,65	9,49%	367,27	4,93%	375,84	7,38%
31	20,5	8	120	339	381,33	12,49%	372,65	9,79%	349,83	0,53%	347,28	0,21%
32	50	8	120	335	370,45	10,58%	372,65	11,13%	349,83	0,05%	347,28	0,78%
Похибка						<b>6,65%</b>		<b>6,74%</b>		<b>3,52%</b>		<b>3,54%</b>
Коефіцієнт кореляції						<b>-0,1747</b>		<b>-0,0265</b>		<b>-0,7706</b>		<b>-0,6909</b>

Таблиця 3

**Описові статистики діапазонів значень вихідних параметрів та результатів досліджень**

Параметри	Кількість дослідів	Мінімум	Середнє	Максимум	Стандартне відхилення	Стандартна похибка
X <sub>1</sub>	32	20,50	35,25	50,0	14,99	2,65
X <sub>2</sub>	32	2,00	5,00	8,00	2,27	0,40
X <sub>3</sub>	32	20,00	60,00	120,00	38,02	6,72
Y <sub>1</sub>	32	328,00	380,09	452,00	33,29	5,89
Y <sub>2</sub>	32	320,11	375,89	441,26	31,64	5,59

Таблиця 4

**Матриця парних коефіцієнтів кореляції вилучення фенолів та роданідів в залежності від вихідних параметрів**

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
X <sub>1</sub>	1	-0,0	0,0	-0,048637	-0,174708
X <sub>2</sub>	0,0	1	0,0	0,055870	-0,026582
X <sub>3</sub>	-0,0	0,0	1	-0,693774	-0,770676
Y <sub>1</sub>	-0,048637	0,055870	-0,693774	1	
Y <sub>2</sub>	-0,174708	-0,026582	-0,770676	-0,174708	1



Рівняння множинної регресії  $Y_1(X_2, X_3)$  (1) представлено графіком 3D поверхонь відгуку на рис. 1 та графіком 2D карт ліній рівнів вилучення фенолів ( $Y_1$ ) в залежності від витрати глауконіту ( $X_2$ ) та від інтервалу часу очищення ( $X_3$ ), які зображені на рис. 2.

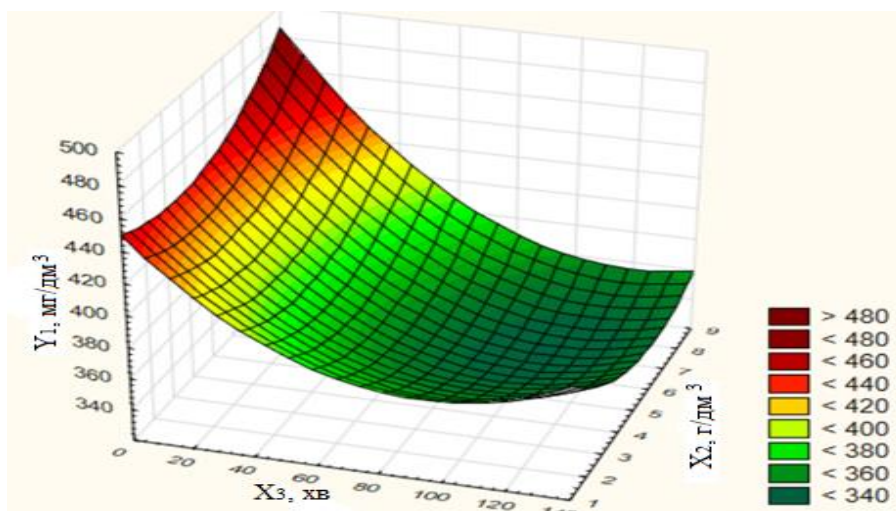


Рис. 1. Поверхня відгуку для рівняння множинної регресії  $Y_1(X_2, X_3)$ , рівняння (1)

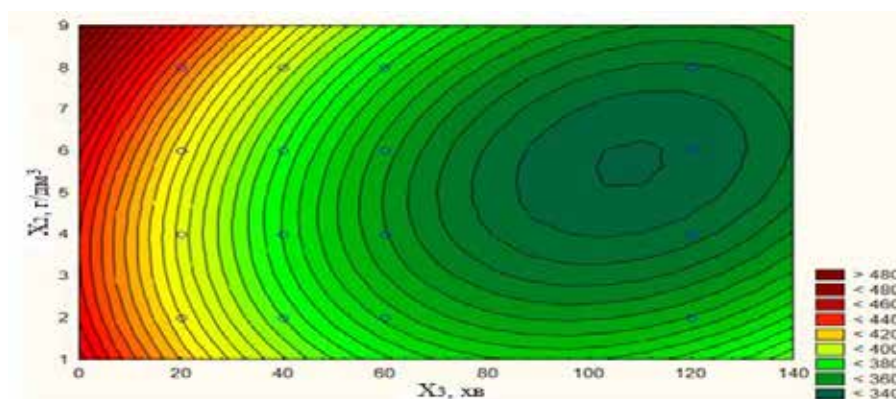


Рис. 2. Графік 2D карт ліній рівнів вилучення фенолів  $Y_1$  в залежності від витрати адсорбенту  $X_2$  та часу очищення  $X_3$ , рівняння (1)

З графіка (рис. 2) видно, що максимальне зменшення фенолів –  $340,9 \text{ мг/дм}^3$ , може бути отримано при значеннях витрати глауконіту  $X_2$  ( $4,8 \text{ г/дм}^3$ ) та інтервалі часу очищення  $X_3$  ( $110 \text{ хв}$ ), що відповідає глобальному мінімуму поверхні рівняння (1). Але практичне зменшення фенолів до  $340 \text{ мг/дм}^3$ , може бути отримано при значеннях витрати глауконіту  $X_2$  ( $2 - 4,8 \text{ г/дм}^3$ ) та інтервалі часу очищення  $X_3$  ( $100 - 110 \text{ хв}$ ), що відповідає економічно доцільній витраті глауконіту  $X_2 - 2 \text{ г/дм}^3$  при тривалості експерименту  $X_3 - 100 \text{ хв}$ . Якість стоків не перевищує ГДК фенолів – не більше  $415 \text{ мг/дм}^3$ .

За даними експериментів, наведених у табл. 2, одержано рівняння множинної регресії, залежності вилучення роданідів  $Y_2$  одночасно від витрати глауконіту  $X_2$  та від інтервалу часу очищення  $X_3$ , яке має вигляд:

$$Y_2 = 428,2993 - 1,7533 \cdot X_3 + 6,997 \cdot X_2 - 0,034 \cdot X_3 \cdot X_2 + 0,0088 \cdot X_3^2 - 0,5328 \cdot X_2^2 \quad (2)$$

Середня відносна похибка рівняння становить  $3,54\%$ .

Рівняння множинної регресії  $Y_2(X_2, X_3)$  (2) представлено графіком 3D поверхонь відгуку на рис. 3 та графіком 2D карт ліній рівнів вилучення роданідів ( $Y_2$ ) в залежності від витрати глауконіту ( $X_2$ ) та від інтервалу часу очищення ( $X_3$ ), які зображені на рис. 4.

З графіка (рис. 4) видно, що максимальне зменшення роданідів до показника  $345 \text{ мг/дм}^3$ , може бути отримано при максимальному значенні витрати глауконіту  $X_2$  ( $5 \text{ г/дм}^3$ ) та мінімальному інтервалі часу очищення  $X_3$  ( $115 \text{ хв}$ ), що відповідає сідловій точці поверхні рівняння (2). Якість очищених стоків відповідає діючим нормам (ГДК роданідів – не більше  $400 \text{ мг/дм}^3$ ).

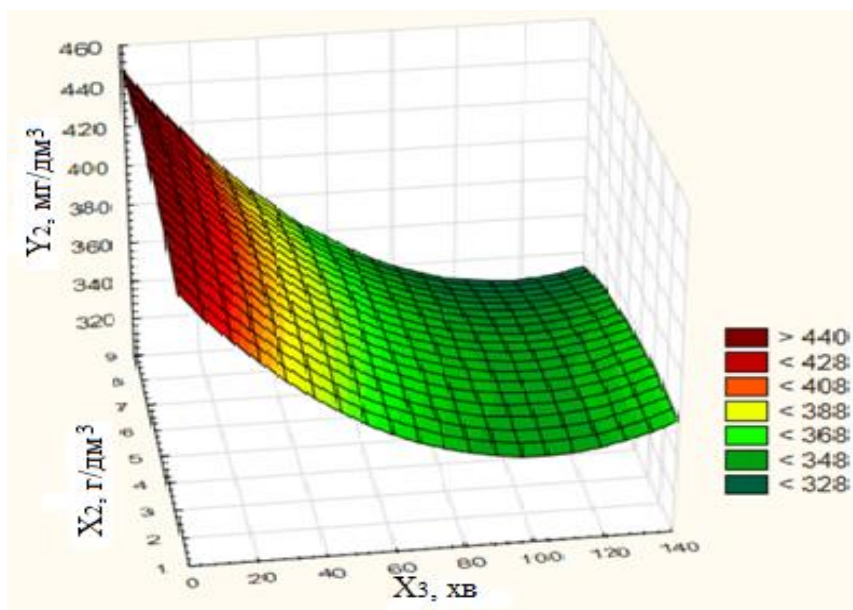


Рис. 3. Поверхня відгуку для рівняння множинної регресії  $Y_2(X_2, X_3)$ , рівняння (2)

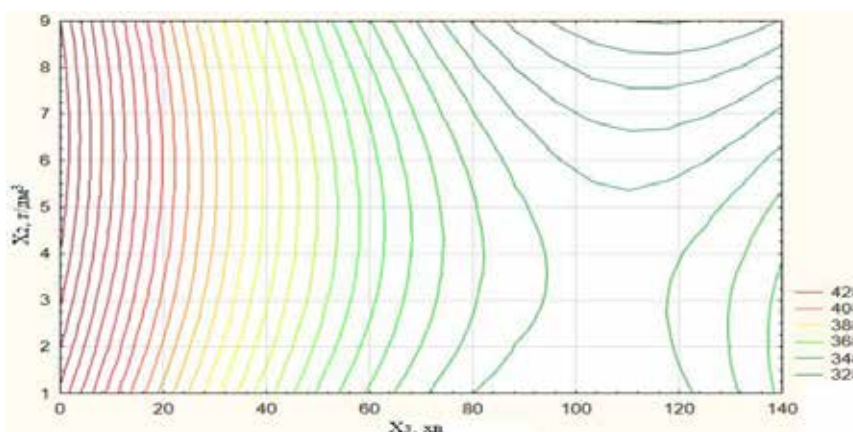


Рис. 4. Графік 2D карт ліній рівнів вилучення роданідів  $Y_2$  в залежності від витрати адсорбенту  $X_2$  та часу очищення  $X_3$ , рівняння (2)

Адекватність рівняння (1 – 2) перевірено за критерієм Фішера:

$$F_p \leq F \tag{1}$$

де  $F_p$  – розрахункове значення критерію Фішера;

$F$  – табличне значення критерію Фішера.

Розрахункове значення критерію Фішера визначали за формулою:

$$F_p = \frac{S_3^2}{S_6^2}, \tag{2}$$

де  $S_3$  – залишкова дисперсія;

$S_6$  – дисперсія відтворюваності.

Залишкову дисперсію розраховували за формулою:

$$S_3^2 = \frac{\sum_{i=1}^{32} (Y_o - \tilde{Y})^2}{n-1}, \tag{3}$$

де  $Y_o$  – розрахункове значення концентрації фенолів, роданідів, мг/дм<sup>3</sup>;

$\tilde{Y}$  – середнє значення розрахункової концентрації фенолів, роданідів, мг/дм<sup>3</sup>;

$n$  – обсяг вибірки;

l – кількість коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Дисперсію відтворюваності розраховували за формулою:

$$S_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^{32} (Y - \tilde{Y})^2}{m}, \quad (4)$$

де  $Y$  – експериментальне значення концентрації фенолів, роданідів, мг/дм<sup>3</sup>;

$m$  – число ступенів свободи.

Для рівняння (1) отримані наступні значення:

$$S_3^2 = 494,98$$

$$S_b^2 = 1073,77$$

$$F_p = \frac{494,98}{1073,77} = 0,461$$

Для рівняння (2) отримані наступні значення:

$$S_3^2 = 371,20$$

$$S_b^2 = 1007,11$$

$$F_p = \frac{371,20}{1007,11} = 0,369$$

#### Висновки

Практичне зменшення фенолів та роданідів до ГДК, може бути отримано при значеннях витрати глауконіту  $X_2$  (2 – 5 г/дм<sup>3</sup>) та інтервалі часу очищення  $X_3$  (100 – 115 хв). Оптимальний час контактування сорбенту не перевищує часу перебування стоків у флотаторі і задовольняє технологічним вимогам. За табличними даними визначено, що вилучення фенолів за критерієм Фішера становить:  $F_1 = 1,9$ . В підсумку отримуємо:  $0,461 \leq 1,9$ . Видалення роданідів:  $F_2 = 1,9$ , що в підсумку складає:  $0,369 \leq 1,9$ . Рівняння є адекватними експериментальним даним.

#### Список використаної літератури

1. Іванченко А. В., Хавікова К. Є. Комплексне очищення промислових фенольних стічних вод з використанням адсорбентів з природної сировини. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 2. С. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-143-2-27-34>.
2. Yakub E., Agarry S. E., Omoruwou F. [et al.] Comparative study of the batch adsorption kinetics and mass transfer in phenol-sand and phenol-clay adsorption systems. *Particulate Science and Technology*. 2019. №. 1. С. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1080/02726351.2019.1616862>.
3. Mandal A., Dey B.B., Das S.K. Thermodynamics, kinetics, and isotherms for phenol removal from wastewater using red mud. *Water Practice and Technology*. 2020. Т. 15. №. 3. С. 705–722. DOI: <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.056>.
4. Gładysz-Płaska A. Application of modified clay for removal of phenol and  $PO_4^{3-}$  ions from aqueous solutions. *Adsorption Science Technology*. 2017. Т. 35. №. 7-8. С. 692–699. DOI: [10.1177/0263617417704774](https://doi.org/10.1177/0263617417704774).

#### References

1. Ivanchenko A.V., Khavikova K. Ye. (2019) Complex treatment of industrial phenolic wastewater using adsorbents from natural raw materials. *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*. No. 2. P.27–34. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-143-2-27-34>. [in Ukrainian].
2. Yakub E., Agarry S. E., Omoruwou F. [et al.] (2019) Comparative study of the batch adsorption kinetics and mass transfer in phenol-sand and phenol-clay adsorption systems. *Particulate Science and Technology*. №. 1. С. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1080/02726351.2019.1616862>. [Nigeria].
3. Mandal A., Dey B.B., Das S.K. (2020) Thermodynamics, kinetics, and isotherms for phenol removal from wastewater using red mud. *Water Practice and Technology*. Т. 15. №. 3. С. 705–722. DOI: <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.056>. [India].
4. Gładysz-Płaska A. (2017) Application of modified clay for removal of phenol and  $PO_4^{3-}$  ions from aqueous solutions. *Adsorption Science Technology*. Т. 35. №. 7–8. С. 692–699. DOI: [10.1177/0263617417704774](https://doi.org/10.1177/0263617417704774). [Poland].

УДК 621.319.3

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.23>**В. В. ШЕВЧУК**

PhD, науковий співробітник  
Інститут електродинаміки Національної академії наук України  
ORCID: 0000-0003-0535-2630

**В. В. КУЧАНСЬКИЙ**

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Інститут електродинаміки Національної академії наук України  
ORCID: 0000-0001-6473-9478

**Ю. І. ТУГАЙ**

доктор технічних наук,  
завідувач відділу оптимізації систем електропостачання  
Інститут електродинаміки Національної академії наук України  
ORCID: 0000-0002-0704-1863

**І. Ю. ТУГАЙ**

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Інститут електродинаміки Національної академії наук України  
ORCID: 0000-0002-7261-4277

**Л. Р. САБАРНО**

кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Інститут електродинаміки Національної академії наук України  
ORCID: 0000-0002-2153-2183

## ТЕСТУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА НЕСПРИЙНЯТЛИВІСТЬ ДО ПРОВАЛІВ НАПРУГИ, КОРОТКОЧАСНИХ ПЕРЕРИВАНЬ ТА ЗМІН НАПРУГИ

*Розвиток суспільства супроводжується збільшенням використання електричної енергії. Інтенсифікація виробництва та поширення електротехнологій призводять до значного зростання енерговитрат і навантажень у системі. Проблема забезпечення якості електроенергії з кожним роком набуває особливого значення завдяки впровадженню різноманітних відновлюваних джерел енергії, потужних нелінійних споживачів та перетворенню централізованих систем електропостачання в децентралізовані. Всі ці зміни призводять до неможливості забезпечити стійкий режим постачання електроенергії, що спричиняє значні втрати від зниження якості електроенергії. З огляду на зміни у сфері енергетики, питання про зменшення втрат електроенергії в електричних мережах стає ще більш актуальним. Це стає одним із пріоритетних завдань для забезпечення фінансової стабільності енергопостачальних підприємств. Рівень втрат електроенергії у мережах є ключовим показником ефективності їхньої роботи. Це також свідчить про якість системи обліку електроенергії та результативність діяльності енергопостачальних компаній у забезпеченні передачі та розподілу електричної енергії. Якість електроенергії визначається як комплексний набір технічних параметрів, що характеризують якість живлення та функціонування електричних мереж та споживачів. Основні параметри включають стабільність напруги та частоти, гармонічні спотворення, перерви в подачі, фазові зсуви, спотворення хвиль, неоднорідності напруги та інші. Якість електроенергії має велике значення для безпеки людей і майна, ефективності виробництва, комфорту в побуті та стійкості інфраструктури. Стабільне та надійне електропостачання забезпечує нормальну роботу електричних приладів, захищає від втрат даних та пошкоджень обладнання. Якість електричної енергії – це комплекс характеристик, які визначають її відповідність встановленим стандартам і можливість використання для потреб, на які вона призначена.*

**Ключові слова:** якість електроенергії, короткі замикання, провали та перевищення напруги, спотворення ЯЕЕ, ідентифікація, класифікація, режими електроспоживання.

V. V. SHEVCHUK

PhD, Researcher

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0003-0535-2630

V. V. KUCHANSKY

Ph.D., Senior Researcher

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0001-6473-9478

YU. I. TUGAY

Doctor of Technical Sciences,

Head of the Department of Power Supply Systems Optimization

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0002-0704-1863

I. YU. TUGAY

Ph.D., Senior Researcher

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0002-7261-4277

L. R. SABARNO

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0002-2153-2183

## TESTING ELECTRICAL EQUIPMENT FOR IMMUNITY TO VOLTAGE FALLS, SHORT-TERM INTERRUPTIONS AND VOLTAGE CHANGES

*The development of society is accompanied by an increase in the use of electrical energy. Intensification of production and the spread of electrical technologies lead to a significant increase in energy consumption and loads in the system. The problem of ensuring the quality of electricity is gaining particular importance every year due to the introduction of various renewable energy sources, powerful nonlinear consumers and the transformation of centralized power supply systems into decentralized ones. All these changes lead to the impossibility of ensuring a stable mode of electricity supply, which causes significant losses from a decrease in the quality of electricity. Given the changes in the energy sector, the issue of reducing electricity losses in electrical networks is becoming even more relevant. This is becoming one of the priority tasks for ensuring the financial stability of energy supply enterprises. The level of electricity losses in networks is a key indicator of the effectiveness of their work. This also indicates the quality of the electricity metering system and the effectiveness of the activities of energy supply companies in ensuring the transmission and distribution of electricity. Electricity quality is defined as a comprehensive set of technical parameters that characterize the quality of power supply and the functioning of electrical networks and consumers. The main parameters include voltage and frequency stability, harmonic distortions, supply interruptions, phase shifts, wave distortions, voltage heterogeneity, and others. Electricity quality is of great importance for the safety of people and property, production efficiency, comfort in everyday life, and infrastructure stability. Stable and reliable electricity supply ensures the normal operation of electrical appliances, protects against data loss and equipment damage. Electricity quality is a set of characteristics that determine its compliance with established standards and the ability to be used for the needs for which it is intended.*

**Key words:** *electricity quality, short circuits, voltage dips and overvoltages, distortion of the electrical network, identification, classification, power consumption modes.*

### Постановка проблеми

Проблема забезпечення якості електроенергії стає все більш актуальною з впровадженням різноманітних відновлюваних джерел енергії, потужних нелінійних споживачів та децентралізацією систем електропостачання. Ці зміни ускладнюють завдання забезпечення стійкого електропостачання, що призводить до значних втрат від погіршення якості електроенергії [1-3].

На тлі змін у господарському механізмі енергетики проблема зниження втрат електроенергії в електричних мережах залишається актуальною, ставши важливим завданням для забезпечення фінансової стабільності енергопостачальних організацій. Рівень втрат електроенергії в електричних мережах є ключовим показником економічності їхньої діяльності та ефективності систем обліку електроенергії [1].

Цей показник вказує на проблеми, які потребують термінового вирішення у сфері розвитку, реконструкції та технічного оновлення електричних мереж, вдосконалення методів їхньої експлуатації та управління, підвищення точності обліку електроенергії та ефективності збору коштів за спожиту електроенергію.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Алгоритми визначення характеристик споживання електроенергії ґрунтуються на обробці зашифрованих вибірок миттєвих значень фазних струмів і напруг, зібраних протягом певного періоду сигналу в рівновіддалених моментах часу. Зростаюча потреба в електроенергії, а також збільшення числа потужних нелінійних навантажень мають негативний вплив на якість електроенергії і сприяють появі систематичних похибок у вимірювальних приладах для синусоїдальних систем. Це особливо помітно внаслідок нестабільності частоти в електричній мережі.

Порушення якості електроенергії може мати наступні наслідки [2-8]:

- збільшення втрат енергії в мережах;
- перегрів електродвигунів та електричних машин, що призводить до швидшого старіння ізоляції та підвищує ризик аварій внаслідок однофазних коротких замикань та їх переходу в багатофазні замикання;
- збільшення споживання електроенергії та потужності обладнання;
- відмови та помилкові спрацьовування автоматики і пристроїв релейного захисту;
- відмови електроніки управління та обчислювальної техніки;
- поява перешкод для телевізійного та радіоустаткування, порушення працездатності рентгенівського обладнання;
- некоректна робота електролічильників.

При класифікації спотворень параметрів якості електроенергії важливо виокремити ознаки, що забезпечують стійкість до різних видів спотворень у мережі та дозволяють виявляти та розпізнавати зміни у сигналах напруги і струму. Більшість спотворень аналізуються з урахуванням таких параметрів, як амплітуда, тривалість, частотні характеристики та форма хвиль. Отже, окремі спотворення якості електроенергії вимагають розробки комплексного набору ознак для їх класифікації, що дозволить виявити не лише наявність спотворень, але й точно визначити момент та місце їх виникнення.

Проведений порівняльний аналіз методів формування ознак ідентифікації та класифікації інформаційних сигналів, умовно розбитих на дві основні групи: статистичні методи та методи, основані на розкладанні вхідної реалізації по деяких системах ортогональних функцій, показав, що традиційно в енергетиці використовуються методи першої групи [7-9]. Але методи формування ознак ідентифікації та класифікації другої групи надають можливість синтезу більш узагальнених і незалежних алгоритмів, які дозволяють забезпечити розпізнавання більшого числа вхідних реалізацій на основі єдиного уніфікованого підходу.

### Формулювання мети дослідження

Забезпечення якості електричної енергії в системах електропостачання шляхом розробки та вдосконалення методів визначення спотворень якості електричної енергії і створення системи їх моніторингу в реальному часі.

### Викладення основного матеріалу дослідження

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки такого методу формування ознак ідентифікації та класифікації графіків електричних навантажень, який був би оснований на розкладі вхідної реалізації по системі ортогональних функцій і забезпечував можливість виявлення особливостей інформаційних сигналів – розривів I роду з підвищеною швидкістю, достовірністю і уніфікацією алгоритму обробки у порівнянні з існуючими методами.

Як відомо з попередніх досліджень, характерні особливості сигналу відображаються на різних рівнях при вейвлет-декомпозиції. В основу розробленого у даній роботі методу ідентифікації та класифікації спотворень якості електричної енергії покладене положення теореми Парсеваля – «Енергія сигналу в часовому просторі дорівнює сумі енергій, сконцентрованих на різних рівнях декомпозиції відповідного вейвлет-перетворення даного сигналу». Математично це формулюється наступним чином: [5]

$$\varepsilon_2^2 = \sum_i |\langle \varepsilon, \psi_i \rangle|^2, \quad (1)$$

де  $\varepsilon \in L^2$  та  $\psi_i$  являються ортонормованим базисом  $L^2$  (функції скінченної енергії). При цьому приймається, що енергія, яка визначається як квадрат її  $L^2$  норми, зберігається і при ортонормованому вейвлет-перетворенні. [4-6]

Зважаючи на властивості вейвлет-перетворення сигналу, теорема Парсеваля запишеться наступним чином: [7-8]

$$\sum_{k=1}^N |f(k)|^2 = \sum_{k=1}^N |cA_j(k)|^2 + \sum_{j=0}^J \sum_{k=1}^N |cD_j(k)|^2, \quad (2)$$

Зважаючи на властивості вейвлет-перетворення сигналу, теорема Парсеваля запишеться наступним чином: [4-5]

$$\sum_{k=1}^N |f(k)|^2 = \sum_{k=1}^N |cA_j(k)|^2 + \sum_{j=0}^J \sum_{k=1}^N |cD_j(k)|^2, \quad (3)$$

де  $\sum_{k=1}^N |f(k)|^2$  – сумарна енергія дискретизованого сигналу,  $N$  – число дискрет на періоді;  $\sum_{k=1}^N |cA_j(k)|^2$  – енергія, яка міститься в апроксимуючих коефіцієнтах останнього ( $J$ -го) рівня вейвлет-декомпозиції (у випадку вейвлет-перетворення за алгоритмом Малла);  $\sum_{j=0}^J \sum_{k=1}^N |cD_j(k)|^2$  – енергія, яка міститься в деталізуючих коефіцієнтах всіх рівнів вейвлет-декомпозиції – від рівня 0 до рівня  $J$ . [4-8].

Оскільки в результаті вейвлет-декомпозиції сигналу за допомогою аналізу вейвлет-коефіцієнтів, отримується локалізована в часі інформація щодо його спотворення (відхилення від номінальних значень його параметрів) із високо- та низькочастотних діапазонів, значення даних коефіцієнтів (їх частотно-енергетичні властивості) і покладені в основу класифікації спотворень якості електричної енергії. Індивідуальну інформацію щодо спотворень якості електричної енергії (час спотворення, його тривалість і розподіл енергії) містять деталізуючі коефіцієнти, тому аналіз саме цих параметрів передбачається у розробленому методі.

Як показали попередні дослідження, ідентифікація і послідовна класифікація типів спотворень параметрів якості електричної енергії шляхом визначення величин вейвлет-коефіцієнтів не завжди дає однозначні результати. Це обумовлено присутністю у досліджуваному сигналі гармоніки основної частоти і даний метод застосовується тільки для проведення швидкого експрес-аналізу. Щоб цього уникнути в роботі пропонується модифікований вектор ознак класифікації спотворень параметрів якості електричної енергії.

На рис. 1 наведено алгоритм формування вектору ознак ідентифікації та класифікація спотворень якості електричної енергії за різницею енергій вейвлет-коефіцієнтів за рівнями вейвлет-декомпозиції. Аналіз результатів дослідження розподілу енергії спотвореного сигналу за рівнями декомпозиції за одночасної наявності частотних і амплітудних спотворень, показав наступне. Як відомо, сигнал обмеженої тривалості з додаванням спотворення представляється як  $f(t) = p(t) + s(t)$ , де  $p(t)$  – синусоїдальний сигнал,  $s(t)$  – спотворений сигнал. У вейвлетній області даний сигнал буде представлений наступним чином:

$$V_{f(t)} = [cA_j, cD_1, cD_2, \dots, cD_J].$$

а енергія сигналу –  $E_{f(t)} = [cA_j, cD_1, cD_2, \dots, cD_J]$ .

Відповідно буде представлений і синусоїдальний сигнал:

$$V_{p(t)} = [cA_{j(p(t))}, cD_{1(p(t))}, cD_{2(p(t))}, \dots, cD_{J(p(t))}],$$

а енергія синусоїдального сигналу:

$$E_{p(t)} = [cA_{j(p(t))}, cD_{1(p(t))}, cD_{2(p(t))}, \dots, cD_{J(p(t))}].$$

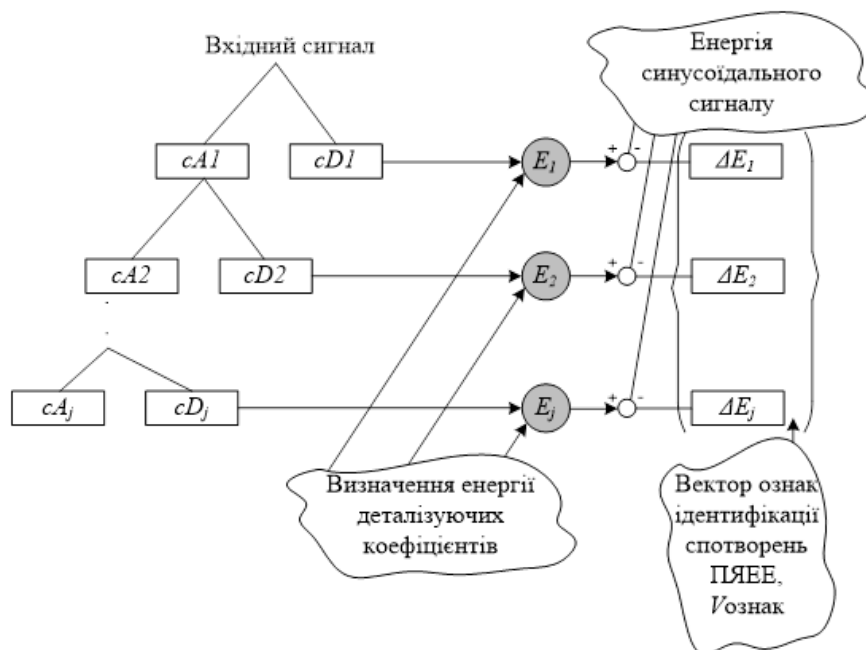


Рис. 1. Алгоритм формування вектору ознак ідентифікації та класифікація спотворень якості електричної енергії за різницею енергій вейвлет-коефіцієнтів за рівнями вейвлет-декомпозиції [8]

Вектор ознак класифікації спотворення якості електричної енергії  $V_{\text{ознак}}$  представляється різницею енергій за рівнями вейвлет-декомпозиції  $\Delta E_{j=1}^J = E_{j=1}^J(f(t)) - E_{j=1}^J(p(t))$  і математично визначається наступним чином: [7]

$$V_{\text{ознак}} = [\Delta E_{cA_j}, \Delta E_{cD_1}, \Delta E_{cD_2}, \dots, \Delta E_{cD_j}]$$

Проаналізуємо необхідну частоту дискретизації інформаційного сигналу та, відповідно, необхідний рівень вейвлет-декомпозиції зважаючи на необхідність зменшення часу обробки сигналів при зберіганні достатніх характеристик точності та якості класифікації типу спотворень якості електричної енергії. Як відомо, фільтри високої та низької частоти, які застосовуються для вейвлет-перетворення, мають половинну смугу частот по відношенню до сигналу, що аналізується. Позначимо частоту дискретизації інформаційного сигналу як  $F_s$ . На рис. 2 та в табл. 1 представлені частотні діапазони вейвлет-перетворення в залежності від рівня декомпозиції.

Як відомо, вейвлет-декомпозиція розбиває сигнал на частотні піддіапазони (за рівнями вейвлет-декомпозиції) в залежності від частоти дискретизації. В табл. 1 представлено таке частотне розбиття у загальному вигляді.

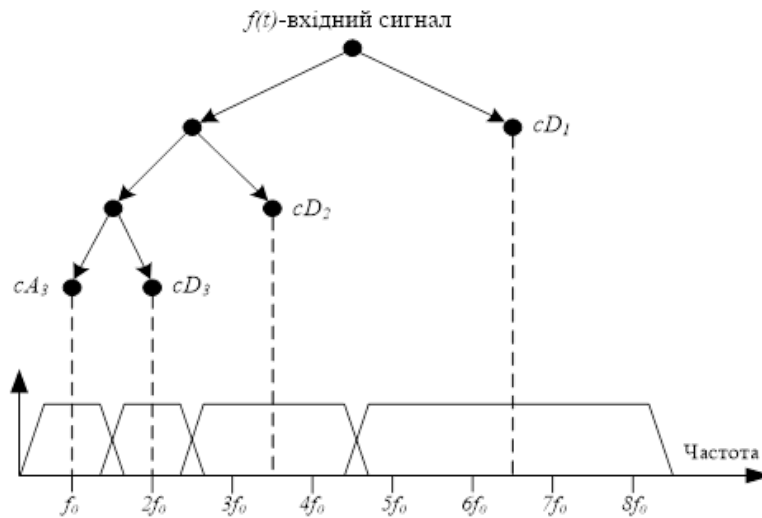


Рис. 2. Частотні діапазони вейвлет-перетворення за алгоритмом Малла [6-8]

Таблиця 1

Частотні діапазони вейвлет-декомпозиції за алгоритмом Малла [6-8]

Рівень декомпозиції (j)	Частотний діапазон	
	Коефіцієнт апроксимації (cA <sub>j</sub> )	Коефіцієнт деталізації (cD <sub>j</sub> )
1	Від 0 до $F_s/2^2$ Гц	Від $F_s/2^2$ до $F_s/2^1$ Гц
2	Від 0 до $F_s/2^3$ Гц	Від $F_s/2^3$ до $F_s/2^2$
...	...	...
J	Від 0 до $F_s/2^{J+1}$	Від $F_s/2^{J+1}$ до $F_s/2^J$

Основна частота досліджуваного сигналу становить  $f_{\text{досл}} = 50$  Гц, найвищий рівень вейвлет-декомпозиції становить  $J$ . Тоді необхідний частотний діапазон для дослідження сигналу буде відповідати частотному діапазону деталізуючого коефіцієнту останнього рівня вейвлет-декомпозиції, а саме  $\frac{F_s}{2^{J+1}} \leq F_{f(t)} \leq \frac{F_s}{2^J}$ . Логарифмуванням даного виразу, одержується діапазон необхідного значення рівня декомпозиції  $J$ . Тобто,

$$\log_2 \left( \frac{F_s}{F_{f(t)}} \right) - 1 \leq J \leq \log_2 \left( \frac{F_s}{F_{f(t)}} \right) \tag{4}$$

Для розглядуваного випадку (частота дискретизації становить 3 200,00 Гц) маємо. Тоді у відповідності до виразу (6), маємо  $3 \leq J \leq 4$ . В даній роботі прийнято  $J = 4$ . Оскільки для наочності класифікації спотворення якості електричної енергії основна частота  $F_f(t)$  являється предметом дослідження, то мінімальний проаналізований рівень декомпозиції становить  $N_{\text{min}} = 2 \cdot J = 8$ .

Вибір оптимального прийнятного материнського вейвлету без врахування типу спотворення є трудомісткою процедурою. При цьому, по-перше, короткотривалі та швидкоплинні спотворення найкраще визначаються за



допомогою вейвлетів Добеші db4 та db6, а повільні спотворення – db8 та db10. По-друге, застосування вейвлетів Нааг приводить до зміщення енергії спотворень перевищення та зниження напруги в область рівнів декомпозиції 3 – 4, а також до більш виражених значень низькочастотних спотворень.

#### Висновки

Для проведення моніторингу наявності спотворень якості електроенергії в електричних мережах, необхідно визначення наявності провалів напруги, ідентифікація їх типу та класифікація для визначення необхідних керуючих сигналів та засобів захисту електрообладнання.

Розроблений метод ідентифікації типу провалів напруги повинен однозначно ідентифікувати як провали, які викликані короткими замиканнями в електричній мережі, та наявністю потужного електричного обладнання.

#### Список використаної літератури

1. Про затвердження Кодексу систем розподілу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text>
2. Кузнецов В.Г., Шполянський О.Г., Яремчук Н.А. Узагальнений показник якості енергії в електричних мережах і системах. Технічна електродинаміка. 2011. No 3. С. 46-52.
3. Яремчук Н.А., Годя О.Ю., Проскін В.В. Оцінювання комплексного показника якості складного об'єкта з характеристикою невизначеності. Український метрологічний журнал. 2018. No 2. С. 9-17.
4. T. K. Abdel-Galil, M. Kamel, A. M. Youssef, E. F. El-Saadany and M. M. A. Salama, "Power quality disturbance classification using the inductive inference approach," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, no. 4, pp. 1812-1818, Oct. 2004, doi: 10.1109/TPWRD.2003.822533
5. Волошко А.В., Джеря Т.Е., Шевчук В.В. Problems of determining the presence of distortions of electric power quality. Зб. наукових праць "InterConf," (№ 106) з матеріалами 5-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Recent scientific investigation" (26-28 квітня 2022 року), Oslo, Norway, 2022. с. 369-376.
6. Волошко А.В., Джеря Т.Е., Шевчук В.В. The formation of the vector of classification features of electric power quality distortions. Зб. наукових праць "InterConf," (№ 107) з матеріалами 12-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Science and Practice: Implementation to Modern Society" (6-8 травня 2022 року), Manchester, Great Britain, 2022. с. 510-516.
7. Шевчук В.В., Джеря Т.Е. Зниження впливу нелінійних навантажень на показники якості електричної енергії: основні способи управління параметрами енергетичних систем. Зб. наукових праць НН ІЕЕ, КПІ імені Ігоря Сікорського «Енергетика. Екологія. Людина». Київ, 2022. с. 11-17.
8. Шевчук В.В. Механізм зменшення збитків від наявності провалів напруги за допомогою моделі просторового вектора. Міжнародний електронний науково-практичний журнал «WayScience» ISSN 2664-4819. Конференція 14-15 вересня 2023, вихід збірника тез доповідей 22.09.2023 р

#### References

1. On Approval of the Distribution Systems Code <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text>
2. Kuznetsov V.G., Shpolianskyi O.G., Yaremchuk N.A. Generalized indicator of energy quality in electrical networks and systems. Tekhnichna elektrodynamika. 2011. No. 3. Pp. 46-52. (Ukr)
3. Yaremchuk N.A., Goda O.Yu., Proskin V.V. Evaluation of a complex indicator of the quality of a complex object with a characteristic of uncertainty. Ukrainian Metrological Journal. 2018. No 2. Pp. 9-17. (Ukr)
4. T. K. Abdel-Galil, M. Kamel, A. M. Youssef, E. F. El-Saadany and M. M. A. Salama, "Power quality disturbance classification using the inductive inference approach," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, no. 4, pp. 1812-1818, Oct. 2004, doi: 10.1109/TPWRD.2003.822533
5. Voloshko A.V., Dzherya T.E., Shevchuk V.V. (2022). Problems of determining the presence of distortions of electric power quality. Collection of scientific papers "InterConf," (№ 106) with materials of the 5th International Scientific and Practical Conference "Recent scientific investigation" (April 26-28, 2022), Oslo, Norway, pp. 369-376.
6. Voloshko A.V., Dzherya T.E., Shevchuk V.V. (2022). The formation of the vector of classification features of electric power quality distortions. Collection of scientific papers "InterConf," (№ 107) with materials of the 12th International Scientific and Practical Conference "Science and Practice: Implementation to Modern Society" (May 6-8, 2022), Manchester, Great Britain, pp. 510-516.
7. Shevchuk V.V., Dzherya T.E. (2022). Reducing the impact of nonlinear loads on the quality of electricity: basic methods of managing the parameters of energy systems. Collection of scientific works of the Institute of Electrical Engineering, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute "Energy. Ecology. Man". Kyiv, pp. 11-17.
8. Shevchuk V.V. (2023). Mechanism for reducing losses from the presence of voltage dips using a spatial vector model. International electronic scientific and practical journal "WayScience" ISSN 2664-4819. Conference September 14-15, 2023, publication of the collection of abstracts 09/22/2023

## ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 687.1.03:7.012:504

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.24>**М. П. АРТЕМЕНКО**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри дизайну  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8957-5403

**О. В. ЧЕПЕЛЮК**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри дизайну  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-1677-5137

**ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БІОФІЛЬНОГО ДИЗАЙНУ В МОДНІЙ ІНДУСТРІЇ**

*Стаття присвячена дослідженню технологічних підходів до інтеграції живих рослин у текстильні матеріали як інноваційного напрямку біофільного дизайну. В межах теоретичного дослідження було виявлено, що принципи біофільного дизайну більш широко висвітлені в архітектурі та інтер'єрі, а їх застосування в дизайні одягу потребує систематизації технологічних аспектів. Проаналізовано сучасні дизайнерські розробки, де автори експериментують зі створенням текстильних виробів з інтегрованими живими рослинами. На основі цих прикладів сформовано інформаційну базу дослідження, яка дозволила впорядкувати різні практичні підходи до введення насіння в структуру текстильних матеріалів та особливості їх пророщування*

*У ході роботи виявлені такі основні принципи інтеграції насіння в текстильні матеріали: розміщення на поверхні готового полотна пухкої структури, додавання до волокнистої суміші під час виготовлення нетканого матеріалу, введення в структуру пряжі на етапі прядіння з подальшим використанням її в ткацтві або трикотажному виробництві. Представлено результати експериментального дослідження з використанням аплікативного способу розміщення зон з насінням на тканинах щільної структури, який забезпечує модульність та варіативність використання біофільних елементів. Цей метод дозволяє розширити асортимент матеріалів, придатних для створення одягу з живими рослинами, включаючи костюмні тканини, які раніше не розглядалися як потенційний матеріал для інтеграції рослин через свою щільну структуру.*

*Дослідження демонструє перспективність запропонованих підходів для розвитку екологічно орієнтованого дизайну текстильних виробів. Систематизація технологічних аспектів біофільного дизайну в контексті модної індустрії створює підґрунтя для подальшого розвитку цього інноваційного напрямку.*

**Ключові слова:** біофільний дизайн, текстильні матеріали, інтеграція живих рослин, аплікативний спосіб, екодизайн, технологічні аспекти, дизайн одягу.

**М. П. ARTEMENKO**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Design  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8957-5403

**О. В. CHEPELYUK**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Design  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-1677-5137

**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF BIOPHILIC DESIGN IN THE FASHION INDUSTRY**

*The article is devoted to the study of technological approaches towards the integration of living plants into textile materials as an innovative direction of biophilic design. The theoretical research has revealed that biophilic design principles are more extensively represented in architecture and interior design, while their application in the sphere of fashion design requires technological aspects systematization. The article analyses modern design developments where authors experiment with creating textiles with integrated living plants. Through these examples, the information base of*

the research was formed, which allowed to streamline various practical approaches towards the seeds introduction into the structure of textile materials as well as peculiarities of their germination.

In the course of the work, the following basic principles of integrating seeds into textile materials were identified: placing a loose structure on the surface of the finished fabric, adding to the fibre mixture during the manufacture of nonwoven fabrics, introducing them into the yarn structure at the spinning stage with its subsequent use in weaving or knitting. There have been presented results of experimental researches on using an applicative method for placing seed zones on dense-structured fabrics, which ensures modularity and variability in the use of biophilic elements. This method makes it possible to expand the range of materials suitable for creating clothing with living plants, including costume fabrics, which were not previously considered as a potential material for plant integration due to their dense structure.

The study demonstrates the prospects of the proposed approaches for the development of environmentally friendly textile design. The systematisation of technological aspects of biophilic design in the context of the fashion industry creates the basis for the further development of this innovative trend.

**Key words:** biophilic design, textile materials, integration of living plants, application method, ecodesign, technological aspects, fashion design.

Біофільний дизайн – це підхід, що спрямований на інтеграцію природних елементів у дизайн предметів, середовища або одягу з метою зміцнення зв'язку людини з природою. У модній індустрії цей напрямок поки набуває здебільшого концептуального значення, пропонуючи інноваційні рішення для підвищення екоосвідомості. Сьогодні інтеграція живих елементів, зокрема насіння рослин, у текстильні вироби є новаторською ідеєю, яка більше фокусується на символічному значенні, ніж на практичній функціональності.

Складнощі, пов'язані з доглядом та експлуатацією такого одягу, значно обмежують його застосування в масовій моді. Проте дизайнери активно використовують цей підхід для привернення уваги до екологічних проблем та принципів сталого розвитку. Унікальні вироби біофільного дизайну стають не лише символом екологічної свідомості, а й потужним медіатором між людиною та природою.

Цей напрям потребує подальших досліджень і вдосконалення технологій, які зробили б його більш доступним і практичним для широкого використання, одночасно зберігаючи його екологічний потенціал.

#### Постановка проблеми

Біофільний дизайн в модній індустрії є відносно новим напрямом, який лише починає формуватися як концептуальне та технологічне явище. На сьогодні існує обмежена кількість досліджень, присвячених інтеграції живих рослин у текстильні вироби, а доступна інформація є переважно фрагментарною та несистематизованою. Особливо це стосується україномовного наукового простору, де такі розробки майже не представлені.

Недостатність досліджень ускладнює розуміння потенціалу біофільного дизайну та стримує розвиток відповідних технологій. Зокрема, відсутні чіткі рекомендації щодо вибору матеріалів, особливостей інтеграції насіння в структуру матеріалу, кліматичних умов та принципів пророщування для досягнення певного художньо-естетичного рішення. І це за умови, що на даному етапі не ставити за мету досягнення необхідних експлуатаційних характеристик для використання такого одягу в реальних побутових умовах, не думати про особливості догляду за одягом із живими елементами, а зосереджувати увагу лише на екоконцептуальних засадах формотворення.

Незважаючи на дефіцит інформації, спостерігається зростаючий інтерес до теми з боку дизайнерів-практиків, що свідчить про її перспективність. У зв'язку з цим постає необхідність у проведенні міждисциплінарних досліджень, що дозволять систематизувати наявну інформацію про біофільний дизайн у модній індустрії, а також розробити теоретичні та практичні основи технологій виготовлення текстильних виробів із інтеграцією живих рослин.

Таким чином, актуальність вивчення цієї теми зумовлена не лише її інноваційним потенціалом, а й необхідністю заповнення прогалин у наукових дослідженнях, особливо в контексті україномовного простору.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останні десятиліття відзначаються активним розвитком біофільного дизайну як складової сталого розвитку та екологічно орієнтованого підходу в різних сферах дизайну. У наукових роботах європейських та американських дослідників висвітлюється вплив природних елементів на емоційний стан людини, зокрема їх здатність знижувати стрес і підвищувати креативність.

Концепція біофільного дизайну, вперше сформульована Е. О. Вілсоном у 1984 році [12], отримала значний розвиток у роботах С. Келлєрта та Дж. Хейрвагена, які розробили теоретичні засади інтеграції природних елементів у архітектурне та предметне середовище [4; 5].

Важливо зазначити, що біофільний дизайн тісно пов'язаний з принципами циркулярної економіки в модній індустрії. Цей взаємозв'язок досліджують у своїх роботах К. Флетчер та М. Тхам, які розглядають біофільний підхід як один з ключових елементів створення замкнутого циклу виробництва та споживання одягу [2].

У контексті модної індустрії біофільний підхід почав досліджуватися відносно нещодавно, проте вже має певні наукові напрацювання. В розрізі окресленої теми заслуговує уваги дослідження С. Шатари, яка здійснює комплексний аналіз інноваційного перетину моди, дизайну та природоорієнтованого стійкого розвитку. Дослідниця

констатує наявність суттєвої прогалини в наукових розвідках щодо застосування принципів біофільного дизайну в проєктуванні та виробництві одягу, незважаючи на зростаючий інтерес до сталого розвитку в модній індустрії. На противагу архітектурі та міському плануванню, де концепція біофілії ґрунтовно досліджена та успішно впроваджена, її потенціал у модній індустрії залишається здебільшого нерозкритим. У своєму дослідженні С. Шатара переконливо доводить важливість інтеграції природних елементів у дизайн, що не лише підвищує естетичну привабливість виробів, але й зміцнює емоційний зв'язок споживачів із природою. Це твердження підкріплюється результатами проведених авторкою соціологічних досліджень, які демонструють позитивне сприйняття споживачами біофільних елементів у дизайні одягу [8].

С. Вальєхо Меса, розглядає біофільний дизайн як методологію створення Fashion Tech («технологічна мода» – міждисциплінарна галузь, що об'єднує традиційний дизайн одягу з інноваційними технологіями, включаючи цифрові рішення, розумні матеріали та високотехнологічні виробничі процеси) проєктів, що інтегрують природну схильність людини до взаємодії з навколишнім світом задля досягнення позитивного впливу на самопочуття користувачів. Дослідниця наголошує, що сталий розвиток у модній індустрії неможливий без активного залучення споживачів, і саме біофільний підхід може стати ефективним інструментом стимулювання поведінкових змін у секторі. В роботі пропонується концепція «симбіотичного підходу», де користувач отримує подвійну користь: для навколишнього середовища та для власного благополуччя. Вальєхо Меса адаптує принципи біофільного дизайну з архітектури та дизайну інтер'єру до потреб модної індустрії. Вона також зазначає, що нові дизайнерські рішення, орієнтовані на цілісне благополуччя, можуть стимулювати зміни в поведінці споживачів і зробити індустрію більш свідомою в ухваленні рішень. Біофільний дизайн представлений як методологія, що допомагає модним дизайнерам впроваджувати екологічні та орієнтовані на добробут практики [11].

Незважаючи на те, що біофільний дизайн одягу автори розглядають доволі широко, включаючи використання природних матеріалів та барвників у створенні одягу, розробку принтів, фактур та текстур, які інспіровані на об'єктах живої природи, а також біоморфні форми у виробках модної індустрії, питання технологічних аспектів інтеграції живих природних елементів залишається поза увагою.

Аналіз наукових публікацій свідчить про зростаючий інтерес до біофільного дизайну в модній індустрії та його потенціал у вирішенні актуальних проблем сталого розвитку. Водночас спостерігається потреба в більш глибоких дослідженнях технологічних аспектів інтеграції живих природних елементів у одяг, розробці стандартів та методик їх застосування, а також вивченні довгострокового впливу таких інновацій на споживчу поведінку та екологічну свідомість.

#### **Формулювання мети дослідження**

Мета дослідження полягає у комплексному вивченні технологічних аспектів інтеграції живих елементів у текстильні вироби, розробці методологічних підходів до їх впровадження в практику дизайну одягу для досягнення бажаних художньо-естетичних рішень та створенні теоретичного підґрунтя для подальшого розвитку біофільного напрямку в модній індустрії.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Біофільний дизайн у модній індустрії проявляється через різноманітні підходи та практики, від використання природних матеріалів та екологічних технологій виробництва до прямої інтеграції живих елементів у структуру виробів. Аналіз сучасних дизайнерських рішень демонструє широкий спектр творчих інтерпретацій біофільної концепції: від імітації природних форм та текстур до створення «живого» одягу, здатного взаємодіяти з навколишнім середовищем.

Особливий інтерес представляють інноваційні проєкти, де дизайнери експериментують з включенням живих рослин у текстильні вироби. Такі експерименти не лише розширюють межі традиційного розуміння одягу, але й створюють нові можливості для взаємодії людини з природою через предмети гардеробу. Розглянемо найбільш показові приклади такого підходу, щоб краще зрозуміти наявні технологічні рішення та визначити перспективні напрями розвитку цієї галузі (рис. 1).

Аналіз наведених прикладів виявляє два базові принципи в інтеграції живої рослини в текстильне полотно, процес розпочинається в введення в структуру матеріалу насіння, яке під дією певних кліматичних умов починає проростати утворюючи зелений декоративний покрив та кореневу систему.

Перший принцип вирізняється тим, що насіння розміщується на готовому текстильному полотні пухкої структури (рис. 2, а). Це може бути, наприклад, трикотаж в'язаний з пряжі високого тексту великим розміром петель, де завдяки петельній структурі створюються оптимальні умови для проростання та розвитку рослин. При підготовці трикотажного полотна відповідної щільності забезпечується достатня повітропроникність та вологоутримання. Насіння розміщується між петлями трикотажу на певній відстані одне від одного, що дозволяє кореневій системі вільно розвиватися. Завдяки природній еластичності трикотажного полотна, в процесі росту коренева система легко проникає крізь петельну структуру, а стебло рослини отримує надійну підтримку. Пухка структура трикотажу забезпечує оптимальний баланс вологи та повітря, необхідний для здорового розвитку рослини.



Рис. 1. Приклади інтеграції та пророщування насіння на одязі: а – Jacob Olmedo, 2017 рік [3]; б – бренд Loewe, 2022/2023 рік [9]; в – Paula Ulargui [10]



Рис. 2. Пророщення насіння на готовому текстильному полотні: а – трикотажне полотно; б – тканина

За аналогічним принципом можна інтегрувати рослину й в ткану структуру (рис. 2, б). Але в цьому випадку є певні рекомендації, щодо вибору тканини. Зокрема, вона також має мати доволі пухку структуру або петельне переплетення. Використання тканих структур потребує особливої уваги до щільності переплетення – воно повинно забезпечувати достатній простір між нитками для розвитку кореневої системи, але при цьому бути досить міцним для підтримки рослини. Оптимальними є полотна з розрідженою структурою, виготовлені з натуральних волокон, які здатні добре утримувати вологу та забезпечувати повітрообмін. Важливим фактором є також фактура

поверхні тканини – наявність рельєфу або петель на поверхні створює додаткові зони для закріплення насіння та розвитку коренів. При цьому структура тканини повинна зберігати свої властивості при зволоженні та не деформуватися під вагою рослини, що розвивається.

Другий принцип інтегрування рослини в структуру текстильного полотна, який можна побачити на наведених на рисунку 1 а, в прикладах одягу, це коли насіння в процесі утворення нетканого полотна додається до вовняної волокнистої суміші. Такий метод забезпечує більш рівномірний розподіл насіння в структурі матеріалу та його надійну фіксацію. В процесі валяння волокна вовни обволочують насіння, створюючи природні «кишеньки», які захищають його та забезпечують оптимальні умови для подальшого проростання. Валяне полотно має унікальні властивості щодо утримання вологи та повітропроникності, що особливо важливо для розвитку рослин. При намоканні волокна вовни набухають, створюючи природне мікросередовище для проростання насіння, а при висиханні забезпечують необхідну циркуляцію повітря. Коренева система, що розвивається, природним чином переплітається з волокнами вовни, формуючи стійку біотехнологічну структуру. Така технологія дозволяє створювати унікальні дизайнерські вироби, де живі рослини стають невід'ємною частиною текстильного матеріалу, забезпечуючи не лише естетичну функцію, але й створюючи особливий мікроклімат навколо тіла людини (рис. 3).



Рис. 3. Пророщення насіння та спор грибів у нетканому полотні [7; 1]

А. Шріхарі, розповідаючи про створення своєї колекції Seed Fabric, розкриває ще один принцип інтеграції насіння в текстильне полотно, коли це відбувається на етапі прядіння пряжі (рис. 4) [6]. Оскільки художниця спеціалізується на художньому ткацтві, вона використовувала цю пряжу для отримання тканини. Такий підхід можливо використовувати лише в ручному ткацтві, оскільки інтегроване насіння, утворює потовщення в структурі пряжі, що ускладнює процес її переробки на промисловому обладнанні. При ручному прядінні насіння вводиться між волокнами в процесі скручування, створюючи своєрідні вузлики-капсули, які надійно утримують насіння в структурі пряжі. Ця техніка вимагає особливої майстерності, оскільки необхідно забезпечити рівномірний розподіл насіння та зберегти достатню міцність пряжі. При подальшому ткацтві така пряжа використовується переважно як утокова нитка, що дозволяє зберегти цілісність насіння та створити оптимальні умови для його майбутнього проростання. Створена таким чином тканина має унікальну фактуру з характерними потовщеннями в місцях розташування насіння, що надає виробам особливої художньої виразності та забезпечує функціональність майбутнього озеленіння.

Особливістю такого підходу до інтеграції насіння в текстильну структуру, який використовує в своїй дизайнерській практиці А. Шріхарі, є його орієнтація на активну участь споживача у створенні кінцевого вигляду виробу. Закріплене в структурі пряжі насіння може зберігати свою життєздатність протягом тривалого часу, а процес його пророщування максимально спрощений – достатньо забезпечити необхідний рівень зволоження та температури.

Це дозволяє власнику виробу самостійно обирати момент «оживлення» текстильного полотна, перетворюючи процес догляду за одягом у творчий акт взаємодії з живою природою.



**Рис. 4.** Ілюстрація процесу інтегрування насіння в пряжу під час прядіння (а) та тканий виріб, виготовлений з цієї пряжі (б) [6]

Дизайнер Узумакі також експериментує з технологією створення пряжі з інтегрованим насінням, проте пропонує інший підхід до її застосування. На відміну від А. Шріхарі, яка використовує таку пряжу в ткацтві, Узумакі демонструє її потенціал у трикотажному полотні в поєднанні з валяними елементами (рис. 5) [1]. Це розширює можливості застосування біоактивної пряжі, адже трикотажна структура завдяки своїй еластичності та особливостям петельної будови створює сприятливіші умови для подальшого проростання насіння та розвитку рослин.



**Рис. 5.** Пряжа з інтегрованим в структуру насінням (а) та трикотажний топ, виготовлений з цієї пряжі (б) [1]

У межах дослідження зі студентами кафедри дизайну Херсонського національного технічного університету був проведений експеримент із пророщення насіння на готовому швейному виробі, виготовленому з костюмною

тканини щільної структури, із застосуванням аплікативного способу (рис. 6). Технологія передбачає створення на поверхні тканини або готового виробу спеціальних зон апликацій з більш пухкого матеріалу, в які розміщується/фіксується насіння для подальшого пророщування. Такий підхід дозволяє поєднати функціональні та експлуатаційні властивості базової тканини-основи з естетичними та еко орієнтованими можливостями біофільних елементів. При цьому аплікативний спосіб забезпечує контрольоване розміщення зон з насінням на певних ділянках одягу та створює оптимальні умови для його проростання, не порушуючи структурної цілісності основного матеріалу.

Перевагою аплікативного способу є також його гнучкість у розташуванні біофільних елементів. Зокрема, при умові використання тимчасового з'єднання з'являється можливість змінювати локацію зон пророщування відповідно до дизайнерського задуму або функціональних потреб споживача. Крім того, тимчасовий характер кріплення дозволяє за необхідності видаляти або замінювати біофільні елементи, що суттєво спрощує догляд за виробом та подовжує термін його експлуатації. Така модульність у розміщенні «живих» рослинних елементів робить виріб більш адаптивним до різних умов використання та індивідуальних потреб споживача.



Рис. 6. Приклад інтеграції біофільних елементів у готовий швейний виріб аплікативним способом

Запропонований метод є втіленням принципів біофільного дизайну, що передбачає органічну інтеграцію природних елементів у текстильні вироби, створюючи гармонійний синтез естетичної, екологічної та функціональної складових в одязі.

#### Висновки

У результаті проведеного дослідження було виявлено та систематизовано основні принципи інтеграції живих рослин у текстильні матеріали в контексті біофільного дизайну. Встановлено, що існує декілька технологічних підходів до введення насіння в структуру текстильних матеріалів: розміщення на поверхні готового полотна пухкої структури, додавання до волокнистої суміші при виготовленні нетканого матеріалу, введення в структуру пряжі на етапі прядіння та аплікативний спосіб. Кожен з цих методів має свої особливості та обмеження у використанні, які визначаються структурою текстильного матеріалу та технологією його виготовлення.

Аналіз творчих розробок сучасних дизайнерів демонструє різноманітність підходів до використання текстильних матеріалів з інтегрованими живими рослинами. Особливу увагу привертають інноваційні рішення щодо створення та застосування пряжі з вбудованим насінням, яка може бути використана як в ткацтві, так і в трикотажному виробництві.

Запропонований авторами аплікативний спосіб розміщення насіння розширює можливості біофільного дизайну, дозволяючи використовувати тканини щільної структури та забезпечуючи модульність і варіативність розміщення живих елементів. Це відкриває нові перспективи для розвитку екологічно орієнтованого дизайну одягу, де функціональність поєднується з естетикою живої природи.

Проведене дослідження створює підґрунтя для подальшого розвитку технологій інтеграції живих рослин у текстильні матеріали та розширення можливостей їх застосування в дизайні одягу.



**Список використаної літератури**

1. Collaborating with Nature; championing sustainability and compassion. URL: <https://beth-williams.co.uk/pages/uzumakis-world> (дата звернення: 12.12.2024).
2. Fletcher K., Tham M. Earth Logic Fashion Action Research Plan. London: London College of Fashion, Centre for Sustainable Fashion, 2019. 65 p.
3. Howarth D. Six standout collections from Parsons 2017 graduate fashion show. 2017. URL: <https://www.dezeen.com/2017/05/27/standout-collections-parsons-school-design-graduate-fashion-show> (дата звернення: 12.12.2024).
4. Kellert S. R., Heerwagen J., Mador M. Biophilic design: the theory, science and practice of bringing buildings to life. New York: John Wiley & Sons, 2011. 400 p. ISBN: 978-0-470-16334-4.
5. Kellert S., Wilson E. O. The Biophilia Hypothesis. Washington: Island Press, 1993. 484 p. ISBN: 1-55963-148-1. DOI: 10.1177/027046769501500125
6. Kitching G. Seed fabric and compostable textiles: MA Textile Design graduate Apurva Srihari. 2021. URL: <https://www.arts.ac.uk/colleges/chelsea-college-of-arts/stories/seed-fabric-compostable-textiles-ma-textile-design-graduate-apurva-srihari> (дата звернення: 12.12.2024).
7. Mutualist Nature #Paula Ulargui x Nature. URL: <https://paulaularguiescalona.com/NATURALEZA-MUTUALISTA> (дата звернення: 12.12.2024).
8. Shatarah S. Biophilic Design In Fashion: Enhancing Sustainability Through Nature-Inspired Garments. Migration Letters. 2024. Vol. 21, No. S6. P. 1830–1837.
9. Solá-Santiago F. Meet The Runway-Approved Bio-Designer Growing Plants From Clothes. 2022. URL: <https://www.refinery29.com/en-us/2022/07/11052705/paula-ulargui-escalona-bio-designer-loewe> (дата звернення: 12.12.2024).
10. Ulargui P. Reconectando con lo natural. URL: <https://metalmagazine.eu/post/paula-ulargui> (дата звернення: 12.12.2024).
11. Vallejo Mesa S. Biophilia, achieving human well-being through fashion, nature and technology : Master's Thesis. Milano : Politecnico di Milano, School of Design, 2020. 151 p.
12. Wilson E. O. Biophilia. Cambridge : Harvard University Press, 1984. 157 p. ISBN: 0674074424.

**References**

1. Collaborating with Nature; championing sustainability and compassion. (n.d.). Retrieved December 12, 2024, from <https://beth-williams.co.uk/pages/uzumakis-world>
2. Fletcher, K., & Tham, M. (2019). Earth Logic Fashion Action Research Plan. London College of Fashion, Centre for Sustainable Fashion. <https://katefletcher.com/wp-content/uploads/2019/10/Earth-Logic-plan-FINAL.pdf>
3. Howarth, D. (2017, May 27). Six standout collections from Parsons 2017 graduate fashion show. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2017/05/27/standout-collections-parsons-school-design-graduate-fashion-show>
4. Kellert, S. R., Heerwagen, J., & Mador, M. (2011). Biophilic design: The theory, science and practice of bringing buildings to life. John Wiley & Sons.
5. Kellert, S., & Wilson, E. O. (Eds.). (1993). The Biophilia Hypothesis. Island Press. <https://doi.org/10.1177/027046769501500125>
6. Kitching, G. (2021). Seed fabric and compostable textiles: MA Textile Design graduate Apurva Srihari. UAL. <https://www.arts.ac.uk/colleges/chelsea-college-of-arts/stories/seed-fabric-compostable-textiles-ma-textile-design-graduate-apurva-srihari>
7. Mutualist Nature #Paula Ulargui x Nature. (n.d.). Retrieved December 12, 2024, from <https://paulaularguiescalona.com/NATURALEZA-MUTUALISTA>
8. Shatarah, S. (2024). Biophilic Design In Fashion: Enhancing Sustainability Through Nature-Inspired Garments. Migration Letters, 21(S6), 1830-1837.
9. Solá-Santiago, F. (2022, July). Meet The Runway-Approved Bio-Designer Growing Plants From Clothes. Refinery29. <https://www.refinery29.com/en-us/2022/07/11052705/paula-ulargui-escalona-bio-designer-loewe>
10. Ulargui, P. (n.d.). Reconectando con lo natural. Metal Magazine. <https://metalmagazine.eu/post/paula-ulargui>
11. Vallejo Mesa, S. (2020). Biophilia, achieving human well-being through fashion, nature and technology [Master's thesis, Politecnico di Milano].
12. Wilson, E. O. (1984). Biophilia. Harvard University Press.

**Т. С. АСАУЛЮК**

кандидат технічних наук,  
науковий співробітник науково-дослідного сектору  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-5961-6895

**І. М. КУЛІШ**

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач аспірантури і докторантури  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-0961-5904

**Ю. Г. САРІБЕКОВА**

доктор технічних наук, професор,  
проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-6430-6509

**О. Я. СЕМЕШКО**

доктор технічних наук, старший дослідник,  
доцент кафедри хімічних технологій,  
експертизи та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8309-5273

**І. В. ГОРОХОВ**

науковий співробітник науково-дослідного сектору  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-9483-4123

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ $\beta$ -ЦИКЛОДЕКСТРИНУ ІЗ ЗШИВАЮЧИМИ АГЕНТАМИ РІЗНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ

У роботі представлені результати вивчення взаємодії  $\beta$ -циклодекстину ( $\beta$ -CD) із зшиваючими агентами різної функціональності, а також оцінка впливу цих агентів на фізико-хімічні властивості композитних плівок. Як зшиваючі агенти застосовували бутілгліциділовий ефір (GE), тетраетоксісилан (TEOS) та 3-гліцидоксипропілтриметоксисилан (GPTMS) у концентраціях 10, 15 і 20% від маси  $\beta$ -CD. Композитні плівки виготовляли з водного розчину  $\beta$ -CD методом розварювання, з подальшим формуванням, висушуванням і термообробкою.

На основі результатів дослідження встановлено, що обрані зшиваючі агенти мають різний вплив на показники водопоглинання, гідролітичну стабільність та ступінь набухання отриманих плівок. GPTMS забезпечує найнижчі значення водопоглинання серед досліджуваних агентів, особливо після термообробки. Введення TEOS у концентраціях 10 і 15% дозволяє досягти максимальних показників гідролітичної стійкості плівок. Плівки з GE показують тенденцію до підвищеного водопоглинання.

За результатами оцінки ступеня набухання виявлено, що GPTMS сприяє формуванню найбільш щільної структури плівок  $\beta$ -CD, ймовірно, завдяки наявності двох функціональних груп, що активніше взаємодіють із матрицею. Цей агент демонструє стабільне збільшення маси зразків навіть через 96 годин контакту з водою, на відміну від інших агентів.

Результати дослідження показали, що застосування зшиваючих агентів дозволяє суттєво покращити експлуатаційні властивості плівок на основі  $\beta$ -CD. GPTMS і TEOS виявилися найбільш перспективними агентами для створення стійких до гідролізу композитних покриттів.

**Ключові слова:**  $\beta$ -циклодекстрин, зшиваючі агенти, бутілгліциділовий ефір, тетраетоксісилан, 3-гліцидоксипропілтриметоксисилан, водопоглинання, гідроліз, ступінь набухання.

**T. S. ASAULYUK**

Candidate of Technical Science, Researcher of Research Sector  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-5961-6895

I. M. KULISH

Candidate of Technical Science, Associate Professor,  
Head of Postgraduate and Doctoral Studies  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-0961-5904

YU. G. SARIBYEKOVA

Doctor of Technical Science, Professor,  
Vice-Rector for Scientific Work and International Relations  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-6430-6509

O. YA. SEMESHKO

Doctor of Technical Science, Senior Researcher,  
Associate Professor at the Department of Chemical Technologies,  
Expertise and Food Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8309-5273

I. V. HOROKHOV

Researcher of Research Sector  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-9483-4123

## STUDY OF THE INTERACTION OF $\beta$ -CYCLODEXTRIN WITH CROSS-LINKING AGENTS OF DIFFERENT FUNCTIONALITY

*The paper presents the results of studying the interaction of  $\beta$ -cyclodextrin ( $\beta$ -CD) with cross-linking agents of different functionality, as well as an assessment of the effect of these agents on the physicochemical properties of composite films. Butyl glycidyl ether (GE), tetraethoxysilane (TEOS) and 3-glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPTMS) were used as cross-linking agents in concentrations of 10, 15 and 20% of the  $\beta$ -CD weight. Composite films were made from an aqueous  $\beta$ -CD solution by boiling, followed by molding, drying and heat treatment. Based on the study results, it was found that the selected cross-linking agents have different effects on the water absorption indices, hydrolytic stability and swelling degree of the obtained films. GPTMS provides the lowest water absorption values among the studied agents, especially after heat treatment. The introduction of TEOS in concentrations of 10 and 15% allows achieving maximum indices of hydrolytic resistance of films. Films from GE show a tendency to increased water absorption.*

*According to the results of swelling degree assessment, it was found that GPTMS promotes the formation of the most cross-linked structure of  $\beta$ -CD films, probably due to the presence of two functional groups that interact more actively with the matrix. This agent shows a stable increase in the mass of samples even after 96 hours of contact with water, unlike other agents.*

*The results of the study showed that the use of cross-linking agents can significantly improve the performance properties of films based on  $\beta$ -CD. GPTMS and TEOS turned out to be the most promising agents for creating hydrolysis-resistant composite coatings.*

**Keywords:**  $\beta$ -cyclodextrin, cross-linking agents, butyl glycidyl ether, tetraethoxysilane, 3-glycidoxypropyltrimethoxysilane, water absorption, hydrolysis, swelling degree.

### Постановка проблеми

Зростаюча необхідність у волокнистих матеріалах із багатфункціональними властивостями зумовлює розвиток інтенсивних міждисциплінарних підходів. Продовжується пошук нових способів функціоналізації текстильних поверхонь з метою надання їм різноманітних характеристик, таких як водовідштовхувальні властивості, самоочищення, вогнестійкість, захист від УФ-випромінювання та антибактеріальна активність.

Останнім часом зростає інтерес до використання циклодекстринів як функціональних опоряджувальних речовин на текстильних поверхнях. Актуальність досліджень нових технологій застосування циклодекстринів в опорядженні текстилю обумовлена підвищеним попитом на текстильні матеріали з покращеними споживними властивостями і одночасно високими вимогами до екологічної безпечності виробів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Циклодекстрини (CD) являють собою циклічні олігосахариди, отримані як побічні продукти ферментативного розщеплення крохмалю, і відносяться до класу відновлюваних та біорозкладних продуктів. Вони складаються з глюкопіранозних одиниць, пов'язаних зв'язками  $\alpha$ -(1-4). Найбільш поширеними та промислово доступними типами циклодекстринів є  $\alpha$ ,  $\beta$  і  $\gamma$ -циклодекстрини з 6, 7 та 8 глюкозними одиницями відповідно. Циклодекстрини

мають конусоподібну структуру з первинними та вторинними гідроксильними групами зовні. Ця характерна форма надає їм унікальної властивості: зовнішня частина є гідрофільною, а внутрішня частина порожнини менш гідрофільною. Тому циклодекстрини здатні утворювати сполуки включення з гідрофобними речовинами [1].

У текстильній галузі циклодекстрини використовувалися для надання таких властивостей, як захист від УФ-випромінювання, повільне вивільнення ароматизаторів, доставка інсектицидів і надання антибактеріальних властивостей [2].

Існує кілька методів приєднання циклодекстринів до текстильних поверхонь, які можна розділити на дві основні групи: фізичні і хімічні [3]. Фізичні методи полягають у розчиненні похідних циклодекстрину з гідрофобними ланцюгами у полімерному розчині до формування волокон. Після прядіння волокон циклодекстрини мають тенденцію мігрувати до поверхні, роблячи порожнини доступними для включень. Хімічні методи включають: 1) синтез похідних циклодекстрину з іонною бічною групою, яка взаємодіє з іонною групою волокна; 2) синтез реактивного похідного циклодекстрину, яке потім прищеплюється до тканин за допомогою зв'язуючого.

$\beta$ -CD може бути включений у текстиль за допомогою розпилення, друку, набивання, щеплення, покриття поверхні, просочення, струменевого друку або через золь-гель метод тощо.

Серед перерахованих в літературі різних механізмів фіксації  $\beta$ -CD на волокнах значна частина стосується щеплення з використанням зшиваючих агентів, таких як полікарбонатові кислоти, на бавовняних волокнах [4], вовняних [5], поліефірних [6], поліамідних [7] та поліакрилонітрильних і т.д. Механізм дії зшиваючих агентів, таких як 1,2,3,4-бутантетракарбонтова кислота (BTCA), полягає в утворенні п'ятичленного ангідриду-інтермедиату [8]. Він реагує з гідроксильними групами целюлози та/або  $\beta$ -CD за допомогою етерифікації. Таким же чином діє лимонна кислота як зшиваючий агент, надаючи бавовняній тканині протизминальні властивості, а також зв'язує  $\beta$ -CD з бавовною.

Смоли, такі як епіхлоргідрин, також можуть використовуватися для фіксації  $\beta$ -CD на целюлозі [9]. Згадується використання бутілакрилату для щеплення похідного монохлортриазинільного  $\beta$ -CD (МСТ- $\beta$ -CD) до целюлозних волокон [10], а в іншому випадку обговорюється щеплення гліцидного метакрилату  $\beta$ -CD або МСТ- $\beta$ -CD до поліамідних волокон [11] і поліпропілену [9].

МСТ- $\beta$ -CD можна використовувати для перманентного зв'язування  $\beta$ -CD з бавовною за допомогою звичайного методу активного фарбування [9]. Реактивний атом хлору триазинільних груп МСТ- $\beta$ -CD може реагувати з нуклеофільними залишками, такими як  $-NHR$ ,  $-OH$ ,  $-SH$  і т.д., утворюючи ковалентні зв'язки [12]. Різні замісники (такі як силосани, алкіламіни, поліетиленгліколі тощо) для  $\beta$ -CD з абсорбційними властивостями можна отримати з МСТ- $\beta$ -CD, які можна приєднати за допомогою електростатичних або гідрофобних взаємодій.  $\beta$ -CD можна ковалентно зв'язувати через гетеробіфункціональні активні барвники, які містять монохлортриазинові та вінілсульфонові групи [13]. Крім того, нові методи фіксації  $\beta$ -CD включають використання гомобіфункціональних активних барвників, таких як Reactive Black 5. Через наявність двох активних груп у барвнику існує підвищена ймовірність приєднання  $\beta$ -CD до поверхні бавовни порівняно з гетеробіфункціональним активним барвником.

Отже, хімічна фіксація циклодекстринів відбувається в результаті взаємодії між функціональними групами циклодекстрину та текстильного матеріалу. Похідні циклодекстринів, що містять функціональні групи, реагують з гідроксильними групами на поверхні целюлозної тканини подібно до молекул активних барвників. Незаміщені циклодекстрини можуть бути перманентно фіксовані на бавовняній тканині за допомогою різних полімерів як сполучної ланки між циклодекстрином та тканиною. У процесі полімеризації такі молекули зв'язуються як із гідроксильними групами циклодекстрину, так і з гідроксильними групами целюлози.

Таким чином, методи фіксації циклодекстринів на поверхні текстильних матеріалів можуть бути адаптовані в рамках діючих опоряджувальних технологій. У зв'язку з цим інтерес представляє дослідження взаємодії  $\beta$ -CD з новими зшиваючими агентами, що використовуються в опоряджувальному виробництві бавовняних текстильних матеріалів.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи було дослідження взаємодії  $\beta$ -CD і зшиваючих агентів з різними функціональними групами шляхом визначення зміни фізико-хімічних властивостей сформованих композитів.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Тривалий термін ефективної експлуатації виробів є найважливішим завданням створення функціональних покриттів на текстильних матеріалах. Широкий асортимент матеріалів, оброблений композиційними складами, піддається багаторазовому до прання, тому одним з найпоширеніших видів хімічної деструкції полімерних покриттів для текстильної продукції є гідроліз. Це сприяє процесу «старіння» полімеру, який супроводжується зміною фізико-хімічних та механічних, насамперед адгезійних, властивостей покриттів.

Для забезпечення високих експлуатаційних властивостей функціональних покриттів необхідно отримати просторову структуру полімерної сітки, що вимагає введення функціональних груп для утворення зшивок. Це відбувається шляхом введення в полімерну композицію зшиваючих агентів, які реагують з реакційноздатними групами полімерного зв'язуючого та/або субстрату під час формування плівки.

У даній роботі досліджено моно- і біфункціональні зшиваючі агенти з класів гліциділових ефірів та органічних силанів: бутілгліциділовий ефір (GE), тетраетоксісилан (TEOS), 3-гліцидоксипропілтриметоксісилан (GPTMS). Структурні формули зшиваючих агентів наведено на рис. 1.

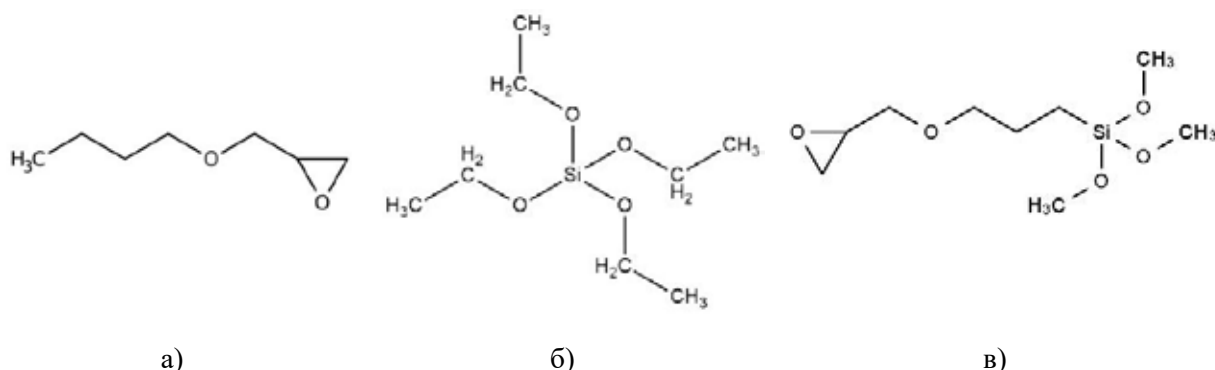


Рис. 1. Структурні формули зшиваючих агентів: а) бутілгліциділовий ефір; б) тетраетоксісилан; в) 3-гліцидоксипропілтриметоксісилан

Дослідження проводили з використанням композитних плівок на основі β-CD. Плівки β-CD виготовляли із водного розчину методом розварювання при 85 – 90°C протягом 20 хв. з наступним формуванням і висушуванням при 80°C. Зшиваючі агенти вводилися у кількості 10, 15 і 20% від маси β-CD. Термообробка композитних плівок здійснювалась при 150°C протягом 3 хв.

Вплив досліджуваних зшиваючих агентів на зміну фізико-хімічних показників сформованих композитних плівок на основі β-CD оцінено за показниками водопоглинання, гідролітичної стабільності та ступеня набухання.

Важливою характеристикою полімерних покриттів є відношення до дії атмосферної вологи та стійкість до мокрих обробок. У зв'язку з цим на першому етапі роботи було визначено вплив досліджуваних зшиваючих агентів на показники водопоглинання і гідролітичної стабільності композитних плівок на основі β-CD.

Водопоглинання визначається як масова частка води, поглиненої полімерною плівкою за 24 год. при 25°C. Гідролітична стабільність характеризує ступінь стійкості полімерної плівки до дії води та визначається ваговим методом. Результати експерименту наведено на рис. 2, 3 відповідно.

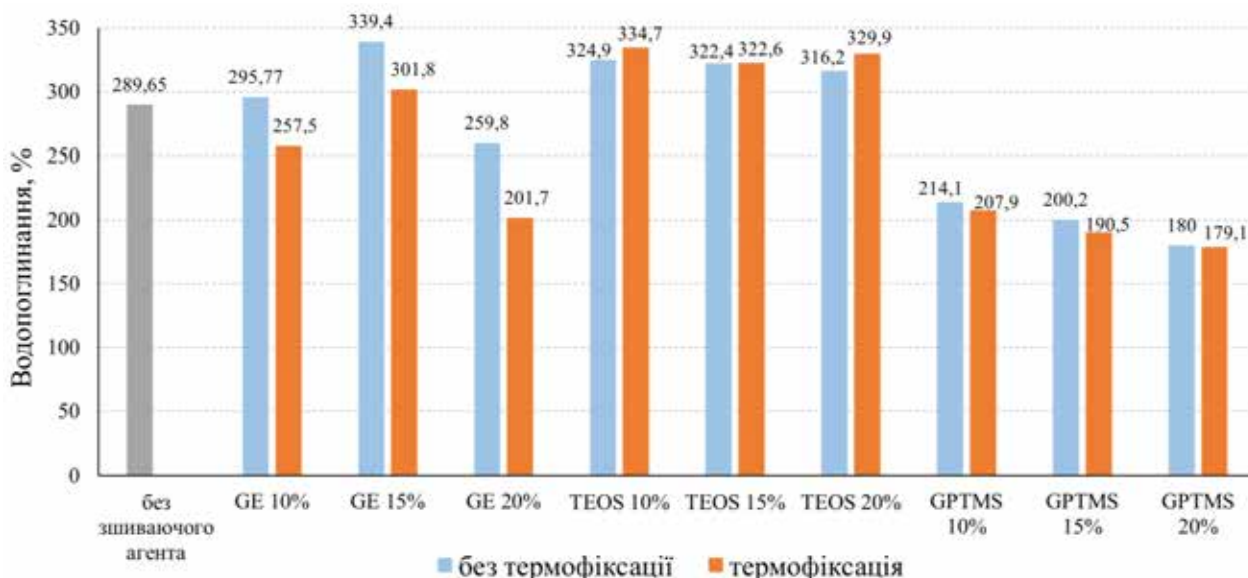


Рис. 2. Вплив зшиваючих агентів на водопоглинання плівок на основі β-CD

Отримані дані (рис. 2) показують, що досліджувані зшиваючі агенти по-різному впливають на величину водопоглинання плівки β-CD. Так, застосування GE у концентрації 10 і 15% збільшує водопоглинання плівок порівняно з базовим зразком, а з підвищенням концентрації зшиваючого агента до 20% вміст вологи зменшується на

29% відносно чистого  $\beta$ -CD. Термофіксація зразків з GE у всіх концентраціях призводить до зниження досліджуваного показника по відношенню до плівок без термообробки. Введення TEOS обумовлює зростання водопоглинання на 32 – 35% порівняно з індивідуальною плівкою  $\beta$ -CD. Зразки з TEOS після термообробки характеризуються деяким підвищенням вмісту вологи. Найменші значення показника водопоглинання спостерігаються при застосуванні GPTMS у всіх концентраціях. З підвищенням вмісту GPTMS досліджуваний показник зменшується на 75 – 109% відповідно у порівнянні зі зразком без зшиваючих агентів. Тенденція до зменшення кількості поглиненої вологи для зразків з GPTMS посилюється після термообробки.

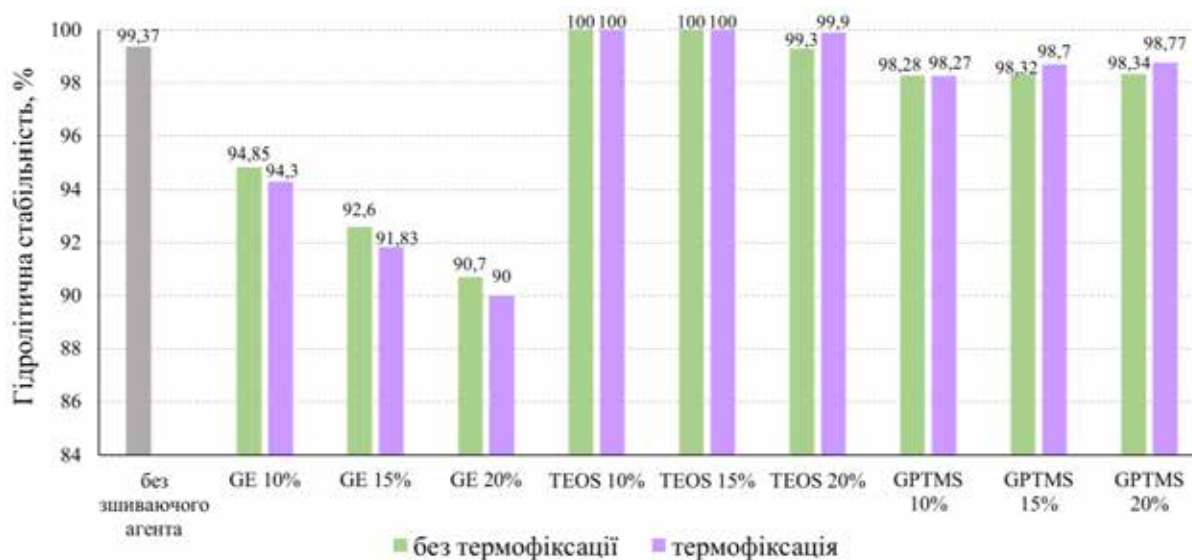


Рис. 3. Вплив зшиваючих агентів на гідролітичну стабільність плівок на основі  $\beta$ -CD

Гідролітична стабільність характеризує ступінь стійкості полімерної плівки до дії води. Результати випробування (рис. 3) показують, що досліджувані зшиваючі агенти в різній мірі впливають на гідролітичну деструкцію зразків. Найменший показник гідролітичної стабільності спостерігається у зразків із вмістом GE. Підвищення вмісту GE у складі композиції відповідно знижує стійкість плівок  $\beta$ -CD до гідролізу на 4,5 – 9% у порівнянні з базовим зразком. Слід відмітити, що після термообробки зразків ця тенденція дещо посилюється. Найкращі показники гідролітичної стійкості мають зразки з вмістом TEOS, які не розчиняються у воді. Введення до складу плівок  $\beta$ -CD зшиваючого агента TEOS у концентрації 10% і 15% забезпечує максимальну стійкість композитів до гідролітичної деструкції як без термообробки, так і після неї. Застосування GPTMS у всіх досліджуваних концентраціях і варіантах термообробки показує значення гідролітичної стабільності на рівні базового зразку плівки  $\beta$ -CD.

Ступінь зшивання  $\beta$ -CD в полімерному матеріалі можна оцінити непрямим методом за ступенем набухання полімерної плівки. У зв'язку з цим на наступному етапі роботи було досліджено вплив зшиваючих агентів на процес набухання композитних плівок  $\beta$ -CD. Ступінь набухання полімерних плівок визначається зміною маси зразків залежно від часу їх перебування у воді. Результати експерименту представлені на рис. 4.

Отримані результати (рис. 4) показують, що всі зразки плівок зі зшиваючими агентами мають більший ступінь набухання, у порівнянні з індивідуальною плівкою  $\beta$ -CD. Для індивідуальної плівки  $\beta$ -CD після 24 год обробки спостерігається поступове зменшення маси зразка, що пов'язано з вимиванням незшитого циклодекстрину.

У випадку GE найбільший показник приросту маси спостерігається через 24 год обробки, але до 48 год маса зразків не змінюється. Найвищий ступінь набухання серед плівок з досліджуваними зшиваючими агентами мають зразки із вмістом GE у концентрації 15% без термофіксації і 10% після термообробки. Слід відмітити деструкцію термооброблених плівок із вмістом GE 15% і 20% після 96 год набухання.

При введенні зшиваючих агентів TEOS і GPTMS процес набухання, тобто збільшення маси зразка, продовжується після 24 год обробки, на відміну від індивідуальної плівки  $\beta$ -CD, що свідчить про утворення зшитої структури. Так маса зразків TEOS 10%, GPTMS 10% і 15% без термофіксації та TEOS 10% і 15% після термообробки зростає до 48 год. Всі зразки GPTMS з термофіксацією продовжують набухати до 96 год обробки. Даний факт може свідчити про більш високий ступінь зшивання  $\beta$ -CD через наявність двох функціональних груп у GPTMS.

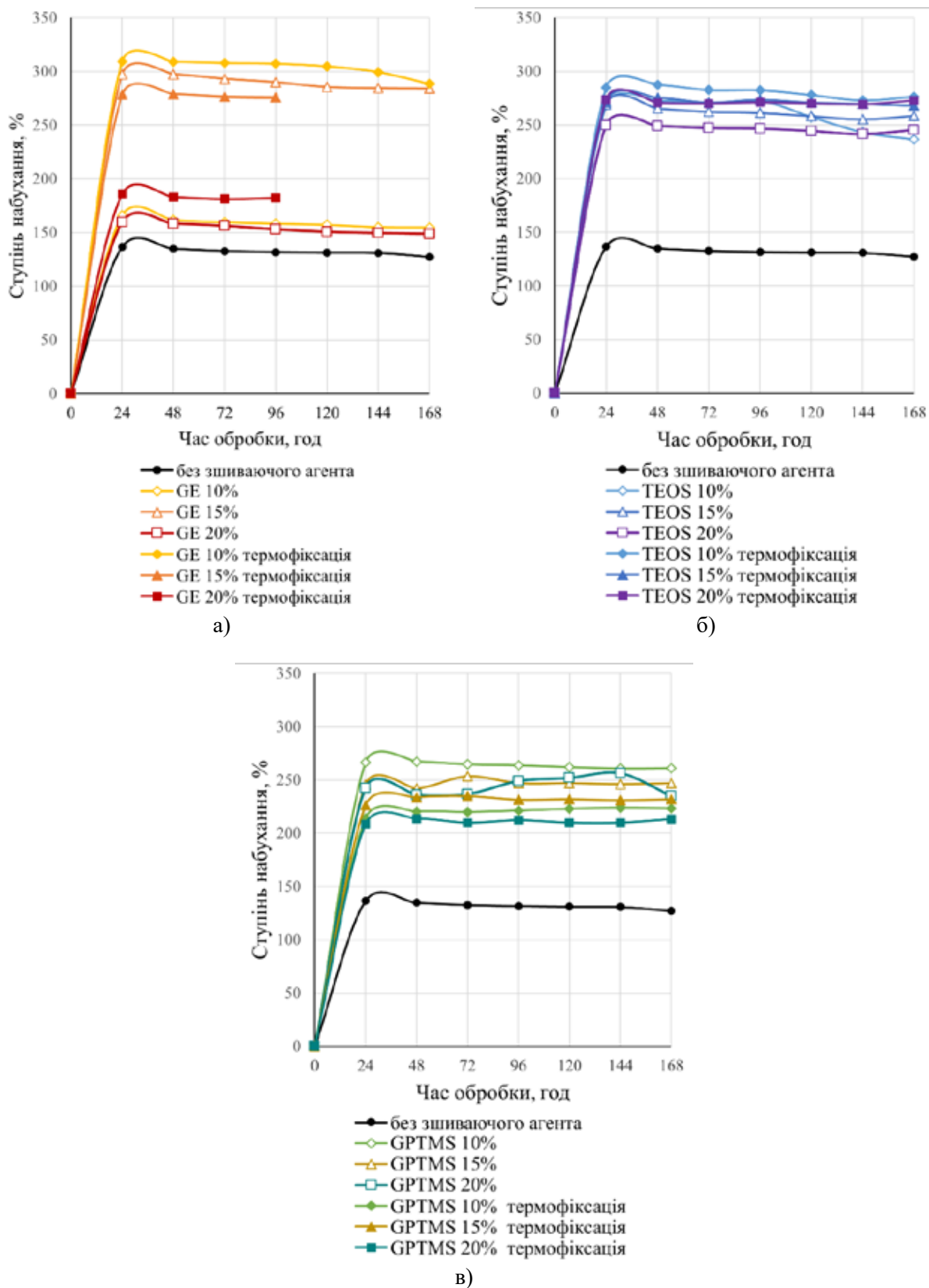


Рис. 4. Вплив зшиваючих агентів на ступінь набухання плівок на основі  $\beta$ -CD: а) GE; б) TEOS; в) GPTMS

### Висновки

У роботі проведено дослідження взаємодії  $\beta$ -CD і зшиваючих агентів з різними функціональними групами шляхом оцінки зміни показників водопоглинання, гідролітичної стабільності та ступеня набухання композитних плівок. Визначено, що застосування 3-гліцидоксипропілтриметоксисілану (GPTMS) обумовлює зниження показника водопоглинання плівки  $\beta$ -CD у порівнянні зі зразком без зшиваючих агентів. За результатами випробування стійкості композитних плівок на основі  $\beta$ -CD до гідролітичної деструкції встановлено, що введення тетраетоксисілану (TEOS) у концентрації 10% і 15% забезпечує максимальну стійкість композитів  $\beta$ -CD до гідролізу. Згідно отриманих даних ступеня набухання композитних плівок виявлено, що застосування GPTMS обумовлює більш високий ступінь зшивання  $\beta$ -CD у порівнянні з іншими досліджуваними зшиваючими агентами, що можна пояснити наявністю двох функціональних груп.

### Список використаної літератури

1. Szejtli J. Past, present, and future of cyclodextrin research. *Pure and Applied Chemistry*, 2004, 76(10), 1825-1846. <https://doi.org/10.1351/pac200476101825>
2. Del Valle E.M. Cyclodextrins and their uses: A review. *Process Biochemistry*, 2004, 39(9), 1033-1046. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00258-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00258-9)
3. Buschmann H.-J., Knittel D., Schollmeyer E. New Textile Applications of Cyclodextrins. *J. Inclusion Phenom. Macrocyclic Chem.*, 2001, 40, 3, 169-172. <https://doi.org/10.1023/A:1011892600388>
4. Voncina B., Le Marechal A. Grafting of cotton with  $\beta$ -cyclodextrin via poly (carboxylic acid). *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, 96(4), 1323-1328. <https://doi.org/10.1002/app.21442>
5. Martel B., et al. Polycarboxylic acids as crosslinking agents for grafting cyclodextrins onto cotton and wool fabrics: Study of the process parameters. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, 83(7), 1449-1456. <https://doi.org/10.1002/app.2306>
6. Voncina B., Vivod V., Chen W. Surface modification of PET fibers with the use of  $\beta$ -cyclodextrin. *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, 113(6), 3891-3895. <https://doi.org/10.1002/app.30400>
7. El Ghouly Y., et al. Mechanical and physico-chemical characterization of cyclodextrin finished polyamide fibers. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 2007, 57(1), 47-52. <https://doi.org/10.1007/s10847-006-9164-4>
8. El-Tahlawy K., El-Nagar K., Elhendawy A. Cyclodextrin-4 Hydroxy benzophenone inclusion complex for UV protective cotton fabric. *Journal of the Textile Institute*, 2007, 98(5), 453-462. <https://doi.org/10.1080/00405000701556327>
9. Szejtli, J., Cyclodextrins in the textile industry. *Starch*, 2003, 55(5), 191-196. <https://doi.org/10.1002/star.200390050>
10. Hebeish, A., El Shafei A., Shaarawy S. Synthesis and characterization of multifunctional cotton containing cyclodextrin and butylacrylate moieties. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2009, 48(8), 839-850. <https://doi.org/10.1080/03602550902994904>
11. Gawish, S., et al. Synthesis and characterization of novel biocidal cyclodextrin inclusion complexes grafted onto polyamide-6 fabric by a redox method. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 99(5), 2586-2593. <https://doi.org/10.1002/app.22888>
12. Knittel D., Schollmeyer E. Technologies for a new century. Surface modification of fibres. *Journal of the Textile Institute*, 2000, 91(3), 151-165. <https://doi.org/10.1080/00405000008659548>
13. Wang C., Chen S. Anchoring  $\beta$ -cyclodextrin to retain fragrances on cotton by means of heterobifunctional reactive dyes. *Coloration Technology*, 2004, 120(1), 14-18. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2004.tb00200.x>

### References

1. Szejtli J. Past, present, and future of cyclodextrin research. *Pure and Applied Chemistry*, 2004, 76(10), 1825-1846. <https://doi.org/10.1351/pac200476101825>
2. Del Valle E.M. Cyclodextrins and their uses: A review. *Process Biochemistry*, 2004, 39(9), 1033-1046. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00258-9](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00258-9)
3. Buschmann H.-J., Knittel D., Schollmeyer E. New Textile Applications of Cyclodextrins. *J. Inclusion Phenom. Macrocyclic Chem.*, 2001, 40, 3, 169-172. <https://doi.org/10.1023/A:1011892600388>
4. Voncina B., Le Marechal A. Grafting of cotton with  $\beta$ -cyclodextrin via poly (carboxylic acid). *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, 96(4), 1323-1328. <https://doi.org/10.1002/app.21442>
5. Martel B., et al. Polycarboxylic acids as crosslinking agents for grafting cyclodextrins onto cotton and wool fabrics: Study of the process parameters. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, 83(7), 1449-1456. <https://doi.org/10.1002/app.2306>
6. Voncina B., Vivod V., Chen W. Surface modification of PET fibers with the use of  $\beta$ -cyclodextrin. *Journal of Applied Polymer Science*, 2009, 113(6), 3891-3895. <https://doi.org/10.1002/app.30400>



7. El Ghoul Y., et al. Mechanical and physico-chemical characterization of cyclodextrin finished polyamide fibers. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 2007, 57(1), 47-52. <https://doi.org/10.1007/s10847-006-9164-4>
8. El-Tahlawy K., El-Nagar K., Elhendawy A. Cyclodextrin-4 Hydroxy benzophenone inclusion complex for UV protective cotton fabric. *Journal of the Textile Institute*, 2007, 98(5), 453-462. <https://doi.org/10.1080/00405000701556327>
9. Szejtli, J., Cyclodextrins in the textile industry. *Starch*, 2003, 55(5), 191-196. <https://doi.org/10.1002/star.200390050>
10. Hebeish, A., El Shafei A., Shaarawy S. Synthesis and characterization of multifunctional cotton containing cyclodextrin and butylacrylate moieties. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2009, 48(8), 839-850. <https://doi.org/10.1080/03602550902994904>
11. Gawish, S., et al. Synthesis and characterization of novel biocidal cyclodextrin inclusion complexes grafted onto polyamide-6 fabric by a redox method. *Journal of Applied Polymer Science*, 2006, 99(5), 2586-2593. <https://doi.org/10.1002/app.22888>
12. Knittel D., Schollmeyer E. Technologies for a new century. Surface modification of fibres. *Journal of the Textile Institute*, 2000, 91(3), 151-165. <https://doi.org/10.1080/00405000008659548>
13. Wang C., Chen S. Anchoring  $\beta$ -cyclodextrin to retain fragrances on cotton by means of heterobifunctional reactive dyes. *Coloration Technology*, 2004, 120(1), 14-18. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2004.tb00200.x>

**Г. А. БОЙКО**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри товарознавства стандартизації та сертифікації  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-8773-5525

**Т. М. ГОЛОВЕНКО**

доктор технічних наук,  
доцент кафедри технологій легкої промисловості  
Луцький національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-1792-9364

**Ю. О. МАКСИМЧЕНКО**

аспірантка кафедри товарознавства стандартизації та сертифікації  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0007-4616-8836

**Є. О. СЛУЧИНСЬКИЙ**

аспірант кафедри товарознавства стандартизації та сертифікації  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0002-9895-1455

## ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКОН ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ВЗУТТЯ

У статті розроблено розроблено ієрархічні системи класифікації властивостей конопляного котоніну та пряжі на його основі, за принципом дослідження тільки тих властивостей напівфабрикатів, які мають безпосередній вплив на якість готової тканини для виготовлення верху взуття. Для оцінки нерівномірності довжини конопляного котоніну було застосовано зведені характеристики груп волокон, які поділили на максимальну, середню та мінімальну довжини. Визначено, що більшість волокон конопляного котоніну має середню довжину 20–40 мм, яка наближена до штапельної довжини середньоволокнистих та довговолокнистих сортів бавовни. У результаті дослідження хімічного складу, фізичних, механічних, геометричних властивостей конопляного котоніну встановлено, що його висока міцність, яка характеризується показником розривного навантаження одного волокна – 12,0 гс, обумовлена великим вмістом в хімічному складі целюлози (до 91,2%) та лігніну (до 8%), значно більшим, ніж у інших луб'яних культур, що доведено прикладом хімічного складу льону-довгуниці. Також визначено, що хімічний склад конопляного котоніну має значний вплив на його фізико-механічні показники. Зокрема найбільший вплив хімічний склад конопель має на показник відносного розривного подовження, який є достатньо високим – 26,5%. З таким показником розривного подовження стовідсоткове використання цієї сировини в пряжі для виготовлення формостійких виробів не рекомендовано.

З метою покращення якісних властивостей конопляного котоніну було використано спеціально підібрані режими пропарювання, застосування яких показало значне покращення показників досліджуваного волокна та його хімічного складу. Показник абсолютного подовження зменшився на 1,5 мм, а показник відносного розривного подовження на 9%, що є безпосереднім показником зменшення механічних властивостей. Після пропарювання волокно стало тоншим та м'якішим про це свідчить про зменшення показника лінійної щільності на 1,3 текса. Зменшення фактичної вологості на 3% приблизило конопляний котонін до нормованої фактичної вологості, що застосовується в пневмомеханічному способі прядіння. Показник розривного подовження також зменшився на 2,9 гс, що майже наблизило його до нормованих показників прядильної здатності волокна.

У результаті проведених досліджень встановлено, що за рахунок використання певних режимів пропарювання (тиск: нагрівання, варіння – 1,2–7,1 кгс/см<sup>2</sup>; пропарювання – 1,8–2,3 кгс/см<sup>2</sup>; промивання – 0 кгс/см<sup>2</sup>; температура: нагрівання, варіння – 90–160 °С; пропарювання – 140–121 °С; промивання – 40 °С; тривалість операції: нагрівання, варіння – 30 хв.; пропарювання – 20 хв.; промивання – 10 хв) можливо отримати котонізоване волокно з покращеними властивостями, придатне для виготовлення потенційних якісних взуттєвих виробів з тканини верху на основі технічних конопель.

З метою перевірки зв'язку окреслених режимів пропарювання з експериментально визначеними механічними, геометричними та фізичними властивостями конопляного котоніну, що впливають на його прядильні властивості та являються чинниками формування якісних характеристик тканини, придатної для виготовлення

потенційних взуттєвих виробів було проведено додатково дослідження методом трифакторного математичного планування експерименту.

**Ключові слова:** конопляне волокно, пропарювання, хімічний склад, властивості волокна, математичне планування експерименту, текстильне взуття.

G. A. BOYKO

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Commodity Studies, Standardization and Certification  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-8773-5525

T. M. GOLOVENKO

Doctor of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Light Industry Technologies  
Lutsk National Technical University  
ORCID: 0000-0002-1792-9364

YU. O. MAKSYMCHENKO

Postgraduate Student at the Department of Commodity Studies, Standardization and Certification  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0007-4616-8836

E. O. SLUCHYNSKY

Postgraduate Student at the Department of Commodity Science, Standardization and Certification  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0002-9895-1455

## FORMATION OF PROPERTIES OF TECHNICAL HEMP FIBERS SUITABLE FOR MANUFACTURING TEXTILE FOOTWEAR

*The article develops hierarchical classification systems for the properties of hemp cottonin and yarn based on it, based on the principle of studying only those properties of semi-finished products that have a direct impact on the quality of the finished fabric for the manufacture of shoe uppers.*

*To assess the unevenness of the length of hemp cottonin, the combined characteristics of fiber groups were used, which were divided into maximum, average and minimum lengths. It was determined that the majority of hemp cottonin fibers have an average length of 20–40 mm, which is close to the staple length of medium-fiber and long-fiber cotton varieties. It is proven that hemp cottonin can be suitable for the production of yarn using a pneumomechanical spinning system.*

*As a result of the study of the chemical composition, physical, mechanical, and geometric properties of hemp cottonin, it was found that its high strength, characterized by the breaking load index of one fiber – 12.0 gs, is due to the high content of cellulose (up to 91.2%) and lignin (up to 8%) in the chemical composition, significantly higher than in other bast crops, which is proven by the example of the chemical composition of long-staple flax. It was also determined that the chemical composition of hemp cottonin has a significant impact on its physical and mechanical indicators. In particular, the chemical composition of hemp has the greatest impact on the relative breaking elongation index, which is quite high – 26.5%. With such a breaking elongation index, one hundred percent use of this raw material in yarn for the manufacture of shape-stable products is not recommended.*

*In order to improve the qualitative properties of hemp cottonin, specially selected steaming modes were used, the application of which showed a significant improvement in the indicators of the studied fiber and its chemical composition. The absolute elongation indicator decreased by 1.5 mm, and the relative elongation at break indicator by 9%, which is a direct indicator of the decrease in mechanical properties. After steaming, the fiber became thinner and softer, as evidenced by a decrease in the linear density indicator by 1.3 tex. A decrease in the actual humidity by 3% brought hemp cottonin closer to the normalized actual humidity used in the pneumomechanical spinning method. The elongation at break indicator also decreased by 2.9 gs, which almost brought it closer to the normalized indicators of the fiber's spinnability.*

*High-temperature steam under pressure destroyed pectin substances by 4%, which bind microfibrils. This led to a decrease in the ability of the fibers to elongate due to a decrease in the cohesion between the components. Hemicelluloses under the influence of steam underwent hydrolysis, became less elastic. Their reduced content (by the smallest indicators by 7%) makes the fiber more rigid and reduces its plasticity, but not critically, leaving a certain percentage (3.0–7.8%), which will provide the shoe fabric with the necessary quality indicators during operation. Also, lignin modification took place – a decrease by the smallest indicators by 1.1%. Lignin was partially destroyed or modified at high temperature, which positively affected the change in the mechanical properties of the fiber. The loss of waxy and fat-like substances by 1% affected the smoothness and sliding of hemp fiber, making it less susceptible to stretching. As a result of the conducted research, it was found that by using certain steaming modes (pressure: heating, boiling – 1.2–7.1 kgf/cm<sup>2</sup>; steaming –*

1.8–2.3 kgf/cm<sup>2</sup>; washing – 0 kgf/cm<sup>2</sup>; temperature: heating, boiling – 90–160 °C; steaming – 140–121 °C; washing – 40 °C; duration of the operation: heating, boiling – 30 min.; steaming – 20 min.; washing – 10 min.) it is possible to obtain cottonized fiber with improved properties, suitable for the manufacture of potential high-quality footwear products from upper fabric based on technical hemp.

In order to verify the relationship between the outlined steaming modes and the experimentally determined mechanical, geometric and physical properties of hemp cotton, which affect its spinning properties and are factors in the formation of the qualitative characteristics of the fabric suitable for the manufacture of potential footwear products, an additional study was conducted using the three-factor mathematical experimental design method. Analysis of the research results, namely the obtained regression equations and response surfaces, revealed that the most significant factors influencing the formation of the studied properties of cotton fiber in steaming modes are the steaming pressure and temperature, which was revealed during experimental and theoretical studies.

**Key words:** hemp fibers, steaming, chemical composition, fiber properties, mathematical experimental design, textile footwear.

### Постановка проблеми

Для створення взуттєвих товарів з натуральних матеріалів високої якості за доступною ціною необхідно мати вітчизняну сировину з придатними властивостями. Додатковим джерелом сировинних ресурсів для України є волокно технічних конопель. Інтерес у використанні технічних конопель у взуттєвій промисловості з кожним роком зростає не тільки закордоном, але й в Україні. Це зумовлено, перш за все, якісними натуральними властивостями волокон даної культури. Коноплеволокно володіє високими фізико-механічними, гігроскопічними, антибактеріальними, та антиалергічними властивостями [1]. Але, поряд з цим виробі з даної сировини, особливо взуття мають де-які недоліки. В процесі експлуатації тканини верху взуття втрачають формостійкість. При інтенсивному носінні спостерігається втрата зовнішнього вигляду і зміна розміру. На даний час причини цих негативних факторів та шляхи їх вирішення не встановлено.

Розв'язання поставленої наукової проблеми полягає у комплексному аналізі вихідних даних, побудові теоретичних моделей та експериментальній перевірці вихідної сировини – волокон конопель, які використовуються в текстильному взутті, що дозволе сформулювати нові знання й удосконалити існуючі підходи в обраній галузі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Наукові дослідження з покращення якісних властивостей взуттєвих товарів висвітлювалися в роботах вітчизняних та зарубіжних вчених Мокроусової О.Р., Байдакової Л.І., Дудли І.О., Семака Б.Д., Коновала В.П., Либи В.П., Нестерова В.П., Половнікова І.І., Рибальченко В.В. в загальному або конкретному аспектах [2-4]. В основному ці дослідження присвячено антропоморфологічним особливостям стоп населення, матеріалознавству (шкіра, або шкірозамінники), конструюванню і технології виробництва взуття. А от вивчення та дослідження тканин верху з конопляного волокна та виникнення негативних факторів в процесі експлуатації на формостійкість, досі не було розглянуто.

В статтях Бойко Г.А. [5] було зазначено, що основними факторами погіршення формостійкості текстильного взуття з волокна конопель є особливості мікробудови та натуральних властивостей волокна конопель. Для подальшого обґрунтування сформованої наукової гіпотези необхідно детально здійснити аналіз властивостей конопляного волокна, що мають суттєвий вплив на показники надійності взуття та дослідити шляхи і аспекти їх поліпшення.

### Формулювання мети дослідження

Покращення натуральних властивостей волокон технічних конопель з метою їх використання у взуттєвому виробництві.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Для досліджень було використано сорт технічних конопель Гляна, який характеризується великим відсотком вмісту волокна, придатного для текстильного виробництва. Стебла обраного сорту оброблялися декортикатором фірми CannaSystems для одержання волокна, після чого, волокно піддавалося подрібненню та додатковому очищенню в три етапи, потім – розпушуванню з метою надання волокнам конопель бавовноподібного стану. Щоб мати підстави запровадження даного волокна в тканині для верху текстильного взуття потрібно дослідити натуральні властивості отриманого модифікованого волокна.

З цією метою здійснено аналіз усіх властивостей волокна технічних конопель з метою визначення найбільш суттєвих, які мають безпосередній вплив на якість готового текстильного взуття. Класифікація властивостей конопляних волокон представлена на рис. 1.

Якість волокна технічних конопель, що надходить до текстильних підприємств, залежить від багатьох факторів: сорту, умов вирощування, термінів збирання, технології первинної переробки та модифікації тощо [6]. Більшість з цих факторів впливає на відсотковий вміст волокна в стеблах, засміченість, міцність, довжину, лінійну щільність та відносну вологість волокон. Вищезазначені властивості мають суттєве значення для виготовлення

якісних текстильних виробів. Таким чином, з метою дослідження можливості застосування конопляного волокна у взуттєвому виробництві потрібно визначити комплекс властивостей, який безпосередньо має вплив на ергономічні властивості та надійність готових взуттєвих виробів на основі досліджуваної сировини. З метою визначення впливу конопляного волокна на формостійкість майбутніх взуттєвих виробів та подальших їх досліджень було сформовано класифікацію властивостей волокна (рис. 2).



Рис. 1. Класифікація властивостей конопляних волокон

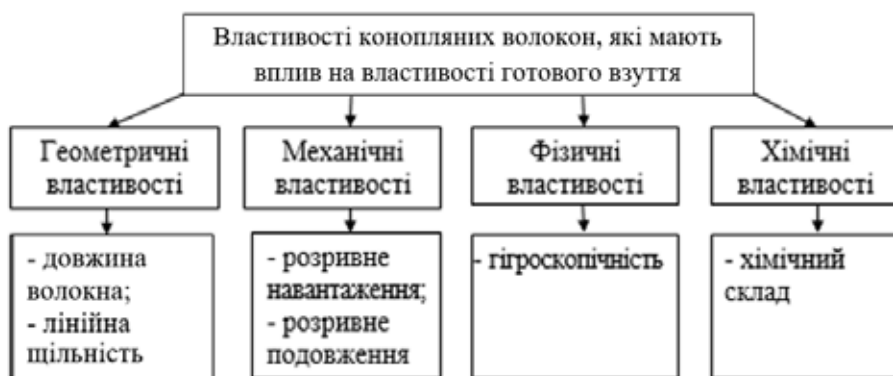


Рис. 2. Класифікація властивостей конопляних волокон, які мають вплив на споживні характеристики майбутніх взуттєвих виробів

Подальші дослідження наукової роботи були спрямовані на визначення факторів впливу покращення властивостей конопляного волокна, окреслених на рис. 2, яке отримане за технологією декортикації стебел та подальшою модифікацією волокна.

Для визначення прядильної здатності отриманих волокон на першому етапі було досліджено їх штапельну довжину, яка є важливим показником, оскільки впливає на якість та міцність готової пряжі. Дані дослідження, а саме розподіл волокон за довжинами, дадуть можливість виявити продуктивний вміст одержаних волокон, з необхідним діапазоном довжини, що важливо в процесі прядіння та є суттєвим фактором впливу на кінцеві властивості готових текстильних виробів. Адже, велика кількість коротких волокон може знизити міцність пряжі або тканини через вищу схильність до розриву на межах волокон. Довші волокна, в свою чергу, забезпечують кращу міцність та зносостійкість, оскільки утворюють більш міцні з'єднання між волокнами. Також це важливий показник під час вибору технологічного процесу прядіння.

Для побудови діаграм розподілу волокон за довжиною відбирали пробу масою 5 мг. Кожне волокно проби вимірювали та розподіляли на відповідні групи. Довжину одержаного конопляного катоніну визначали методом промірювання окремих волокон, який полягає у визначенні найбільшої відстані між кінцями волокна в розпрямленому стані [7]. Оскільки катонізоване конопляне волокно має значну нерівномірність за довжиною, то для оцінки його нерівномірності застосовували зведені характеристики груп волокон, які поділили на максимальну, середню та мінімальну довжини. Результати проведених досліджень наведені в табл. 1, 2 відповідно.

Таблиця 1

## Характеристика розподілу за довжиною волокон конопляного кotonіну

№ з/п	Інтервал довжин, мм	Середня довжина волокон, мм	Кількість волокон у групі, шт.	Маса волокон у групі, г
1.	0-10	5	8120	0,357
2.	10-20	15	16452	0,765
3.	20-30	25	31483	1,310
4.	30-40	35	14456	0,980
5.	40-50	45	4238	0,689
6.	50-60	55	602	0,520
7.	60-і більше	65	430	0,379
Загальне значення			75926	5,0
Середнє арифметичне значення			10846	0,71

Таблиця 2

## Основні групи довжин волокон конопляного кotonіну

Мінімальна довжина 0-20 мм	Середня довжина 20-40 мм	Максимальна довжина 40-70 мм
32,3%	60,4%	7,3%

Аналіз результатів досліджень, наведених у табл. 1, 2 свідчить, що 60,4% волокон конопляного кotonіну мають середню довжину 20-40 мм, яка наближена до штапельної довжини середньоволокнистих та довговолокнистих сортів бавовни. Штапельна довжина бавовняного прядильного волокна визначає середню довжину волокон у партії бавовни, які використовуються для прядіння. Основні значення довжин бавовняного волокна:

- для бавовни коротковолокнистих сортів: довжина становить 20-25 мм;
- для бавовни середньоволокнистих сортів: 25-35 мм;
- для довговолокнистих сортів: довжина може сягати 35-50 мм.

Отже, за показником штапельної довжини конопляний кotonін є придатним для виробництва пряжі за пневмомеханічною системою прядіння.

Після дослідження розподілу волокон за довжиною визначали хімічний склад конопляного кotonіну. Адже хімічний склад конопляного кotonіну впливає не тільки на його прядильні властивості, але може бути чинником, який має безпосередній вплив на властивості майбутніх виробів з цієї тканини [8]. Результати вмісту у волокні целюлози, геміцелюлози, лігніну, пектинових речовин, смол, восків та жирів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

## Хімічний склад конопляного волокна

Конопляна сировина	Вид волокна	Вміст основних хімічних компонентів, %					
		целюлоза	геміце-люлоза	лігнін	пектинові речовини	зола	смоли, воски та жири
Волокно	Котонін	71,9-91,2	10,0-18,0	3,7-8,0	5,1-10,4	1,6-3,0	3,0-4,0

Аналіз даних табл. 3 свідчить, що конопляний кotonін повинен мати високу міцність через великий вміст целюлози та лігніну, що значно більше ніж у інших луб'яних культур.

За даними табл. табл. 3 було виявлено основні хімічні компоненти які мають вплив на механічні показники конопляного волокна:

1. Целюлоза (71,9-91,2%) – є основним структурним елементом волокна. Її кристалічність і ступінь полімеризації впливають на подовження, волокна з високою кристалічністю мають меншу здатність до подовження. Аморфні області целюлози сприяють еластичності й подовженню під навантаженням.

2. Геміцелюлоза (10,0-20,0%) забезпечує гнучкість волокна, оскільки вона менш кристалічна й легше деформується, ніж целюлоза. Зменшення вмісту геміцелюлози, наприклад, під час обробки, може знижувати подовження волокна.

3. Лігнін (3,7-8%) – це жорсткий і гідрофобний полімер, який обмежує подовження волокна, додаючи йому міцності. Під час видалення або зниження вмісту лігніну (хімічна чи біологічна обробка) волокно стає більш еластичним і здатним до подовження.

4. Пектинові речовини (5,1-10,4%) склеюють мікрофібрили, зменшуючи їхнє вільне переміщення. Видалення пектинів у процесі розмочування чи лужного оброблення може покращити подовження, оскільки зменшується зв'язність між окремими елементами волокна.

5. Мінеральні речовини та воскоподібні сполуки (3,0-4,0%). Воскові речовини знижують тертя між волокнами, впливаючи на їхню гнучкість. Мінеральні домішки, навпаки, можуть погіршувати подовження через зменшення еластичності.

Після визначення довжини отриманих волокон та хімічного аналізу, було визначено показники геометричних, механічних та фізичних властивостей отриманого конопляного котоніну. У табл. 4 подано усереднені результати визначення даних показників конопляного котоніну.

Таблиця 4

**Показники визначених механічних, геометричних та фізичних властивостей одержаного конопляного котоніну**

№ з/п	Показник	Значення показника
<i>Механічні властивості</i>		
1	Розривне навантаження одного волокна, гс	12,0
2	Абсолютне розривне подовження, мм	6,7
3	Відносне розривне подовження, %	17,2
<i>Геометричні властивості</i>		
4	Лінійна щільність, текс	6,8
<i>Фізичні властивості</i>		
5	Фактична вологість, %	12,0

Отримані показники конопляного котоніну окреслюють його прядильну здатність. Відомо, що на обладнанні за пневмомеханічним способом прядіння потрібні необхідні параметри волокон: довжина 20-35 мм, лінійна щільність 1,5-5 текс, мінімальне розривне навантаження волокна 3-7 гс та фактичною вологістю 8-10% [9]. Як видно з табл. 4, конопляний котонін має лінійну щільність 6,8 текс, що перевищує нормовану допустиму тонину волокон на 1,8 текс. Перевищують і показники фактичної вологості – на 2% та розривного навантаження – на 40%. Також, в результаті визначення механічних властивостей виявлено підвищення показника відносного розривного подовження – 17,2%. Якщо порівнювати цей показник з іншими прядомими натуральними волокнами, наприклад, бавовна – 2-8%, то його значення більше на 11,2%. Але в порівнянні з волокнами лавсану, який має значення 15-30%, в такому випадку котонізовані волокна наближені до одержаного показника. Досліджуючи більш детально показник розривного подовження було визначено, що волокно конопель після розтягування під впливом механічної дії не повертається до попереднього стану навіть після тривалого часу, а волокно лавсану після розтягування вже через декілька хвилин повертає свої попередні розміри.

Пояснюється це тим, що коноплі складаються з целюлози, полімерних ланцюгів, які формують жорстку і лінійну структуру [10]. Молекули целюлози сильно взаємодіють між собою через водневі зв'язки. Це забезпечує міцність, але обмежує гнучкість ланцюгів. Під час розтягування водневі зв'язки частково розриваються, а молекулярні ланцюги зміщуються. Через жорсткість структури вони не здатні повернутися до початкового стану. Целюлозні волокна не мають спіральної чи еластичної структури, яка могла б «запам'ятовувати» чи системно відновлювати форму. Таким чином, конопляні волокна демонструють пластичну деформацію, і після розтягування не повертаються до первісної форми. А волокна лавсану (синтетичні, поліефірні волокна) складаються з полімерних ланцюгів, що мають певну гнучкість і здатність до розтягування. Полімерні ланцюги лавсану мають як жорсткі (ароматичні кільця), так і гнучкі (ефірні зв'язки) ділянки, які дозволяють їм тимчасово витягуватися і повертатися до початкового стану. Під час розтягування ланцюги лавсану витягуються, але не розривають хімічних або міцних водневих зв'язків. Після зняття навантаження енергія зв'язків змушує ланцюги повертатися до попереднього стану. Таким чином, здатність лавсану повертатися до початкової форми забезпечується його молекулярною гнучкістю та структурою, а жорстка целюлозна будова конопляних волокон призводить до їх пластичної деформації. Спираючись на вищевикладене використання в пряді з таким показником стовідсоткове використання цієї сировини для виготовлення формостійких виробів не рекомендується.

Структурний аналіз отриманих експериментальних даних дав змогу в подальшому сформулювати наступні дії наукового дослідження які базувалися на визначенні методів та режимів оброблення конопляного котоніну. Відомо, що для покращення властивостей волокон використовують різні методи обробки [11]. Основні з них: пропарювання, хімічна обробка, механічна обробка, термічна обробка, покриття або просочення.

Кожен з вищезазначених методів дозволяє досягти контролю над механічними властивостями волокна, зокрема над його подовженням, що важливо для досягнення мети дисертаційної роботи, але не кожен метод підходить для обробки конопляного волокна через його характерні особливості. Проаналізувавши наявні методики обробки було прийнято рішення використовувати метод пропарювання. Пропарювання під високим тиском допомагає стабілізувати структуру волокна, робить його менш еластичним і знижує подовження. Цей метод також допомагає видалити домішки, такі як пектин і лігнін, що покращує механічні властивості волокна.

З цією метою було здійснено пропарювання конопляного кotonіну. Основні результати та висновки досліджень з визначення оптимальних значень тиску, температури та тривалості операції під час пропарювання одержаного конопляного волокна полягають у наступному:

1. *Дослідження тиску.* Перевищення оптимального тиску пропарювання більше  $2,5 \text{ кгс/см}^2$ , призводить до перегріву та пошкодження структури волокна, що зменшує його міцність. Конопляне волокно має високий вміст лігніну тому, занадто інтенсивне пропарювання призводить до погіршення еластичних властивостей волокна та формування його крихкості. Високий тиск також впливає на збереження структури клітинної стінки, що важливо для збереження природної міцності волокна. Якщо тиск пропарювання занадто низький менше  $1,5 \text{ кгс/см}^2$  то в цьому моменті не досягається необхідний рівень виділення пектинів, лігніну та інших домішок, що є основним завданням даної роботи.

2. *Дослідження температурних режимів.* Висока температура варіння волокна  $90\text{-}150 \text{ }^\circ\text{C}$  та пропарювання до  $150^\circ\text{C}$  сприяє стабілізації волокна, зменшуючи його здатність до подовження під навантаженням. Якщо температура перевищує оптимальні значення  $180\text{-}200^\circ\text{C}$ , то при цьому волокно втрачає частину своєї природної міцності, стає більш ламким або крихким. За умови температурного режиму – понад  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , відбувається деформація клітинної структури волокна, що зменшує його стійкість до механічних навантажень. Також високі температури впливають негативно на якість та пластичність волокна. За умови зниження температури до  $50\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$  виявлено відсутність факторів покращення якісних властивостей волокна, що суперечить встановленим цілям даної дисертаційної роботи.

3. *Дослідження тривалості операції.* Якщо час пропарювання занадто короткий – менше 15 хв від необхідного, то волокно не досягає необхідного рівня очищення та виявляється суттєва кількість залишків пектинових речовин, лігніну та інших домішок. Це знижує ефективність обробки і призводить до зменшення міцності волокна. Також, недостатність часу пропарювання залишає волокна більш еластичними і менш стабільними. Якщо час пропарювання надмірно збільшений – 30 хв, за умови високого тиску і температури, відбувається ламкість волокна та зменшується міцність, через надмірну його обробку.

Опираючись на проведені дослідження та отримані висновки, викладені вище, було застосовано оптимальні режими для здійснення процесу пропарювання конопляного кotonіну, які узагальнено та схематично подано на рис. 3.

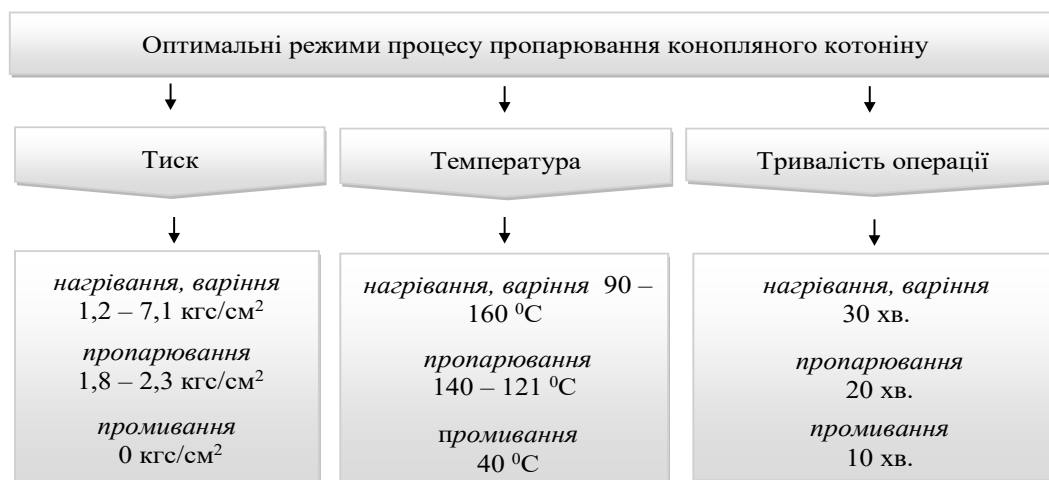


Рис. 3. Схема оптимальних режимів для здійснення процесу пропарювання конопляного кotonіну

Після пропарювання проводили повторні дослідження властивостей волокон окрім довжини, адже суттєвого впливу, дані режими проведених операцій, на довжину не мають. Усереднені показники хімічного складу та властивостей конопляного кotonіну наведені в табл. 5, 6 відповідно.

Результати проведеного оптимізованого методу пропарювання, показали (табл. 5, 6), що відбулося значне зменшення показників абсолютного та відносного розривного подовження. Показник абсолютного подовження зменшився на 3 мм, а показник відносного розривного подовження на 7,9%, що є безпосереднім показником зменшення механічних властивостей. Після пропарювання волокно стало тоншим та м'якшим про це свідчить зменшення показника лінійної щільності на 1,3 текса. Зменшення фактичної вологості на 3% приблизило конопляний кotonін до нормованої фактичної вологості, що застосовується в пневмомеханічному способі прядіння. Показник розривного подовження також зменшився на 2,9 гс, що майже наблизило його до нормованих показників прядильної здатності волокна. Зміни якісних властивостей конопляного кotonіну відбулися через значні зміни в хімічному складі волокна.



Таблиця 5

## Показники механічних, геометричних та фізичних властивостей конопляного кotonіну, одержаного із застосуванням рекомендованих режимів пропарювання

№ з/п	Показник	Значення показника
<i>Механічні властивості</i>		
1.	Розривне навантаження одного волокна, гс	7,6
2.	Абсолютне розривне подовження, мм	3,7
3.	Відносне розривне подовження, %	9,3
<i>Геометричні властивості</i>		
4.	Лінійна густина, текс	5,5
<i>Фізичні властивості</i>		
5.	Фактична вологість, %	9

Таблиця 6

## Хімічний склад конопляної сировини після пропарювання з рекомендованими режимами

Конопляна сировина	Вид волокна	Вміст основних хімічних компонентів, %					
		целюлоза	геміцелюлоза	лігнін	пектинові речовини	зола	смоли, воски та жири
Волокно	Котонін	69,3-71,4	3,0-7,8	2,6-5,2	1,1-3,5	1,0-1,8	1,0-2,1

Як видно з показників табл. 6. відбулося зниження вмісту пектинових речовин за найнижчими показниками на 4%. Високотемпературна пара під тиском руйнує пектини, які зв'язують мікрофібрили. Це призвело до зменшення здатності волокон до подовження через зниження зв'язності між компонентами. Геміцелюлоза під впливом пари зазнає гідролізу, стаючи менш еластичними. Їхній зменшений вміст (за найменшими показниками на 7%) надає волокну більшої жорсткості і знижує його пластичність. Також, відбулася і модифікація лігніну – зменшення за найменшими показниками на 1,1%. Лігнін частково зруйнувався або модифікувався під високою температурою, що позитивно вплинуло на зміну механічних властивостей волокна. Втрата воскових і жироподібних речовин на 1% вплинуло на гладкість і ковзання конопляного волокна, роблячи його менш податливим до розтягування.

Дія пропарювання волокон конопляного кotonіну під високим тиском та температурами змінила кристалічну структуру целюлози, зменшилася аморфна частка, яка відповідає за еластичність, що знижує здатність волокна до подовження.

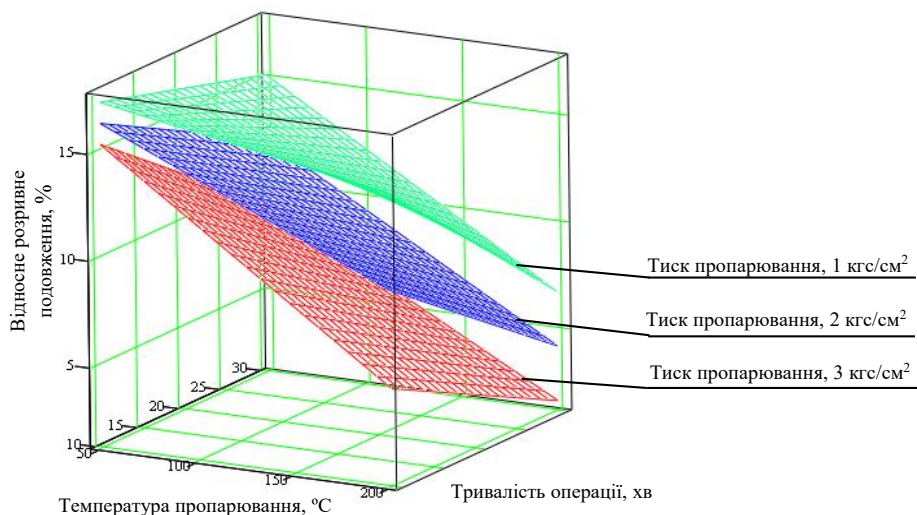
З метою перевірки зв'язку окреслених режимів пропарювання (рис. 3) з експериментально визначеними механічними, геометричними та фізичними властивостями конопляного кotonіну (табл. 5), що впливають на його прядильні властивості та являються чинниками формування якісних характеристик тканини, придатної для виготовлення потенційних взутиєвих виробів було проведено додатково дослідження методом трифакторного математичного планування експерименту.

Для вирішення поставленої задачі використано експериментальні дані досліджень режимів пропарювання (рис. 4) та їх вплив на розривне навантаження кotonізованого волокна, відносне розривне подовження, лінійну густина та фактичну вологість.

З метою дослідження впливу режимів пропарювання, а саме тиску, температури та часу на фізико-механічні властивості кotonізованого волокна використовували метод багатофакторного математичного планування експерименту. Згідно з даною методикою було проведено розрахунки із застосуванням програмного продукту MathCAD 14, побудовано матриці планування експерименту, поверхні відгуку кодованих і натуральних факторів, складено регресійні рівняння й визначено критерії Кохрена та Стюдента для кожної якісної характеристики. Під час математичного моделювання впливу режимів пропарювання на фізико-механічні характеристики конопляного волокна одержано регресійні трифакторні математичні моделі залежності вихідної характеристики – розривного навантаження кotonізованого волокна, відносного розривного подовження, лінійної густини та фактичної вологісті. Так, отримані рівняння регресії функції  $y = f(x_1, x_2, x_3)$ , де  $y$  – функція відгуку. У нашому випадку  $y_1$  – розривне навантаження кotonізованого волокна,  $y_2$  – відносне розривне подовження,  $y_3$  – лінійна густина та  $y_4$  – фактична вологість, а  $x_1$  – тиск,  $x_2$  – температура,  $x_3$  – тривалість операції.

У результаті проведеного математичного планування отримані рівняння регресії для кotonізованого волокна (1) та побудовано поверхні відгуку, графічну інтерпретацію якої представлено в натуральних факторах на рис. 4.

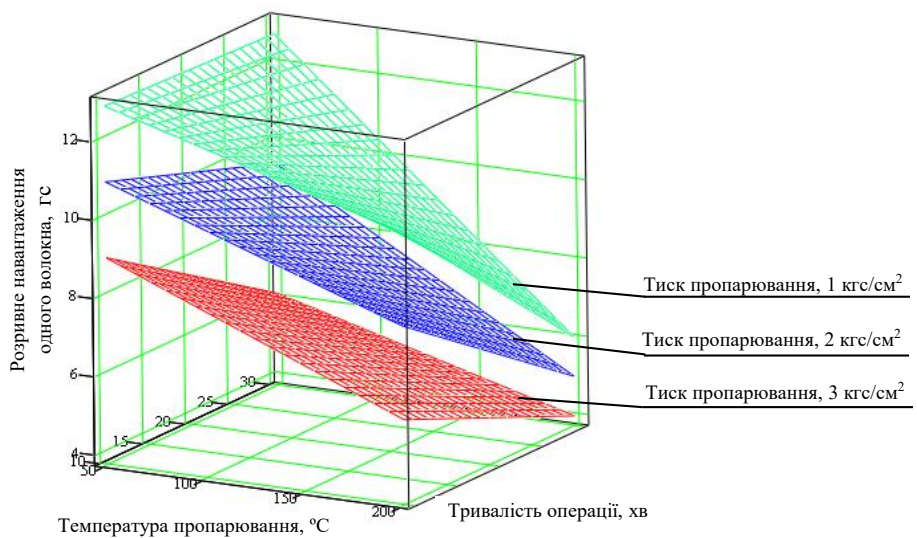
$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 0,0125x_2 - 0,6417x_1 + 0,1808x_3 - 0,01217x_1x_2 - 0,1146x_1x_3 - 0,0025x_2x_3 + 0,0010x_1x_2x_3 + 13,6 \quad (1)$$



**Рис. 4. Вплив режимів пропарювання на розривне навантаження котонізованого волокна**

За підсумками проведеного математичного планування отримані рівняння регресії для котонізованого волокна (2) та побудовано поверхні відгуку, графічну інтерпретацію в натуральних факторах, якої представлено на рис. 5.

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 1,9x_1 + 0,0412x_2 + 0,1533x_3 - 0,0375x_1x_2 - 0,1688x_1x_3 - 0,0033x_2x_3 + 0,0014x_1x_2x_3 + 16,4417 \tag{2}$$



**Рис. 5. Вплив режимів пропарювання на відносне розривне подовження котонізованого волокна**

У результаті проведеного математичного планування отримані рівняння регресії для котонізованого волокна (3) та побудовано поверхні відгуку в натуральних факторах, графічну інтерпретацію якої представлено на рис. 6.

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 0,3125x_1 + 0,0028x_2 + 0,0417x_3 - 0,0313x_1x_3 - 0,0005x_2x_3 + 6,0833 \tag{3}$$

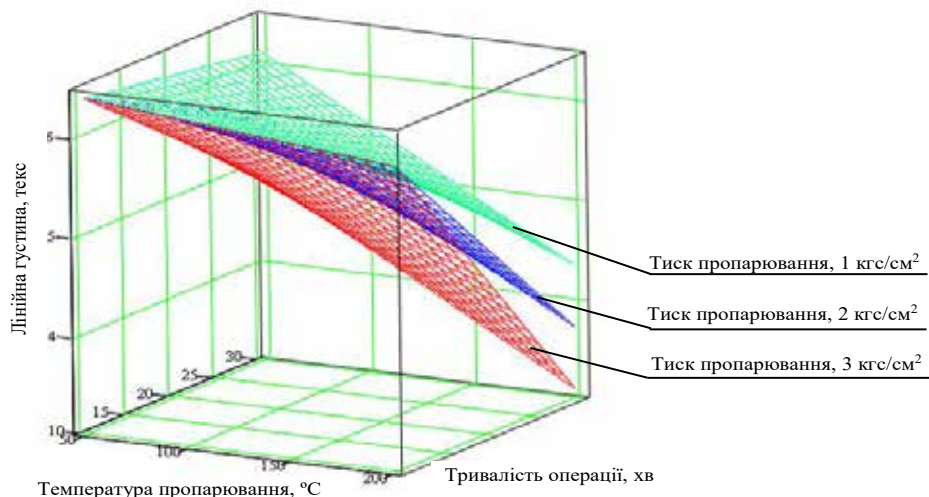


Рис. 6. Вплив режимів пропарювання на лінійну гуστину котонізованого волокна

У результаті проведеного математичного планування отримані рівняння регресії для котонізованого волокна (4) та побудовано поверхні відгуку в натуральних факторах, графічну інтерпретацію якої представлено на рис. 7.

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 18,6250 - 1,1875x_1 - 0,0225x_2 - 0,0250x_3 - 0,0013x_2x_3 \tag{4}$$

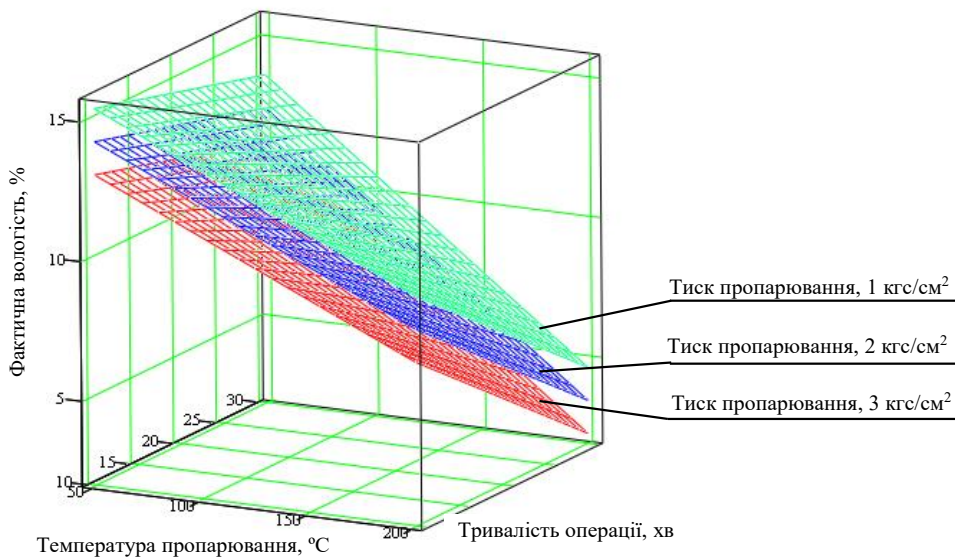


Рис. 7. Вплив режимів пропарювання на фактичну вологість котонізованого волокна

Аналіз результатів досліджень, а саме отриманих регресійних рівнянь і поверхонь відгуків виявив, що найбільш вагомими чинниками впливу на формування досліджуваних властивостей котонізованого волокна в режимах пропарювання є тиск та температура пропарювання, що й виявлено під час експериментальних та теоретичних досліджень.

**Висновки**

У результаті проведених досліджень встановлено, що за рахунок пропарювання конопляного котоніну механічного способу модифікації при певних режимах можливо забезпечити зменшення розривного подовження, що дасть можливість покращити формостійкість майбутніх взуттєвих товарів під час їх експлуатації. Таким чином, можна зробити висновок, що використання в легкій промисловості України високоякісного конопляного котоніну може сприяти виходу вітчизняної економіки із кризового стану. Створення власної сировинної бази дозволить підприємствам галузі виготовляти конкурентоспроможні текстильні та взуттєві товари.

## Список використаної літератури

1. Бойко Г.А., Мандра О.М., Тіхосова А.О. Унікальні споживні властивості технічних конопель. The 6th International scientific and practical conference "Dynamics of the development of world science" (February 19-21, 2020) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2020. P. 382-386.
2. Жалдак, М. П. & Мокроусова, О. Р. Стан ринку дитячого взуття та натуральних шкір для його виготовлення. Перспективні матеріали та інноваційні технології: біотехнологія, прикладна хімія та екологія : колективна монографія, 2020, С. 441-458.
3. Байдакова І. М. Методи оцінки якості взуття і шкір для верху взуття. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2009, № 2, С. 134-137.
4. Коновал В. П., Свістунова Л. Т., Олійникова В. В. Технологія взуттєвого виробництва: підручник. Київ : Либідь, 2003. 366 с.
5. Бойко Г. Донцова В. Формування властивостей волокон технічних конопель. Технічні культури для цілей сталого розвитку: пріоритетні напрями наукових досліджень в умовах сучасних викликів і загроз, матеріали між-нар. наук.-практ. конф. (м. Глухів, 22-23 бер. 2023 р.). Глухів: ІЛК НААН. С. 67-69.
6. Бойко Г.А., Головенко Т.М. Вплив технологій збирання на якісні показники луб'яних культур. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: International research and practice conference. (27-28 December 2017). Poland. 2017. P. 174-178.
7. ДСТУ ГОСТ 3274.5:2009 (ИСО 4913-81) Волокно бавовняне. Методи визначення довжини. Київ : Держ-стандарт України, 2009. 25 с.
8. João P. Manaia, Ana T. Manaia, Lúcia Rodrigues. *Industrial Hemp Fibers: An Overview*, 2019, *Fibers*, 7(12), 106, P. 111-113.
9. Пилипчук В. О., Ковальова Н. О. Технологія прядіння та виробництва пряжі, Київ: УНТІ, 2015, с. 320.
10. Гордійчук А. І., Власенко В. М. Коноплі: використання та обробка: Київ: Наукова думка, 2015, с. 180.
11. Смирнов В.А. Технологія текстильного виробництва. *Текстильна промисловість*, 2008, с. 45-120.

## References

1. Boyko G.A., Mandra O.M., Tikhosova A.O. (2020) Unikalni spozhivni vlastivosti tehnicnih konopel [Unique consumer properties of technical hemp]. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference "Dynamics of the development of world science" (Vancouver, Canada, February 19-21, 2020), Canada: Perfect Publishing, pp. 382-386.
2. Zhaldak, M. P., Mokrousova, O. R. (2020) Stan rinku dityachogo vzuttya ta naturalnih shkir dlya jogo vigotovlennya [State of the market for children's shoes and natural leather for their manufacture]. *Perspektivni materialy ta innovacijni tehnologiji: biotekhnologiya, prikladna himiya ta ekologiya: kolektivna monografiya* [Promising materials and innovative technologies: biotechnology, applied chemistry and ecology: collective monograph], 2020, pp. 441-458.
3. Baidakova I. M. (2009) Metodi ocinki yakosti vzuttya i shkir dlya verhu vzuttya [Methods for assessing the quality of shoes and leather for shoe uppers]. *Measuring and computing technology in technological processes*. 2009, no. 2, pp. 134-137.
4. Konoval V. P., Svistunova L. T., Oliynykova V. V. (2003) *Tekhnologiya vzuttyevogo virobnictva* [Shoe production technology]. Kyiv: Lybid, 2003, p. 366.
5. Boyko G. Dontsova V. (2023) Formuvannya vlastivostej volokon tehnicnih konopel [Formation of properties of technical hemp fibers]. Proceedings of the international scientific and practical conference *Technical crops for sustainable development: priority areas of scientific research in the context of modern challenges and threats* (Hlukhiv, March 22-23, 2023). Hlukhiv: ILK NAAS, pp. 67-69.
6. Boyko G. A., Golovenko T. M. (2017) Vpliv tehnologij zbirannya na yakisni pokazniki lub'yanich kultur [The influence of harvesting technologies on the qualitative indicators of bast crops]. Proceedings of the *International research and practice conference. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences* (Poland, December 27-28, 2017). Poland, pp. 174-178.
7. DSTU GOST 3274.5:2009 (ISO 4913-81) (2009) Volokno bavovnyane. Metodi viznachennya dovzhini. [Cotton fiber. Methods for determining length]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 25 p.
8. João P. Manaia, Ana T. Manaia, Lúcia Rodrigues (2019) *Industrial Hemp Fibers* [Industrial Hemp Fibers] *An Overview*, vol. 7(12), no. 106, pp.111-113.
9. Pylypchuk V. O., Kovaleva N. O. (2015) *Tekhnologiya pryadinnya ta virobnictva pryazhi* [Technology of spinning and yarn production], Kyiv: UNTI, p. 320.
10. Gordiychuk A. I., Vlasenko V. M. (2015) *Konopli: vikoristannya ta obrobka* [Hemp: use and processing], Kyiv: Naukova Dumka, p. 180.
11. Smirnov V. A. (2008) *Tekhnologiya tekstilnogo virobnictva* [Technology of textile production]. *Textile industry*, pp. 45-120.

В. В. ЄВТУШЕНКО

доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8720-5804

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ФАЛЬСИФІКАЦІЯ РИСОВИХ КРУП, ЯКІ РЕАЛІЗУЮТЬСЯ У РОЗДРІБНІЙ ТОРГОВЕЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

*Серед багатьох проблем, які виникають під час торгівлі харчовими продуктами, їх ідентифікація та фальсифікація є найбільш актуальною та багатогранною. Відсутність чітких оціночних критеріїв і найчастіше методологічних баз, економічні умови, які склалися та технології, які активно розвиваються – все це та багато іншого сприяє ускладненню процесу ідентифікації. Цьому також сприяє збільшення випадків фальсифікації, які є, по суті, одним із двох можливих результатів ідентифікації. Тому виявленню фальсифікації слід приділяти особливу увагу як одному із пріоритетних напрямів забезпечення якості та безпеки харчових продуктів. Зважаючи на велику кількість інформації щодо продажу на прилавках наших магазинів фальсифікованої рисової крупи було проведено дослідження щодо виявлення такої продукції. За результатами аналізу ідентифікаційних ознак рисових круп, які реалізуються у роздрібній торговельній мережі встановлено, що всі досліджувані зразки відповідають ідентифікаційним ознакам щодо даного виду товару, оскільки результати ідентифікації за органолептичними та фізико-хімічними характеристиками засвідчили, що їх можна віднести до групи «рис довгозернистий шліфований». Щодо аналізу рисових круп за критеріями ознак інформаційної, асортиментної, кількісної та якісної фальсифікації всі зразки торговельних марок, які було обрано для проведення дослідження, відповідали встановленим вимогам, окрім однієї, у якій виявлено наявність ознак фальсифікації якості та кількості, а також інформаційної фальсифікації, тому даний зразок крупи можна вважати фальсифікованим. За підсумками проведених досліджень запропоновано шляхи, які зможуть унеможливити фальсифікацію харчових продуктів на вітчизняному споживчому ринку.*

**Ключові слова:** ідентифікація, фальсифікація, ознаки, рисова крупа, торговельна марка.

V. V. YEVTUSHENKO

Associate Professor at the Department of Commodity Science,  
Standardization and Certification  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8720-5804

## IDENTIFICATION AND COUNTERFEITATION OF RICE GRAINS SOLD IN THE RETAIL TRADE NETWORK

*Among the many problems that arise during food trade, their identification and adulteration are the most urgent and multifaceted. The lack of clear evaluation criteria and most often methodological bases, economic conditions that have developed and technologies that are actively developing – all this and much more contribute to the complexity of the identification process. This also increases the incidence of forgery, which is essentially one of two possible outcomes of identification. Therefore, detection of adulteration should be given special attention as one of the priority areas of ensuring the quality and safety of food products. Considering the large amount of information regarding the sale of counterfeit rice cereal on the counters of our stores, a study was conducted to identify such products. According to the results of the analysis of the identification features of rice grains sold in the retail trade network, it was established that all the studied samples correspond to the identification features of this type of product, since the results of the identification based on organoleptic and physicochemical characteristics proved that they can be attributed to the group "long-grain polished rice". Regarding the analysis of rice grains according to the criteria of signs of informational, assortment, quantitative and qualitative falsification, all samples of trademarks that were chosen for the study met the established requirements, except for one, which was found to have signs of falsification of quality and quantity, as well as informational falsification, therefore this cereal sample can be considered falsified. Based on the results of the research, ways were proposed that would make it impossible to falsify food products on the domestic consumer market.*

**Key words:** identification, falsification, signs, rice cereal, trademark.

### Постановка проблеми

Серед багатьох проблем, які виникають під час торгівлі харчовими продуктами, їх ідентифікація та фальсифікація є найбільш актуальною та багатогранною.

Відсутність чітких оціночних критеріїв і найчастіше методологічних баз, економічні умови, які склалися та технології, які активно розвиваються – все це та багато іншого сприяє ускладненню процесу ідентифікації.

Цьому також сприяє збільшення випадків фальсифікації, які є, по суті, одним із двох можливих результатів ідентифікації. Тому виявленню фальсифікації слід приділяти особливу увагу як одному із пріоритетних напрямів забезпечення якості та безпеки харчових продуктів.

Рис є однією із зернових культур, споживання якої у світі в сезоні 2024/2025 років зростає на 1,2% порівняно з минулим роком до абсолютного рекордного рівня 531,5 млн. т [1]. Основними країнами виробництва та споживання рису є Китай та Індія. Україна імпортує рис для задоволення потреб внутрішнього ринку, оскільки не має власного достатнього виробництва.

Зважаючи на велику кількість інформації щодо продажу на прилавках наших магазинів фальсифікованої рисової крупи [2, 3] було проведено дослідження щодо виявлення такої продукції.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемами фальсифікації харчових продуктів займалися ряд вчених [4–7]. Однак, у сучасних умовах дана проблема лише загострюється та потребує подальшого ретельного аналізу умов її виникнення та розробки пропозицій щодо недопущення проникнення на ринок фальсифікованої продукції.

#### Формулювання мети дослідження

Провести аналіз ідентифікаційних ознак та ознак фальсифікації рисових круп, які реалізуються у роздрібній торговельній мережі й окреслити шляхи, які зможуть унеможливити фальсифікацію харчових продуктів на вітчизняному споживчому ринку.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Якість товарів є однією з основоположних характеристик, що надають вирішальний вплив на створення споживчих переваг і формування конкурентоспроможності. Під якістю харчових продуктів розуміють сукупність властивостей, що відображають здатність продукту забезпечувати органолептичні характеристики, потреба організму в харчових речовинах, безпеку його для здоров'я, надійність при виготовленні та зберіганні.

Результати визначення ідентифікаційних ознак досліджуваних зразків рису торговельних марок, обраних для дослідження: «Аттуаль», «Хуторок», «Жменька», «Терра» та «Українська зірка» представлено в табл. 1. Для дослідження показників довжини зерен, товщини, відношення довжини до ширини та розмірних характеристик після кулінарної обробки брали 20 зернин кожного виду продукції. Інші характеристики (зовнішній вигляд, збільшення обсягу після варіння, текстура, смак та аромат) визначали у середній пробі масою 25 г.

Таблиця 1

Ідентифікаційні ознаки досліджуваних зразків крупи рисової

Назва показника	Торговельна марка рисової крупи				
	«Аттуаль»	«Хуторок»	«Жменька»	«Терра»	«Українська зірка»
Зовнішній вигляд зерна	Напівпрозорий, кремово-білий	Напівпрозорий, кремово-білий	Напівпрозорий, білий	Напівпрозорий, кремово-білий	Напівпрозорий, білий
Довжина зерна, мм	6,2	6,5	7,0	6,1	6,0
Товщина зерна, мм	2,4	2,5	2,8	2,3	2,3
Відношення довжини до ширини	2,58	2,60	2,50	2,65	2,61
Збільшення обсягу при варінні, рази	4,5	5,0	6,3	4,8	4,1
Збільшення довжини зерна після варіння, мм/рази	9,6 / 1,54	10,4 / 1,6	11,3 / 1,61	9,7 / 1,59	10,9 / 1,82
Товщина звареного зерна	2,9	2,8	3,1	2,9	3,0
Текстура вареного зерна	Щільна, без розривів, не липка	Щільна і ніжна, не липка	Щільна без розривів	Ніжна, без розривів, не липка	Ніжна, без розривів
Колір	Яскраво-білий	Білий	Яскраво-білий	Білий	Білий
Аромат	Виражений	Виражений	Виражений	Виражений	Виражений
Смак	Присмний	Властивий	Присмний	Властивий	Властивий

Наведені у табл. 1 дані свідчать, що більшість ідентифікаційних ознак досліджуваних зразків рисової крупи співпадають з мінімальними характеристиками для довго зернистого рису – незначні невідповідності критеріям визначено лише за показником товщини звареного зерна (перевищення на 0,1 мм) у рису ТМ «Жменька» та низьке значення показника відношення довжини зерна рису до товщини у продукції ТМ «Українська зірка». Тож, за основними ідентифікаційними ознаками всі досліджувані зразки рису можна віднести до довго зернистого. За характеристикою зовнішнього вигляду та кольору зерна як у вигляді крупи, так і після кулінарної обробки продукцію можна ідентифікувати як рис шліфований.

Тож, для визначення наявності ознак різних видів фальсифікації рисової крупи нами було досліджено наступні характеристики:

- ознаки інформаційної фальсифікації – перевірка правильності та повноти нанесеної інформації на пакуванні досліджуваних зразків;
- ознаки асортиментної фальсифікації – визначення наявності та кількості ламаних зерен у пакуванні та зерен, що відрізняються за формою та розміром (заміна довго зернистого рису круглим або середнім);
- кількісна фальсифікація – перевірка маси нетто продукції та визначення допустимих відхилень по масі;
- якісна фальсифікація – визначали вміст доброякісного зерна (наявність та кількісний вміст поживних ядер рису, ядер з червоними смужками, крейдяних ядер, пошкоджених ядер рису, нелущені зерна рису), наявність сміттєвих та металомагнітних домішок. Результати визначення представлено в табл. 2.

Таблиця 2

## Визначення ознак фальсифікації досліджуваних зразків рисової крупи

Назва характеристики	Торговельна марка рисової крупи				
	«Аттуаль»	«Хуторок»	«Жменька»	«Терра»	«Українська зірка»
Критерії інформаційної фальсифікації					
Повнота маркувальної інформації	+	+	+	+	–
Критерії асортиментної фальсифікації					
Кількість ламаних зерен рису, %	3	3	4	2	7
Вміст ядер встановленого відношення довжини ядра до його ширини для довго зернистого рису, %	93	95	96	96	92
Критерії кількісної фальсифікації					
Відхилення маси нетто, г	10	15	14	12	23
Критерії фальсифікації якості					
Вміст доброякісного зерна, %	99,8	100,0	99,9	99,8	99,2
Кількість сміттєвих домішок, %	0,2	Не виявлено	0,1	0,2	0,8
Металомагнітні домішки, %	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

За результатами аналізу характеристики, наведених в таблиці 2 можна відзначити:

– у жодного із досліджуваних зразків рису не визначено ознак асортиментної фальсифікації – вміст ядер встановленого відношення довжини ядра до його ширини для довго зернистого рису у всіх п'яти торгових марках 49 перевищував 90%, а максимальну кількість ламаних зерен визначено для рису ТМ «Українська зірка» – 7%, що не перевищує допустимі межі у 10%;

– чотири із п'яти досліджуваних зразків крупи рисової не мали ознак інформаційної фальсифікації – була нанесена вся необхідна маркувальна інформація і тільки для продукції ТМ «Українська зірка» не було нанесено спосіб приготування, що входить до переліку обов'язкової маркувальної інформації для крупів;

– у більшості зразків, за виключенням крупи рисової ТМ «Українська зірка» не виявлено також кількісної фальсифікації – відхилення маси нетто продукції коливалось від 10 до 15 г, при допустимих мінусових відхиленнях для пакування масою від 500 до 1000 г – 15 г. Перевищення допустимих відхилень маси нетто визначено лише для одного із зразків рису ТМ «Українська зірка» – 23 грами, що майже в 1,5 рази перевищує допустимі значення;

– за результатами оцінки ознак фальсифікації якості визначено, що продукція торговельних марок «Аттуаль», «Жменька», «Хуторок» та «Терра» за показниками доброякісності зерна та наявності домішок можна віднести до продукції вищої категорії якості, що і позначено на маркуванні цих зразків – вміст доброякісного зерна не був нижче 99,8%.

Продукцію торгової марки «Українська зірка» за даними характеристиками можна вважати такою, що відповідає встановленим вимогам національного стандарту для рису другого сорту, але на споживчому маркуванні вказана інша категорія якості – «вищий сорт», тому, для даного зразка рисової крупи можна засвідчити наявність і фальсифікації якості, а також інформаційної фальсифікації.

## Висновки

За узагальненими результатами проведеного дослідження щодо ідентифікації за органолептичними та фізико-хімічними характеристиками всі досліджувані зразки можна віднести до групи «рис довго зернистий шліфований». При виявленні ознак фальсифікації продукції визначено, що рис торгових марок «Аттуаль», «Жменька», «Хуторок» та «Терра» не мав жодних ознак фальсифікації, а продукцію ТМ «Українська зірка» можна вважати фальсифікованою, оскільки визначені показники свідчать про наявність інформаційної, кількісної та якісної фальсифікації крупи рисової даного виробника.

До профілактичних адміністративних заходів запобігання фальсифікації продукції належить створення органів незалежної експертизи, що дозволить проводити ідентифікацію товарів завжди, коли у покупця товару з'являється сумнів у його асортиментній належності та якості. Необхідність у цьому виникає у працівників торговельних організацій при надходженні товарів, фальсифікацію яких знайти доступними в торгівлі методами неможливо або важко. Відомі випадки, коли ці сумніви виникають і за наявності всіх необхідних документів. Розробка і використання законодавчих актів належать до заходів попередження і покарання. Закони, що безпосередньо регламентують правове ставлення до фальсифікації товарів, у нашій країні практично відсутні. Але в Україні є ряд Законів («Про захист прав споживачів», «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», «Про рекламу»), на основі яких фальсифікатори, що реалізують небезпечні товари і надають про них недостовірну інформацію, можуть бути притягнуті до відповідальності.

#### Список використаної літератури

1. Споживання рису у світі в 2024/2025 може зрости до рекордних 531,5 млн тон. *Агроном Expert*. URL: <https://agronome.info/info/news/cat12/1031/> (дата звернення: 30.11.2024).
2. Самарук Т. Виникає алергія та проблеми зі шлунком: як відрізнити справжній рис від шкідливої підробки. РБК-Україна. URL: <https://www.rbc.ua/rus/stylar/nutritsiolog-rozpovila-k-legko-vidrizniti-1679483815.html> (дата звернення: 30.12.2024).
3. Як відрізнити справжній рис від підробки | LIGHT. LIGHT – сайт для яскравих людей. URL: <https://lt.ogo.ua/news/yak-vidriznyty-spravzhnij-rys-vid-pidrobky/> (дата звернення: 30.11.2024).
4. Lialiuk A. Проблеми фальсифікації харчових продуктів та шляхи її подолання. *Economic journal of Lesia Ukrainka Eastern European National University*. 2020. Т. 1, № 21. С. 108–116. URL: <https://doi.org/10.29038/2411-4014-2020-01-108-116> (дата звернення: 01.12.2024).
5. Прытульська Н.В. Ідентифікація продовольчих товарів: теорія і практика: монографія. К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2007. 193 с.
6. Дубініна А.А. Методи визначення фальсифікації товарів. Х.: Центр навчальної літератури, 2017. 272 с.
7. Liapun N., Kovalenko N. Identification of goods and determination of counterfeit production during trial commodity examination. *Young Scientist*. 2020. Vol. 8, no. 84. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-8-84-48> (date of access: 30.11.2024).

#### References

1. Rice consumption in the world in 2024/2025 may increase to a record 531.5 million tons. (b. d.-c). *Agronomist Expert*. <https://agronome.info/info/news/cat12/1031/>
2. Samaruk, T. (2023b, March 22). Allergies and stomach problems arise: how to distinguish real rice from a harmful fake. RBC-Ukraine. <https://www.rbc.ua/rus/stylar/nutritsiolog-rozpovila-k-legko-vidrizniti-1679483815.html>
3. How to distinguish real rice from a fake LIGHT. (b. d.-b). LIGHT – a site for bright people. <https://lt.ogo.ua/news/yak-vidriznyty-spravzhnij-rys-vid-pidrobky/>
4. Lialiuk, A. (2020c). PROBLEMS OF COUNTERFEITATION OF FOOD PRODUCTS AND WAYS TO OVERCOME THEM. *Economic journal of Lesia Ukrainka Eastern European National University*, 1(21), 108–116. <https://doi.org/10.29038/2411-4014-2020-01-108-116>
5. Prytulska, N. (2007). Identification of food products: theory and practice. Kyiv. national trade and economy Univ.
6. Dubinina, A. (2017). Methods of determining the counterfeiting of goods. Center for educational literature.
7. Liapun, N., & Kovalenko, N. (2020b). IDENTIFICATION OF GOODS AND DETERMINATION OF COUNTERFEIT PRODUCTION DURING TRIAL COMMODITY EXAMINATION. *Young Scientist*, 8(84). <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-8-84-48>



**М. Л. РЯБЧИКОВ**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри технологій легкої промисловості  
Луцький національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-9382-7562

**В. В. МИЦА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технологій і конструювання швейних виробів  
Хмельницький національний університет  
ORCID: 0000-0002-5453-9787

## МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЇ ЦИФРОВІЗАЦІЇ В ІНДУСТРІЇ МОДИ

*У статті розглянуто теоретичні та практичні аспекти цифровізації індустрії моди, а також представлено комплексну модель цифровізації процесів створення, виробництва та реалізації одягу. Проведений аналіз останніх досліджень демонструє активний розвиток цифрових технологій у модній індустрії, включаючи використання автоматизованих систем проектування, 3D-сканування, кастомізації та штучного інтелекту. Підкреслена актуальність інтеграції цифрових інструментів для створення замкнених алгоритмів зі зворотними зв'язками, які дозволяють оптимізувати усі етапи життєвого циклу продукту – від проектування до реалізації.*

*Модель, представлена в статті, охоплює ключові аспекти цифровізації: цифровий дизайн одягу, конструювання, виробничі процеси, контроль якості, логістику та методи реалізації продукції. Особлива увага приділяється впровадженню штучного інтелекту, що дозволяє аналізувати антропометричні дані, автоматизувати побудову конструкцій, враховувати індивідуальні потреби споживачів та створювати високоякісні кастомізовані вироби. Використання тривимірного сканування та технологій доповненої реальності сприяє вдосконаленню процесів візуалізації й проектування, що значно скорочує час і витрати на розробку продукції.*

*Запропонована модель враховує етапи від збору первинних даних до реалізації одягу на ринку. Наукова новизна роботи полягає у розробці інтегрованої цифрової платформи, яка враховує специфіку сучасних вимог до функціональності, екологічності та персоналізації модної продукції. Такий підхід дозволяє не лише підвищити ефективність виробничих процесів, але й стимулює розвиток інновацій у сфері моди.*

*Практичне значення дослідження полягає у можливості впровадження запропонованої моделі на підприємствах модної індустрії для оптимізації процесів управління та виробництва. Це дозволить мінімізувати виробничі витрати, скоротити час розробки нових моделей, підвищити якість продукції та забезпечити персоналізацію відповідно до запитів споживачів. Крім того, така модель сприятиме гнучкому реагуванню на змінні тенденції ринку і впровадженню інновацій, зокрема в напрямках сталого розвитку та замкнених циклів виробництва.*

**Ключові слова:** цифрові технології, кастомізація одягу, візуалізація, прототипування, штучний інтелект.

**M. L. RIABCHUKOV**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Consumer Industry Technology  
Lutsk National Technical University  
ORCID: 0000-0002-9382-7562

**V. V. MYTSA**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Garment Technology and Design  
Khmelnitskyi National University  
ORCID: 0000-0002-5453-9787

## A MODEL OF COMPREHENSIVE DIGITALISATION IN THE FASHION INDUSTRY

*The article examines the theoretical and practical aspects of digitalization of the fashion industry, and also presents a comprehensive model of digitalization of the processes of creation, production and sale of clothing. The analysis of recent research demonstrates the active development of digital technologies in the fashion industry, including the use of automated design systems, 3D scanning, customization and artificial intelligence. The relevance of integrating digital tools for creating closed-loop algorithms with feedback loops that allow optimizing all stages of the product life cycle – from design to implementation is emphasized. The model presented in the article covers key aspects of digitalization: digital clothing design, construction, production processes, quality control, logistics and product sales methods. Special*

attention is paid to the implementation of artificial intelligence, which allows analyzing anthropometric data, automating the construction of structures, taking into account individual consumer needs and creating high-quality customized products. The use of three-dimensional scanning and augmented reality technologies contributes to the improvement of visualization and design processes, which significantly reduces the time and costs of product development.

The proposed model takes into account the stages from the collection of primary data to the sale of clothing on the market. The scientific novelty of the work lies in the development of an integrated digital platform that takes into account the specifics of modern requirements for functionality, environmental friendliness and personalization of fashion products. This approach allows not only to increase the efficiency of production processes, but also stimulates the development of innovations in the field of fashion.

The practical significance of the study lies in the possibility of implementing the proposed model at enterprises of the fashion industry to optimize management and production processes. This will minimize production costs, reduce the time for developing new models, improve product quality and ensure personalization in accordance with consumer requests. In addition, such a model will contribute to a flexible response to changing market trends and the introduction of innovations, in particular in the areas of sustainable development and closed production cycles.

**Key words:** digital technologies, clothing customization, visualization, prototyping, artificial intelligence.

### Постановка проблеми

Цифровізація та комп'ютеризація охоплюють усі сфери людської діяльності, активно змінюючи їхній формат та ефективність. Індустрія моди не є винятком: процеси проектування та виробництва одягу значною мірою вже зазнали впливу цифрових технологій. Зокрема, на етапі конструювання широко використовуються системи автоматизованого проектування (САПР), які дозволяють суттєво скоротити час розробки та знизити ймовірність помилок. Цифрові інструменти також успішно застосовуються у підготовці виробництва, контролі технологічних процесів і оптимізації ресурсів.

Сучасні системи тривимірного проектування та візуалізації одягу відкривають нові можливості для створення дизайн-проектів колекцій із високим рівнем деталізації. Напрацювання у сфері кастомізації демонструють потенціал використання цифрових технологій для задоволення індивідуальних потреб споживачів. Формування бази антропометричних даних за допомогою 3D-сканування забезпечує точність конструкції виробів, а 3D-візуалізація дозволяє клієнтам отримати уявлення про кінцевий вигляд продукту ще до його виготовлення.

Однак цифровізація в індустрії моди часто здійснюється фрагментарно: окремі етапи проектування, виробництва та реалізації розвиваються без інтеграції в єдиний комплекс. Це призводить до втрати потенційної ефективності, обмежує можливості адаптації до сучасних ринкових вимог і сповільнює впровадження інновацій.

Розробка комплексної моделі цифровізації, яка охоплює всі етапи життєвого циклу виробу – від проектування та виробництва до реалізації і зворотного зв'язку з кінцевим споживачем – є актуальним і перспективним завданням. Така модель дозволить інтегрувати сучасні технології, оптимізувати процеси, забезпечити кастомізацію продукції, підвищити конкурентоспроможність і стійкість індустрії моди в умовах динамічних змін.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значна кількість сучасних досліджень присвячена цифровізації модної індустрії, що охоплює різні аспекти проектування, виробництва, реалізації та споживання одягу. Зокрема, у роботі [1] розглядаються проблеми визначення точних антропометричних параметрів за допомогою технологій 3D-сканування, що є важливим для персоналізації одягу та підвищення його ергономічності. Дослідження [2] присвячене розробці підходів до створення модного образу за допомогою цифрових тривимірних технологій, які дозволяють широко застосовувати цифровий одяг при онлайн-комунікації. У процесі проектування одягу необхідно враховувати досягнення у сфері смарт-технологій, які інтегрують у вироби елементи електроніки, функціональні тканини або інтелектуальні системи моніторингу [3]. Стаття [4] аналізує сучасні методи створення конструкцій одягу за допомогою сучасних САПР та визначає їхню ефективність у прискоренні проектних процесів і зниженні витрат.

Окремі дослідження присвячені використанню цифрових технологій у технологічних процесах виготовлення одягу, що включають автоматизацію виробничих операцій [5] і контроль якості готової продукції [6]. Робота [7] розглядає логістичні підходи до управління ланцюгами постачання одягу, зокрема цифрові методи планування і доставки. Останнім часом зростає інтерес до цифрових методів у сфері постачання та реалізації продукції модної індустрії. Дослідження [8] аналізує особливості інтернет-торгівлі, тоді як у роботі [9] акцентується увага на процесах кастомізації одягу за участі споживачів, що забезпечує персоналізацію виробів відповідно до їхніх потреб і вподобань.

Окрім того, активно досліджуються можливості впровадження систем штучного інтелекту (ШІ) в модну індустрію. У ряді наукових досліджень розглядаються методи використання ШІ для створення сучасних колекцій одягу [10], аналізу трендів [11], прогнозування споживчого попиту [12] та оптимізації виробничих процесів [13].

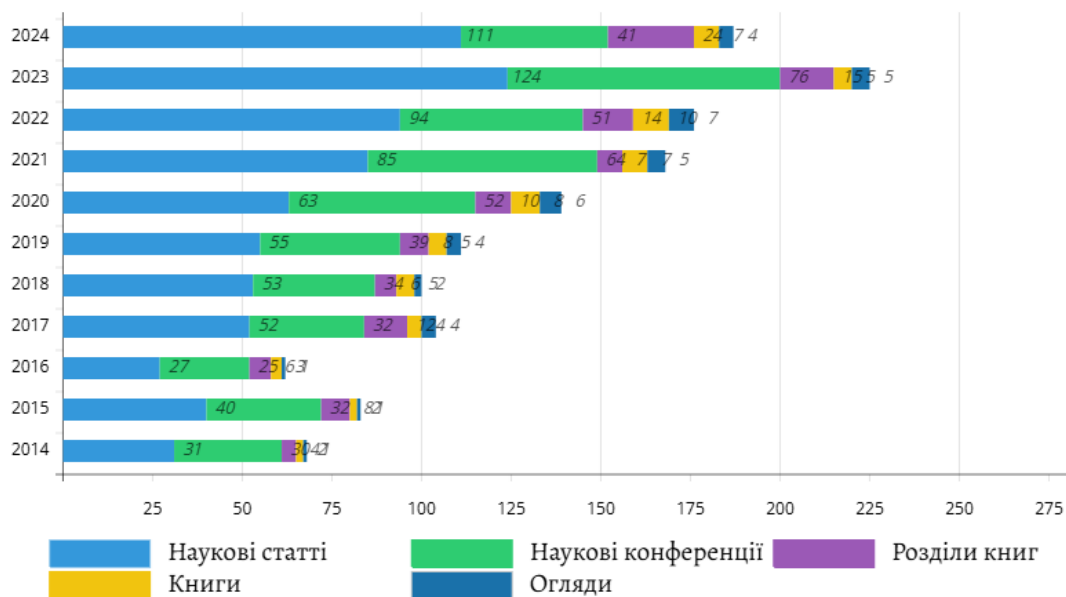
Варто зазначити, що попри значний прогрес у цифровізації окремих аспектів модної індустрії, існує потреба в інтегрованих підходах, які забезпечать комплексну цифровізацію всіх етапів життєвого циклу модного продукту.

**Формулювання мети статті**

Метою даної статті є розробка комплексної моделі цифровізації процесів створення та реалізації модного продукту на основі аналізу ключових напрямів цифровізації, їх структури та взаємодії з урахуванням сучасних тенденцій в галузі конструювання, проектування, технології виробництва, логістики та реалізації.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

З кожним роком дослідження в галузі цифрової моди набувають все більшої популярності, що свідчить про актуальність цієї тематики у глобальному науковому просторі. Це обумовлено стрімким розвитком цифрових технологій, які трансформують процеси створення, виробництва та реалізації модного продукту, а також появою нових концепцій, таких як віртуальна мода, цифрові колекції та кастомізовані рішення для споживачів. Графік, представлений на рис. 1 ілюструє динаміку зростання кількості закордонних наукових публікацій за ключовим запитом «Digital fashion design» у базах даних наукових статей за останніх десять років. З урахуванням поточних тенденцій, очікується подальше збільшення публікацій у 2024 році. Такий тренд вказує на те, що цифрова мода стає важливим напрямом досліджень, як у контексті теоретичних розробок, так і практичного впровадження в індустрію моди.



**Рис. 1. Динаміка зростання наукових публікацій за ключовим запитом «Digital fashion design»**

Сучасна модна індустрія зазнає значних змін завдяки цифровізації та впровадженню штучного інтелекту. Ці технології відкривають нові можливості для дизайнерів, виробників і споживачів, змінюючи традиційні бізнес-моделі та покращуючи ефективність усіх етапів виробництва [14].

На поточному етапі розвитку індустрії моди науковці виділяють кілька основних тенденцій, що визначають інноваційні підходи до створення модного продукту. Ці тенденції формують базу для побудови моделі комплексної цифровізації індустрії моди (рис. 2).

При сучасному наскрізному цифровому процесі виготовлення одягу від концепції до створення готового продукту доцільно виділити ряд етапів.

- Створення 2D-легал з можливістю імпортування та конвертації. Цифрові платформи дозволяють легко імпортувати та конвертувати наявні 2D-лекала з різних форматів, що спрощує інтеграцію існуючих дизайнів у нові колекції;
- Створення 3D-прототипів, що дозволяє візуалізувати зовнішній вигляд, членування, посадку виробу на фігурі, масштабувати його, а також створювати текстури матеріалів;
- Відтворення (рендеринг). Використання потужних інструментів рендерингу, таких як Marvelous Designer або Blender, дозволяє створювати фотореалістичні зображення виробів;
- Вибір PLM-рішення (Product Lifecycle Management), яке дозволяє бізнесу підвищити свою стратегічну та операційну ефективність. Сучасні PLM-системи забезпечують повне управління життєвим циклом продукту, від початкового задуму до випуску на ринок;

ТЕНДЕНЦІЇ	Впровадження 3D-технологій	Використання 3D-сканування для визначення антропометричних параметрів Розробка віртуальних прототипів одягу Створення 3D-візуалізацій для презентації колекцій
	Розвиток доповненої (AR) і віртуальної реальності (VR)	Впровадження технологій AR/VR для віртуальної примірки Організація цифрових показів мод у віртуальних просторах Інтерактивна взаємодія з споживачами
	Інтеграція штучного інтелекту	Застосування алгоритмів ШІ для прогнозування трендів та аналізу ринку Використання ШІ для автоматизації процесів дизайну Оптимізація керування ланцюгами постачання
	Масова персоналізація	Використання кастомізаційних платформ Інтеграція цифрових технологій для автоматизованого внесення змін у модель Впровадження «розумного» текстилю з персоналізованими функціями
	Розвиток цифрових платформ для продажів і маркетингу	Використання онкольних стратегій Інтерактивна реклама й просування товарів через метавесвіти
	Метавесвіт і цифровий одяг	Розробка цифрового одягу для використання у віртуальних просторах Монетизація цифрових товарів через NFT-платформи Взаємодія брендів з клієнтами через створення інтерактивних цифрових гардеробів
	Розвиток інноваційної екосистеми	Колаборація з технологічними компаніями для розробки нових цифрових інструментів Інвестиції у стартапи, що спеціалізуються на цифрових рішеннях для моди Залучення наукових інститутів для розробки алгоритмів і нових технологій

Рис. 2. Тенденції, що стимулюють розвиток цифровізації в індустрії моди

- Керування цифровими активами (Digital Asset Management) надає можливість узгоджувати та затверджувати колекцію на рівні цифрового формату. Цифрові активи, такі як 3D-моделі, текстури та технічні специфікації, зберігаються в централізованих системах управління цифровими активами (DAM). Це дозволяє командам швидко узгоджувати і затверджувати колекції, зменшуючи час на розробку та випуск нових продуктів;
- Демонстрація на основі каталогу цифрової продукції. Наявність віртуальних шоурумів та каталогів. Сучасні інструменти на основі ШІ дозволяють створювати інтерактивні каталоги та віртуальні шоуруми;
- Розширений досвід здійснення покупок. Онлайн-покупки та інтерактивні примірочні. На даному етапі технології доповненої реальності (AR) дозволяють покупцям приміряти одяг у віртуальних примірочних, підвищуючи рівень задоволеності та зменшуючи кількість повернень;
- Виробництво, яке передбачає створення фізичних виробів з 3D-файлів. Після затвердження віртуальних прототипів вони конвертуються у технічні файли для виготовлення фізичних зразків. Це знижує потребу у створенні проміжних фізичних зразків, економлячи час та ресурси;
- Логістика та доставка. Використання ШІ забезпечує аналіз даних попиту, запас та місце розташування клієнтів, що дозволяє оптимізувати логістику та зменшити час доставки. Це забезпечує кращий користувацький досвід і сприяє зниженню витрат на зберігання продукції.

Таким чином, цифровізація процесу виготовлення одягу створює можливості для безперервного обміну даними та переміщення цифрових активів між різними етапами виробничого циклу. Цифрові активи, такі як 2D-лекала, 3D-моделі, текстури, а також технічні специфікації, можуть бути ефективно використані на кожному етапі від розробки концепції до доставки готового продукту. Це дозволяє забезпечити узгодженість та високу якість виробу, а також скоротити час на розробку нових колекцій.

Однією з ключових переваг наскрізної цифрової системи є можливість взаємодії з потенційними споживачами вже на ранніх етапах розробки продукту. Завдяки використанню 3D-моделювання, віртуальних примірочних та інтерактивних онлайн-інструментів, бренди можуть залучати споживачів до процесу створення колекцій, отримуючи цінні відгуки щодо дизайну, кольору та посадки виробу ще до початку його фізичного виготовлення. Такий підхід дозволяє підвищити задоволеність клієнтів та зменшити ризик повернень товару.

Використання штучного інтелекту та машинного навчання є ключовим фактором, що сприяє автоматизації та оптимізації на кожному етапі наскрізної технологічної екосистеми виготовлення одягу.

З урахуванням цифрового розвитку та особливостей кожного етапу процесу виготовлення одягу, структура наскрізної технологічної екосистеми представлена на рис. 3.

ТВОРИТИ		РОЗРОБЛЯТИ		ПРОДАВАТИ	
Цифрова побудова	Цифровий матеріал	Цифрові активи	Цифрова продукція	Цифровий маркетинг	Цифрові продажі
2D-3D проектування	3D матеріали, оздоблення	3D розробка, підгонка, прототипування	3D автоматизація виробництва	3D маркетинг, споживчий досвід	3D візуальний мерчандайзинг, в магазині
Швидка ітерація, сумісна творчість, висока якість, швидкість		Висока якість, швидкість, стійкість, оптимізація ланцюга постачання		Забезпечення потрібного продукту у потрібний час і у потрібне місце	

Рис. 3. Цифровізація етапів виготовлення одягу

Як видно з рисунка, сучасні автоматизовані засоби дозволяють швидко переходити від 2D-проектуювання до 3D-моделювання, що значно спрощує процес розробки одягу. Завдяки такому програмному забезпеченню, як Clo3D, Browzwear, Optitex, дизайнери мають можливість миттєво візуалізувати свої ідеї у тривимірному форматі, оцінюючи посадку виробу на фігурі та коригуючи його ще на етапі концептуального проектування. Цей підхід забезпечує більш швидку ітерацію розробки, дозволяючи дизайнерам оперативно отримувати задовільний результат свого творчого задуму.

Крім того, доступні бібліотеки фактури матеріалів та оздоблення дозволяють багаторазово використовувати текстури, кольори та елементи декору. Це не лише економить час, але й забезпечує узгодженість стилю колекції, сприяючи сумісній творчості між дизайнерами та підвищуючи якість кінцевого зображення. Такі цифрові бібліотеки можуть бути спільним середовищем для обміну ресурсами між різними командами, що сприяє стандартизації та спрощує процес створення нових моделей.

На етапі розробки використання штучного інтелекту для аналізу попиту дозволяє підвищити ефективність виробничого процесу. Завдяки алгоритмам машинного навчання можна аналізувати великі обсяги даних про поведінку споживачів, тренди та уподобання. Це дає змогу брендам створювати точні прогнози щодо розмірного ряду та асортименту продукції, зменшуючи потребу у фізичному виготовленні проміжних розмірів. Таким чином, виробники можуть зосередитись на найбільш популярних позиціях, знижуючи ризик перевиробництва та витрат на виготовлення невикористаних зразків.

Використання ШІ також дозволяє автоматизувати розробку кастомізованих виробів, орієнтованих на індивідуальні потреби клієнтів, завдяки аналізу їхніх анатомічних параметрів. Це сприяє створенню персоналізованої продукції, яка максимально відповідає очікуванням споживачів.

На етапі продажу використання цифрових технологій дозволяє брендам швидко адаптувати асортимент до поточних запитів споживачів. Завдяки цифровим інструментам, як 3D-конфігуратори одягу та віртуальні шоу-руми, компанії можуть оперативнo створювати високоякісні моделі, що відповідають конкретним вимогам клієнтів. Цифрові компоненти забезпечують гнучкість виробництва, зменшують витрати на фізичні зразки та скорочують час від розробки до випуску на ринок.

Завдяки технологіям доповненої реальності (AR), споживачі можуть віртуально приміряти одяг, використовуючи смартфони або інтерактивні дзеркала в магазинах. Це не лише підвищує рівень взаємодії з брендом, але й сприяє прийняттю рішення про покупку. Віртуальні примірочні надають можливість клієнтам оцінити посадку та вигляд виробу на їхній фігурі ще до здійснення покупки, що також підвищує задоволеність клієнтів.

Для реалізації алгоритмізації процесів цифровізації в індустрії моди необхідно розробити відповідне математичне забезпечення, що дозволить ефективно обробляти дані на різних етапах проектування та виробництва одягу. Одним із ключових етапів є визначення індивідуальних антропометричних параметрів, які отримують за допомогою цифрових засобів 3D-сканування. В результаті процесу сканування формується масив даних, який складається з набору точок, кожна з яких характеризується тривимірними координатами і кольором (C). Для виділення конкретних розмірних характеристик, таких як обхвати чи висоти, необхідно сегментувати масив, виділяючи підмножину точок, що відповідає певним критеріям (наприклад, належність до заданих координатних областей).

Для спрощення обчислень декартова система координат перетворюється в полярну. Це дозволяє отримати аналітичні вирази для обхватних характеристик у вигляді простих залежностей та автоматично формувати параметризовані конструкції, що враховують індивідуальні особливості споживача:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & C_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & C_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_i & y_i & z_i & C_i \\ x_n & y_n & z_n & C_n \end{pmatrix} \rightarrow z_j \begin{pmatrix} x_{1j} & y_{1j} \\ x_{2j} & y_{2j} \\ \dots & \dots \\ x_{ij} & y_{ij} \\ x_{nj} & y_{nj} \end{pmatrix} \rightarrow \rho = f(\phi) \rightarrow L = \int_{-\pi}^{\pi} \rho(\phi) d\phi. \tag{1}$$

Цифровізація процесів створення дизайну одягу, зокрема із використанням штучного інтелекту, вимагає застосування математичних концепцій, таких як теорія множин і предикатів. При цьому таксономічні предикати можуть використовуватися для класифікації елементів одягу (комір, рукав, лацкан тощо), які можна позначати як  $T_1, T_2, T_3, \dots$ . Реляційні предикати можуть описувати відношення між елементами одягу (рукав обов'язково з'єднується з пройомом,  $T_1 \vee T_j$ , кишеня може бути розташована на пілочки  $T_k \wedge T_m$ , пояс не з'єднується з коміром  $T_n - T_p$ ). Характеризуючі предикати можуть визначати ознаки елементів одягу (колір, форма, матеріал.  $C_1, C_2, C_3, \dots$ ).

Квантор загальності  $\forall$  визначає спільні характеристики всіх елементів одягу. Екзистенційний квантор  $\exists$  визначає окремі ознаки елементів одягу. Приклад запису конструкції одягу для використання в системах штучного інтелекту може мати вигляд:

$$\forall T \rightarrow C_1 \exists T \rightarrow C_2 \{ (T_1 \wedge T_2) \vee (T_3 \vee T_4) \vee (T_5 \vee -T_6) \}. \tag{2}$$

Цей формальний підхід дозволяє алгоритмізувати процеси проектування, забезпечуючи точне визначення взаємозв'язків та характеристик елементів одягу в цифрових системах.

На етапі побудови конструкції одним із ключових обмежень цифровізації є застосування стандартних методик конструювання, які не враховують індивідуальних особливостей споживача. Побудова розгортки на основі перетворення координат при 3D-скануванні дозволяє розв'язати цю проблему цифровими засобами. Триангуляційні алгоритми (рис. 4) передбачають перетворення просторових координат в двовимірні для подальшої побудови індивідуальної конструкції.

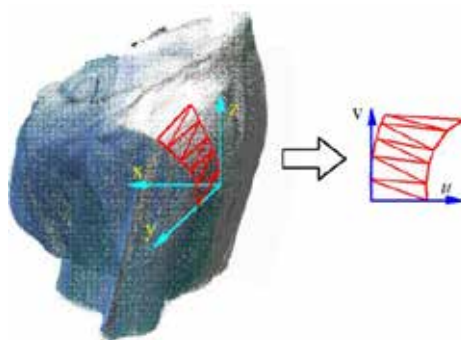


Рис. 4. Побудова розгортки на основі 3D-сканування

Етап виробництва одягу у процесі цифровізації може бути описаний через побудову системи графів, які забезпечують структурування виробничих процесів та інтеграцію механізмів безпосереднього контролю якості. Застосування графів у моделюванні дозволяє відображати взаємозв'язки між операціями, ресурсами та контрольними точками, що критично важливо для оптимізації виробничого циклу.

Контроль процесу виробництва одягу є одним із ключових етапів комплексної цифровізації індустрії моди. Використання цифрових засобів, зокрема електронних NFC-міток дозволяє забезпечити простежуваність і відповідність кожного етапу виробничого процесу заданим параметрам. NFC-мітки функціонують як інтегровані маркери, що фіксують і передають дані про технологічний стан продукції на кожному етапі виробництва, забезпечуючи точну відповідність реальних операцій цифровим матрицям виробничого процесу.

Процеси реалізації одягу у цифровій сфері безпосередньо пов'язані з оптимізацією логістичних ланцюгів. Цифровізація логістики базується на використанні методів лінійного і динамічного програмування для управління ресурсами, транспортними потоками і складуванням. Такі підходи дозволяють мінімізувати витрати та час доставки, одночасно забезпечуючи високу гнучкість і адаптивність системи до змін попиту.

Одним з перспективних напрямів цифровізації у сфері реалізації одягу є цифрова кастомізація. Ця технологія забезпечує персоналізацію продукту відповідно до потреб споживача та сприяє формуванню моделі замкненого циклу виробництва. Процес цифрової кастомізації включає кілька послідовних етапів: фотограмметрія існуючого одягу; налаштування базової геометрії і топології; визначення параметрів кастомізації. Технічна реалізація кастомізації базується на створенні 3D-моделей, які відображають індивідуальні побажання клієнта; встановленні обмежень і залежностей між параметрами для забезпечення функціональності та естетичності виробу; перевірці точності параметрів за допомогою цифрових інструментів валідації.

Після створення кастомізованого продукту інтеграція та впровадження таких моделей у виробничі процеси передбачає перевірку відповідності розмірів, збір відгуків користувачів, аналіз популярності заданих комбінацій і подальшу адаптацію алгоритмів під індивідуальні потреби.

У таких умовах загальна модель цифровізації одягу може бути представлена як замкнений алгоритм зі зворотними зв'язками. Така модель інтегрує всі основні етапи життєвого циклу одягу: дизайн, конструювання, виробництво, контроль, реалізацію та зворотній зв'язок від споживача. Вона забезпечує безперервність і взаємозалежність усіх етапів процесу, сприяючи підвищенню ефективності, якості та стійкості індустрії моди (рис. 5).



Рис. 5. Загальна модель цифровізації процесу створення і реалізації модного продукту

Впровадження такої моделі забезпечить зростання ефективності інтеграції цифрових алгоритмів і систем в індустрію одягу, сприяючи оптимізації всіх етапів створення, виробництва та реалізації продукції.

#### Висновки

В роботі представлено теоретичне обґрунтування та практичне впровадження комплексної моделі цифровізації індустрії моди. В результаті дослідження встановлено, що сучасні інструменти, такі як системи автоматизованого проектування, тривимірне сканування, технології доповненої реальності та штучний інтелект, створюють значні можливості для оптимізації усіх етапів життєвого циклу модної продукції.

Особливу увагу приділено розробці замкненої системи алгоритмів зі зворотними зв'язками, які забезпечують ефективну взаємодію між процесами дизайну, конструювання, виробництва, контролю якості, логістики та реалізації одягу. Такий підхід дозволяє не лише зменшити виробничі витрати, а й підвищити якість продукції, враховуючи індивідуальні потреби споживачів.

Впровадження цифрових технологій у виробництво та реалізацію одягу сприяє підвищенню його екологічності, функціональності та персоналізації, що відповідає сучасним вимогам ринку. Результати дослідження є актуальними для підприємств модної індустрії, які прагнуть підвищити свою конкурентоспроможність та забезпечити сталий розвиток за рахунок інноваційних технологій.

## Список використаної літератури

1. Riabchykov M., Mytsa, V., Bondarenko, M., Popova T., Nechipor S., Nikulina, A., Bondarenko, S. (2023). Formation of complex 3D surfaces scans for garment CAD, *Vlakna a Textil*, 30 (3), 13-18. <http://doi.org/10.15240/tul/008/2023-3-002>.
2. Черевач В. Цифрова мода: основні чинники виникнення та соціокультурне значення. *Питання культурології*. 2023. Вип. 42. С. 307-315. <https://doi.org/10.31866/2410-1311.42.2023.293804>.
3. Riabchykov M., Mytsa, V., Tkachuk, O., Pakholiuk, O., Melnyk, D. (2024). Efficiency of Protective Textile Smart Systems Using Electronic Tags. In: Nechiporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, 1008. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_16).
4. Фещенко Н. Вплив інформаційних технологій на процес проектування одягу у сучасному світі з оглядом супроводжуючого програмного забезпечення, огляд актуальних систем САПР. *Молодь і ринок*. 2020. № 1. С. 171-176. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2020.196218>.
5. Cay A. (2018). Energy consumption and energy saving potential in clothing industry. *Energy*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.128>.
6. Caiazzo V., Mario di n., Murino T., Petrillo A., Piccirillo G., Santini S. (2022). Towards Zero Defect Manufacturing paradigm: A review of the state-of-the-art methods and open challenges. *Computers in Industry*, 134, 103548. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103548>.
7. Гагило В. П., Шевченко І. О. Логістика в умовах цифровізації: логістичний ланцюг та функціональні області. *Часопис економічних реформ*. 2024. № 1. С. 78-85. <https://doi.org/10.32620/cher.2024.1.10>.
8. Олешко Т.І. Цифрова економіка: підручник / Т. І. Олешко, Н. В. Касьянова, С. Ф. Смерічевський та ін. К. : НАУ, 2022. 200 с.
9. Лагода О. М., Гурдіна В. В., Пасічник В. О. Масова кастомізація одягу як концепція індивідуалізації в сучасних дизайн-практиках. *Art and Design*, 2021. № 2. С. 129-140. <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2021.2.12>.
10. Riabchykov M., Mytsa V., Ryabchykova K. (2024). Artificial Intelligence as a Tool for the Development of Professional Competencies of a Fashion Industry Specialist. In: Faure, E., et al. *Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 222. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-71804-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-71804-5_20).
11. Lyu Y., Lv(u) X. (2022). The Cutting-Edge Applications and Trends of Big Data and AI Technology in the Digitalization of the Fashion Industry. In: Atiquzzaman, M., Yen, N., Xu, Z. (eds) *2021 International Conference on Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City. BDCPS 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 102. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7466-2\\_119](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7466-2_119).
12. Іванова І.В., Боровик Т.М., Залозна Т.Г., Руденко А.Ю. Використання штучного інтелекту в маркетингу. *Маркетинг і цифрові технології*. 2023. Т. 7. № 2. С. 32-42. <https://doi.org/10.15276/mdt.7.2.2023.3>.
13. Чернишова О.О., Домашенко С.В., Домашенко Д.Г. Вплив штучного інтелекту на бізнес-процеси з метою оптимізації та покращення ефективності роботи організації. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2024. Т. 35(74). № 2. С. 196-204. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/27>.
14. Мица В. Цифрова трансформація fashion-індустрії: ключові технологічні тренди та інновації. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. № 4 (339). С. 296-300. <https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/367>.

## References

1. Riabchykov M., Mytsa, V., Bondarenko, M., Popova T., Nechipor S., Nikulina, A., Bondarenko, S. (2023). Formation of complex 3D surfaces scans for garment CAD, *Vlakna a Textil*, 30 (3), 13-18. <http://doi.org/10.15240/tul/008/2023-3-002>.
2. Cherevach V. (2023). Tsyfrova moda: osnovni chynnyky vynyknennia ta sotsiokulturne znachennia. *Pytannia kulturolohii*. vol. 42, pp. 307-315. <https://doi.org/10.31866/2410-1311.42.2023.293804>.
3. Riabchykov M., Mytsa, V., Tkachuk, O., Pakholiuk, O., Melnyk, D. (2024). Efficiency of Protective Textile Smart Systems Using Electronic Tags. In: Nechiporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*, 1008. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_16).
4. Feshchenko N. (2020). Vplyv informatsiinykh tekhnolohii na protses proektuvannia odiahu u suchasnomu sviti z ohliadom suprovodzhuiuchoho prohramnoho zabezpechennia, ohliad aktualnykh system SAPR. *Molod i rynek*, no. 1, pp. 171-176. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2020.196218>.
5. Cay A. (2018). Energy consumption and energy saving potential in clothing industry. *Energy*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.128>.



6. Caiazzo B., Mario di n., Murino T., Petrillo A., Piccirillo G., Santini S. (2022). Towards Zero Defect Manufacturing paradigm: A review of the state-of-the-art methods and open challenges. *Computers in Industry*, 134, 103548. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103548>.
7. Hatylo V.P., Shevchenko I.O. (2024). Lohistyka v umovakh tsyfrovizatsii: lohistrychni lantsiuh ta funktsionalni oblasti. *Chasopys ekonomichnykh reform*, no. 1, pp. 78-85. <https://doi.org/10.32620/cher.2024.1.10>.
8. Oleshko T.I., Kasianova N.V., Smerichevskiy S.F. (2022). *Tsyfrova ekonomika: pidruchnyk*. in. Ukrainian: NAU.
9. Lahoda O. M., Hurdina V. V., Pasichnyk V. O. (2021). Masova kastomizatsiia odiahu yak kontseptsiiia indyvidualizatsii v suchasnykh dyzain-praktykakh. *Art and Design*, no. 2. pp. 129-140. <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2021.2.12>.
10. Riabchykov M., Mytsa V., Ryabchykova K. (2024). Artificial Intelligence as a Tool for the Development of Professional Competencies of a Fashion Industry Specialist. In: Faure, E., et al. Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 222. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-71804-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-71804-5_20).
11. Lyu Y., Lv(u) X. (2022). The Cutting-Edge Applications and Trends of Big Data and AI Technology in the Digitalization of the Fashion Industry. In: Atiquzzaman, M., Yen, N., Xu, Z. (eds) 2021 International Conference on Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City. BDCPS 2021. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 102. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7466-2\\_119](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7466-2_119).
12. Ivanova I.V., Borovyk T.M., Zalozna T.H., Rudenko A.I. (2023). Vykorystannia shtuchnoho intelektu v marketynhu. *Marketynh i tsyfrovi tekhnolohii*, vol. 7, no. 2, pp. 32-42. <https://doi.org/10.15276/mdt.7.2.2023.3>.
13. Chernyshova O.O., Domashenko S.V., Domashenko D.H. (2024). Vplyv shtuchnoho intelektu na biznes-protsesy z metoiu optymizatsii ta pokrashchennia efektyvnosti roboty orhanizatsii. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky*, vol. 35(74), no. 2, pp. 196-204. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.2/27>.
14. Mytsa V. (2024). Tsyfrova transformatsiia fashion-industrii: kliuchovi tekhnolohichni trendy ta innovatsii. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky*, no. 4 (339), pp. 296-300. <https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/367>.

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004: 519.81

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.29>

С. В. БУНКУС

аспірантка кафедри програмних засобів і технологій  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0009-2907-8876

О. Є. ОГНЄВА

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри програмних засобів і технологій  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-6206-0285

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ ЕВАКУАЦІЇ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

*У статті розглянуто сучасні підходи до моделювання сценаріїв евакуації населення в умовах надзвичайних ситуацій: природних катастроф, техногенних аварій та військових дій. Проаналізовано основні методи моделювання, їх переваги та обмеження, зокрема математичне моделювання, агентне моделювання та використання геоінформаційних систем. Особлива увага приділяється адаптації цих методів до умов воєнного стану в Україні. Наведено приклади застосування цих методів для підвищення ефективності евакуаційних заходів. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення планування евакуаційних заходів. Також у статті описано необхідність створення гібридної моделі, яка поєднує переваги існуючих моделей, особливо включаючи саме агентне моделювання для врахування людської поведінки, математичне моделювання для знаходження оптимальних маршрутів для евакуації, геоінформаційні системи для просторової візуалізації та аналізу.*

*Дослідження підтверджують значний потенціал удосконалення заходів евакуації через інтеграцію економіко-математичних моделей і новітніх інформаційних технологій. Розроблено методологію формування адаптивних сценаріїв евакуації, які враховують не лише технічні й фізичні умови, а й соціальні та поведінкові аспекти. Використання таких сценаріїв на практиці сприяє зменшенню ризиків, раціоналізації ресурсів і підвищенню ефективності евакуаційних заходів у складних і непередбачуваних ситуаціях.*

*Окремо висвітлено необхідність доопрацювання нормативно-правової бази, зокрема уніфікації термінології, удосконалення критеріїв прийняття рішень щодо евакуації, а також забезпечення інтеграції міжнародного досвіду в українську практику. Результати можуть бути використані органами державної влади та місцевого самоврядування для вдосконалення стратегічного планування заходів цивільного захисту.*

**Ключові слова:** моделювання, евакуація, надзвичайні ситуації, математичне моделювання, агентне моделювання, геоінформаційні системи, гібридна модель.

S. V. BUNKUS

Postgraduate Student at the Department of Software Tools and Technologies  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0009-2907-8876

O. YE. OHNIEVA

PhD in Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Software Tools and Technologies  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-6206-0285

## RESEARCH ON METHODS OF MODELING EVACUATION SCENARIOS IN EMERGENCY SITUATIONS

*The article examines modern approaches to modeling population evacuation scenarios in emergency situations, including natural disasters, technological accidents, and military actions. The main modeling methods, their advantages, and limitations are analyzed, specifically mathematical modeling, agent-based modeling, and the use of geoinformation systems (GIS). Particular attention is given to the adaptation of these methods to the conditions of martial law in Ukraine. Examples of applying these methods to enhance the effectiveness of evacuation measures are provided. The research results can be used to improve evacuation planning.*

*The article also highlights the necessity of developing a hybrid model that combines the advantages of existing models, particularly incorporating agent-based modeling to account for human behavior, mathematical modeling to identify optimal evacuation routes, and GIS for spatial visualization and analysis.*

*The research confirms the significant potential for improving evacuation measures through the integration of economic-mathematical models and advanced information technologies. A methodology for forming adaptive evacuation scenarios has been developed, which considers not only technical and physical conditions but also social and behavioral aspects. The practical application of such scenarios contributes to reducing risks, optimizing resources, and increasing the efficiency of evacuation measures in complex and unpredictable situations.*

*The need to refine the legal framework is also emphasized, particularly in terms of unifying terminology, improving decision-making criteria for evacuations, and integrating international experience into Ukrainian practice. The results can be utilized by government authorities and local administrations to enhance strategic planning in civil protection measures.*

**Key words:** modeling, evacuation, emergency situations, mathematical modeling, agent-based modeling, geoinformation systems, hybrid model.

### Постановка проблеми

Сучасні виклики у сфері безпеки населення в умовах надзвичайних ситуацій, таких як природні катаклізми, техногенні аварії або військові дії, потребують науково обґрунтованого підходу до організації евакуаційних заходів. Ефективна евакуація значною мірою залежить від точного прогнозування динаміки поведінки людей, їх взаємодії з навколишнім середовищем та сценаріїв розвитку подій. Відтак постає необхідність застосування сучасних методів моделювання для оптимізації процесів евакуації.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Серед науковців, які досліджували проблематику моделювання евакуацій, варто виокремити роботи В. Комяка та К. Кязімова, які розробили варіантні моделі евакуації людей з висотних будівель у разі виникнення надзвичайної ситуації. Сучасні дослідження у сфері агентного моделювання, зокрема роботи О. Тесленка, демонструють значний прогрес у розумінні процесів координації великих груп людей у надзвичайних ситуаціях. Використання геоінформаційних систем (ГІС) для побудови детальних моделей ландшафту та шляхів евакуації досліджувалося у працях С. Потеряйка, К. Белікової, О. Твердохліба та С. Марченка. Проте питання інтеграції різних методів моделювання та створення універсальних сценаріїв залишаються недостатньо розробленими.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз методів моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій, визначення їхніх ключових характеристик та можливостей інтеграції для створення ефективних евакуаційних планів.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Надзвичайні ситуації (НС) різної природи вимагають швидких і ефективних рішень для забезпечення безпеки населення. Одним із ключових завдань є евакуація людей із зон ризику. Планування та реалізація таких заходів передбачає використання сучасних методів моделювання сценаріїв евакуації. Евакуація населення є однією з основних заходів цивільного захисту, спрямованих на забезпечення безпеки громадян у разі виникнення надзвичайних ситуацій (НС) різного характеру [2]. Сучасні виклики, зокрема воєнний стан та загроза техногенних катастроф, потребують удосконалення методів планування евакуації, зокрема із застосуванням інноваційних підходів до моделювання можливих сценаріїв [5].

Моделювання сценаріїв евакуації є важливим інструментом у плануванні та управлінні заходами безпеки в умовах надзвичайних ситуацій. Евакуація як ключовий елемент захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій є загальнонаціональним завданням, яке належить до компетенції органів державної влади, місцевого самоврядування та керівників суб'єктів господарювання. Цей висновок базується на аналізі основних завдань, визначених Кодексом цивільного захисту (ЦЗ) [1] та Положенням про єдину державну систему ЦЗ [7]. Важливо, щоб методологічні, практичні й організаційні аспекти планування та здійснення евакуаційних заходів були узгоджені з чинними нормативно-правовими актами України. Моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій (НС) є важливим елементом планування заходів з безпеки та збереження життя і здоров'я людей. Існує кілька основних методів моделювання таких сценаріїв, кожен з яких має свої особливості та застосовується залежно від конкретних умов.

Евакуація є організованим виведенням або вивезенням населення із зон надзвичайної ситуації або зон можливого ураження за умов виникнення загрози їхньому життю або здоров'ю. До цього також належить переміщення матеріальних і культурних цінностей, якщо існує ризик їх пошкодження або знищення. Однак у сучасній нормативно-правовій базі відсутня конкретизація місць, куди має бути здійснено евакуацію, що створює прогалину в визначенні ключових аспектів забезпечення безпеки. Зокрема, у понятті «безпечний район» наголошується на відсутності негативних чинників джерела небезпеки, а також на відповідності умовам розміщення та життєзабезпечення евакуйованих. Однак, для таких районів необхідним є додаткове уточнення вимог до автономного функціонування в умовах воєнного стану [4].

Щодо методології організації евакуації, актуальним є розмежування понять «виведення» і «вивезення», оскільки нормативні акти здебільшого не регламентують порядок здійснення евакуації пішки. Практика свідчить, що цей спосіб переміщення використовується досить часто в умовах негайної загрози життю та здоров'ю, коли час на організацію заходів обмежений. Суттєвим недоліком є відсутність розгорнутих інструкцій стосовно облаштування маршрутів пішої евакуації [16].

Класифікація видів евакуації також є недостатньо структурованою в нормативній базі. Наприклад, терміни «обов'язкова», «загальна», «часткова», «тимчасова» та «безповоротна» евакуація, зазначені у різних актах, потребують узгодження. Введення поняття «екстрена евакуація» як окремого виду є доцільним, зважаючи на частоту використання цього підходу у випадках екстремальних ситуацій. Екстрену евакуацію можна визначити як переміщення населення у разі наявності загрози життю в умовах обмеженого часу для організації попереджувальних заходів [2].

Не менш важливим є питання забезпечення життєдіяльності евакуйованого населення у безпечних районах. У чинних нормативних документах відсутні чіткі положення, що регулюють життєзабезпечення евакуйованих осіб, а також критерії для ухвалення рішень щодо евакуації в умовах надзвичайних ситуацій. До таких критеріїв можна віднести часові показники, концентрацію небезпечних речовин, рівень радіаційного опромінення, нормативні умови безпеки тощо [5].

Ефективна організація евакуаційних заходів має базуватися на таких принципах: комплексний підхід, завчасне планування, поєднання евакуаційних заходів із іншими заходами захисту, оперативність, відповідальність, а також інтеграція міжнародного досвіду. Особливо важливим є перспективне планування евакуації, яке має враховувати особливості територіального зонування, інфраструктурних ресурсів, масштабів техногенних катастроф і можливих бойових дій.

Евакуація населення в умовах надзвичайних ситуацій є критично важливим завданням, що вимагає чіткої координації, оперативного планування та використання сучасних методів моделювання. Нормативно-правове регулювання цього процесу в Україні забезпечує правову основу для розробки сценаріїв евакуації, враховуючи специфіку надзвичайних ситуацій, мобілізаційні потреби та потреби різних соціальних груп населення. Сучасні нормативно-правові акти у сфері цивільного захисту здебільшого залишають поза увагою проблему використання особистого транспорту під час евакуації населення. Як зазначено у джерелі [17], для проведення загальної евакуації передбачається додаткове залучення транспортних засобів, що належать суб'єктам господарювання та громадянам (п. 6). Однак, на сьогодні державні автосподарства володіють лише невеликою частиною транспорту. Значна його кількість перебуває у власності малих підприємств і приватних осіб, що суттєво ускладнює процес управління такими ресурсами.

Таблиця 1 демонструє, як закони та підзаконні акти визначають порядок використання методик, механізмів і алгоритмів для забезпечення ефективної евакуації.

Представлені нормативно-правові акти охоплюють ключові аспекти організації евакуації, включаючи планування заходів, оцінку ризиків, врахування потреб маломобільних груп населення, а також використання транспортної системи. Наприклад, Кодекс цивільного захисту України формує загальні принципи планування евакуації, тоді як спеціалізовані постанови Кабінету Міністрів деталізують порядок її проведення, механізми координації, та використання ресурсів. Окремо заслуговує уваги Указ Президента України щодо воєнного стану, який акцентує на оперативності та адаптивності евакуаційних сценаріїв в умовах військових дій. Всі нормативно-правові акти гармонізуються з потребою забезпечення захисту населення, враховуючи особливості ситуацій та доступні ресурси.

Ретельна нормативно-правова база створює фундамент для ефективного управління евакуаційними процесами, особливо у складних умовах надзвичайних ситуацій та воєнного стану. Використання методів моделювання сценаріїв евакуації дозволяє органам влади адаптуватися до мінливих обставин, оперативно реагувати на виклики, мінімізувати втрати та забезпечувати безпеку населення. Подальший розвиток правового регулювання у цій сфері має орієнтуватися на впровадження інноваційних технологій і методик, що враховують сучасні загрози та можливості.

Практика цивільного захисту в багатьох країнах демонструє успішне використання особистого транспорту та нерухомоті громадян під час евакуаційних заходів. Організоване залучення такого транспорту вимагає створення ефективної управлінської структури, здатної забезпечити облік усіх транспортних засобів у межах певної території, незалежно від форми власності, та контроль над їх використанням у надзвичайних ситуаціях.

Попри значний потенціал, Україна поки не готова до практичного впровадження принципу самостійної евакуації у повному обсязі. Проте, необхідно визначити такі завдання, особливо в межах об'єднаних територіальних громад на етапі їх формування. Щодо організаційної складової планування евакуації, нормативні акти визначають, що «комісії з питань евакуації відповідають за планування евакуаційних заходів на відповідному рівні» [6]. Проте, ефективність цього положення викликає сумніви, оскільки такі комісії є тимчасовими органами, що не мають чітко визначених повноважень для технічного виконання своїх функцій. Зокрема, їм бракує правових

інструментів для залучення посадових осіб чи забезпечення доступу до необхідної документації. Єдиним документом, який регламентує діяльність таких комісій, є Положення про роботу тимчасових органів з евакуації, затверджене керівником, що їх створює.

Таблиця 1

**Нормативно-правове регулювання методів моделювання сценаріїв евакуації  
в умовах надзвичайних ситуацій**

Назва нормативно-правового акта	Ключові положення щодо моделювання сценаріїв евакуації
Кодекс цивільного захисту України [1]	Визначає загальні засади планування та реалізації заходів з евакуації, зокрема передбачає використання спеціальних методик і механізмів для оцінки ризиків та сценаріїв евакуації.
Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту» [7]	Регулює функціонування єдиної системи цивільного захисту, в межах якої забезпечується координація роботи органів влади та використання сучасних методів моделювання сценаріїв евакуації.
Наказ МВС України «Про затвердження Методики планування заходів з евакуації» [9]	Затверджує методику розроблення сценаріїв евакуації, враховуючи специфіку територій, кількість населення, доступні ресурси та особливості надзвичайної ситуації. Передбачає створення моделей для оптимізації евакуаційних процесів.
Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку виявлення осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення» [10]	Описує алгоритм ідентифікації маломобільних груп населення та врахування їх потреб у моделюванні сценаріїв евакуації, включаючи супровід та забезпечення транспортування.
Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення евакуації у разі загрози виникнення НС» [11]	Встановлює порядок проведення евакуації та використання методів моделювання для аналізу можливих сценаріїв розвитку надзвичайної ситуації, зокрема залучення транспортних засобів.
Указ Президента України «Про введення воєнного стану в Україні» [8]	Передбачає використання надзвичайних заходів і моделювання сценаріїв евакуації в умовах військових дій, включаючи оперативне планування на основі аналізу ризиків та доступних ресурсів.
Постанова Кабінету Міністрів України «Про утворення Координаційного штабу з питань обов'язкової евакуації населення» [14]	Визначає механізми організації обов'язкової евакуації на основі створення координаційного штабу. Використання методів моделювання спрямоване на прогнозування потреб населення та ефективне управління ресурсами.
Закон України «Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період» [15]	Регулює мобілізацію транспортних засобів і забезпечення їх участі в евакуації. Враховує моделювання можливих сценаріїв для оптимізації використання ресурсів транспортної системи.
Закон України «Про правовий режим воєнного стану» [13]	Описує основи правового регулювання дій органів влади під час воєнного стану, включаючи моделювання сценаріїв евакуації з урахуванням специфіки військових дій та ризиків.
Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про організацію функціонування єдиної державної системи цивільного захисту» [12]	Забезпечує адаптацію методів моделювання сценаріїв евакуації до умов воєнного стану, зокрема через інтеграцію нових даних і методик.

Для усунення цих недоліків пропонується внести зміни до чинного законодавства [1], зокрема до розділу III щодо повноважень суб'єктів цивільного захисту у частині планування та проведення евакуації. Сутність змін полягає у запровадженні терміну «відповідальність», наприклад: «відповідальність за планування евакуації та її проведення несе...» із подальшим уточненням, який саме орган виконавчої влади чи місцевого самоврядування є відповідальним. Це дозволить забезпечити чіткий розподіл повноважень між комісіями з питань евакуації та іншими тимчасовими органами, а також покращити організаційно-методичне забезпечення їх діяльності залежно від режимів роботи та типів надзвичайних ситуацій на відповідній території чи суб'єкті господарювання [16].

Таким чином, для вдосконалення системи евакуації необхідне узгодження нормативно-правової бази, зокрема визначення ключових понять, уточнення видів евакуації, встановлення критеріїв прийняття рішень та інтеграція новітніх підходів до планування і реалізації евакуаційних заходів.

Зростання кількості надзвичайних ситуацій, таких як природні катаклізми, техногенні аварії та воєнні дії, створює нові виклики для планування евакуації населення. Ефективне моделювання сценаріїв евакуації дозволяє передбачити можливі проблеми, мінімізувати людські втрати та оптимізувати використання ресурсів. Однак існує низка труднощів, зокрема врахування складної взаємодії між людьми, інфраструктурою та зовнішніми умовами, які ускладнюють процес моделювання.

Моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій є важливим інструментом для забезпечення безпеки населення. Різноманітність загроз, таких як природні катастрофи, техногенні аварії або військові дії, потребує використання сучасних методів, які дозволяють враховувати фізичні, соціальні та поведінкові фактори. Табл. 2 систематизує основні методи моделювання, їх характеристики, переваги та обмеження, що допомагає обрати оптимальний підхід залежно від специфіки ситуації.

Таблиця 2

## Основні методи моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій

Метод	Характеристика	Переваги	Обмеження
Математичне моделювання	Використання диференційних рівнянь для опису руху натовпу або транспортних потоків.	Висока точність, можливість оптимізації шляхів та ресурсів.	Складність врахування соціальних та поведінкових факторів.
Агентне моделювання	Імітація поведінки окремих осіб або груп, кожен агент має власні характеристики (швидкість, рівень паніки тощо).	Гнучкість, врахування індивідуальних особливостей поведінки, соціальної динаміки.	Велика обчислювальна складність при моделюванні великих груп.
Геоінформаційні системи	Використання картографічних даних для побудови маршрутів евакуації, врахування фізичних перешкод.	Реалістичність, можливість інтеграції реальних даних про територію.	Залежність від точності картографічних даних, потреба в спеціалізованому програмному забезпеченні.
Інтегровані методи	Комбінація кількох методів, наприклад, агентного моделювання та ГІС.	Комплексність, здатність моделювати багатофакторні сценарії.	Висока складність реалізації та потреба у значних ресурсах.

Джерело: побудовано на основі [4]

Математичні моделі базуються на використанні диференційних рівнянь для опису динаміки руху натовпу або транспортних потоків. Вони дозволяють визначати оптимальні шляхи евакуації та прогнозувати швидкість переміщення груп людей за різних умов. Зокрема, методи фінансової оптимізації, застосовані до транспортної мережі, можуть забезпечити зменшення часу евакуації.

Агентне моделювання дозволяє створювати моделі поведінки окремих осіб та груп у процесі евакуації. Кожен агент має власні характеристики, наприклад, швидкість руху, рівень паніки або фізичні обмеження. Це дає змогу врахувати вплив психологічних та соціальних факторів на поведінку людей у кризових ситуаціях. Програмне забезпечення, таке як AnyLogic або NetLogo, є популярними платформами для такого типу моделювання [5].

Геоінформаційні технології (ГІС-технології) дозволяють створювати детальні карти території, враховуючи фізичні перешкоди, щільність забудови та інші ландшафтні характеристики. Використання ГІС спрощує оптимізацію маршрутів евакуації та інтеграцію реальних даних у моделі. Наприклад, у випадку повеней ГІС допомагають визначити зони ризику та прокласти безпечні шляхи.

Інтеграція методів – це комбінація агентного та математичного моделювання з використанням ГІС дозволяє створювати більш комплексні сценарії евакуації. Наприклад, інтегровані моделі можуть прогнозувати трафік на дорогах, взаємодію пішоходів та транспортних засобів, а також враховувати зміни в реальному часі, такі як зміна погоди або нові перешкоди [6].

Основні методи моделювання сценаріїв евакуації мають свої переваги та обмеження, які слід враховувати при виборі підходу. Математичне моделювання є ефективним для задач оптимізації, агентне моделювання враховує поведінкові особливості, а ГІС додають реалістичності завдяки використанню просторових даних. Інтеграція методів дозволяє створювати багатофакторні моделі, які забезпечують високу точність та ефективність прогнозів.

Під час воєнного стану в Україні були впроваджені заходи обов'язкової евакуації населення з зон підвищеного ризику [16]. Використання методів моделювання дозволило зменшити ризики та підвищити ефективність організації евакуації. Наприклад, ГІС-системи допомогли визначити безпечні маршрути, а економіко-математичні моделі сприяли оптимізації ресурсів [2].

Одним із основних методів є математичне моделювання, яке дозволяє детально аналізувати евакуаційні процеси, використовуючи математичні моделі для розрахунку часу евакуації, визначення оптимальних маршрутів, потоку людей та розподілу ресурсів. Моделі потоків людей використовуються для прогнозування швидкості їх руху, зокрема в умовах обмеженого простору. Моделі мережі допомагають розрахувати оптимальні шляхи евакуації через мережі доріг і транспортні вузли, а моделі стохастичної природи враховують випадкові змінні, такі як погода чи технічні несправності.

Ще одним ефективним методом є симуляційне моделювання, яке передбачає використання спеціалізованих програм для відтворення сценаріїв евакуації в реальних або можливих умовах надзвичайних ситуацій. Це дозволяє врахувати різноманітні фактори, які можуть виникнути під час евакуації, і оцінити ефективність різних варіантів планів. До таких програм належать, наприклад, SimWalk – система для симуляції руху людей під час евакуації, а також AnyLogic – програмне забезпечення для створення складних моделей, у тому числі для планування евакуації [17].

Метод сценарного аналізу дозволяє розробляти різні варіанти розвитку подій на основі різних вихідних умов та факторів. Це дозволяє оцінити потенційні ризики та створити відповідні плани дій, включаючи сценарії евакуації в умовах терористичних атак, природних катастроф або техногенних аварій. Такий аналіз включає як критичні

сценарії, що описують найбільш загрозливі варіанти, так і оптимістичні сценарії, що дозволяють оцінити шанси на успішну евакуацію за оптимальних умов.

Метод експертних оцінок включає залучення фахівців, які на основі свого досвіду оцінюють різні аспекти евакуації, такі як ризики, можливі труднощі, а також визначають ключові етапи та рішення для ефективної евакуації.

Щодо методів системного аналізу, вони дозволяють вивчати взаємодію різних елементів системи евакуації, таких як транспортні засоби, засоби комунікації, медичні ресурси та місця розселення евакуйованих. Мета цього методу – оцінити загальну ефективність системи евакуації та виявити потенційні проблеми, що можуть виникнути під час її реалізації.

Один із сучасних підходів – метод імітаційного моделювання на основі агентів (ABM – Agent-Based Modeling). Він використовується для моделювання поведінки індивідуальних осіб або груп у процесі евакуації. Кожен агент має свої характеристики та може самостійно приймати рішення, що дозволяє враховувати індивідуальні реакції на зовнішні стимули, такі як паніка, переповнення шляхів евакуації або зміни в умовах. Цей метод сприяє більш точному моделюванню реальних ситуацій та оцінці ефективності евакуаційних заходів [5].

В умовах надзвичайних ситуацій, таких як природні катастрофи, техногенні аварії чи військові дії, ефективна організація евакуації населення є одним із основних завдань для забезпечення безпеки людей. Одним із способів досягнення цієї мети є використання методів моделювання для створення сценаріїв евакуації. Вони дозволяють прогнозувати хід евакуації, оцінювати ризики та оптимізувати ресурси, що мають бути залучені до цього процесу. Водночас кожен метод має свої переваги та недоліки, що впливають на ефективність його використання. Табл. 3 показує різноманітні методи моделювання, які застосовуються для планування та реалізації сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій.

Таблиця 3

**Переваги та недоліки методів моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій**

Метод моделювання	Переваги	Недоліки
Математичне моделювання	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Дозволяє точно прогнозувати час евакуації та оптимальні маршрути.</li> <li>– Можливість розрахунку для різних умов (потік людей, розподіл ресурсів).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Не враховує людський фактор, який може змінювати хід евакуації.</li> <li>– Висока складність для створення точних моделей у складних умовах.</li> </ul>
Симуляційне моделювання	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Можливість тестувати сценарії евакуації в реальних або ймовірних умовах.</li> <li>– Дозволяє врахувати різноманітні змінні, які можуть впливати на процес евакуації.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Потребує значних комп’ютерних ресурсів і часу для створення та виконання моделей.</li> <li>– Може бути складним для адаптації до нестандартних або нових ситуацій.</li> </ul>
Сценарний аналіз	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Можливість створення декількох варіантів розвитку подій на основі різних вихідних умов.</li> <li>– Допомога оцінити потенційні ризики та розробити план дій для кожного варіанту.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Не завжди може точно передбачити всі можливі змінні та наслідки, що виникають у реальних умовах.</li> <li>– Важко оцінити ймовірність кожного сценарію, що може призвести до неповної ефективності плану.</li> </ul>
Метод експертних оцінок	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Залучення досвідчених фахівців дозволяє отримати глибоке розуміння специфіки евакуації.</li> <li>– Допомога визначити потенційні труднощі, що не завжди можна врахувати за допомогою математичних моделей.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Може залежати від суб’єктивних суджень і досвіду експертів, що може призвести до неупереджених оцінок.</li> <li>– Потребує великої кількості часу на збори експертів та аналіз їхніх оцінок.</li> </ul>
Імітаційне моделювання на основі агентів	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Враховує індивідуальні реакції людей та груп на різні ситуації, що дозволяє моделювати реалістичні сценарії.</li> <li>– Можливість враховувати людський фактор та панічні реакції, що може суттєво вплинути на евакуацію.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вимагає значних ресурсів для моделювання великої кількості агентів і взаємодій між ними.</li> <li>– Складність у побудові точних моделей для великої кількості людей з різними поведінковими характеристиками.</li> </ul>

Джерело: побудовано на основі [2]

Математичне моделювання, хоча і дозволяє досягти високої точності в розрахунках часу евакуації та оптимальних маршрутів, має обмеження щодо врахування людського фактору, що може бути важливим у реальних ситуаціях. Симуляційне моделювання надає можливість тестувати варіанти евакуації в умовах, що наближені до реальних, але потребує значних ресурсів і часу для реалізації.

Сценарний аналіз дозволяє розробити різноманітні варіанти розвитку подій і оцінити потенційні ризики, проте не завжди може точно передбачити всі змінні, що виникають під час евакуації. Метод експертних оцінок забезпечує глибоке розуміння специфіки евакуаційного процесу, однак його результати можуть бути суб’єктивними та залежати від досвіду фахівців. Імітаційне моделювання на основі агентів дозволяє враховувати поведінку людей та груп, що робить модель більш реалістичною, але потребує великих ресурсів для її реалізації. Вибір методу моделювання залежить від специфіки надзвичайної ситуації, доступних ресурсів і цілей планування евакуації.

В ідеалі застосовується комбінація кількох методів для отримання комплексного уявлення про ефективність різних сценаріїв евакуації [4].

Методи моделювання сценаріїв евакуації відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки населення в умовах НС. Найбільш перспективними напрямками залишаються інтеграція сучасних інформаційних технологій та розробка нових економіко-математичних моделей для ефективного використання ресурсів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на адаптацію цих методів до умов воєнного стану та специфіки України.

Таким чином, вибір методу моделювання для створення сценаріїв евакуації залежить від конкретних умов надзвичайної ситуації, наявних ресурсів та необхідної точності прогнозу. Кожен метод має свої сильні сторони, але також і обмеження, які можуть впливати на точність і ефективність результатів. Важливо поєднувати різні методи для створення більш комплексних та реалістичних сценаріїв евакуації, що дозволить досягти максимального результату в умовах обмежених ресурсів та невизначеності.

Для вдосконалення методів моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій, можна запропонувати гібридний метод, який об'єднує переваги існуючих підходів, таких як математичне моделювання, агентне моделювання та геоінформаційні системи (ГІС). Цей метод дозволяє усунути недоліки окремих методів і забезпечити більш точне та ефективне планування евакуаційних заходів.

Гібридний метод передбачає інтеграцію цих трьох компонентів для створення комплексних сценаріїв евакуації. Комбінування математичного та агентного моделювання дозволить врахувати як загальні закономірності руху людей, так і індивідуальні реакції на стресові ситуації. Використання ГІС для візуалізації даних допоможе зрозуміти просторову динаміку евакуації та виявити потенційні проблеми у реальному часі.

Переваги гібридного методу:

1. Завдяки точним прогнозам і оптимізації маршрутів можна зменшити ймовірність виникнення заторів та інших проблем під час евакуації.

2. Гнучкість у реагуванні на зміни в ситуації завдяки використанню реальних даних і адаптації моделей у реальному часі.

3. Більш ефективне планування евакуаційних заходів дозволяє зберегти життя і здоров'я людей у надзвичайних ситуаціях.

Схема гібридного методу моделювання евакуації (рис. 1)

#### **1. Вхідні дані:**

- Демографічні дані: Кількість людей, вік, мобільність
- Інфраструктурні дані: План будівель, дорожня мережа
- Дані про надзвичайні ситуації: Тип загрози, зона впливу
- Реальні дані: Дані з датчиків, камер, мобільних пристроїв

#### **2. Компоненти моделювання:**

##### **2.1. Математичне моделювання:**

- Аналіз потоків людей
- Обчислення оптимальних маршрутів
- Прогнозування часу евакуації

##### **2.2. Агентне моделювання:**

- Поведінка окремих людей (агентів)
- Реакція на стрес і паніку
- Індивідуальні рішення в реальному часі

##### **2.3. ГІС-візуалізація:**

- Відображення маршрутів евакуації
- Моніторинг переміщень у реальному часі
- Побудова інтерактивних карт

#### **3. Обчислювальний модуль:**

- Об'єднання результатів моделювання
- Адаптація плану евакуації на основі нових даних
- Прийняття рішень в режимі реального часу

#### **4. Результати:**

- Оптиміальні маршрути евакуації
- Оцінка можливих заторів
- Виявлення небезпечних зон
- Звіти для аварійних служб



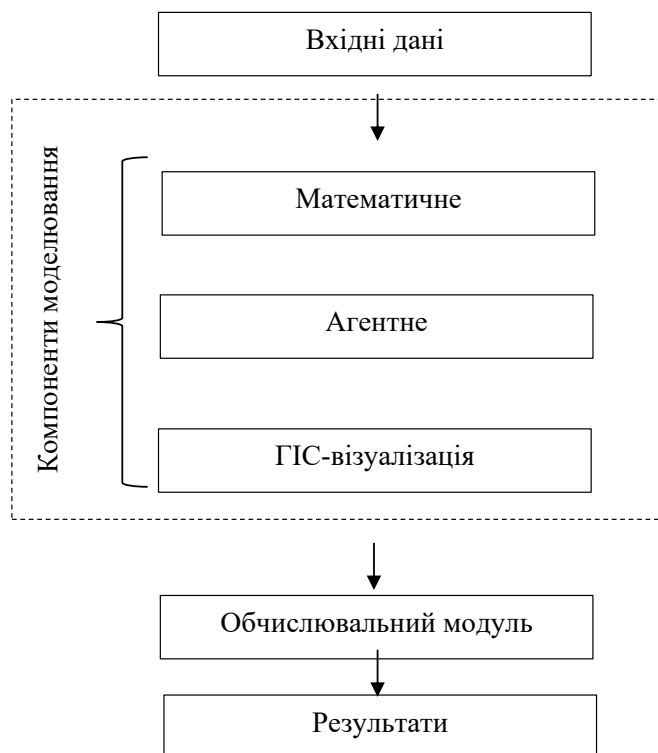


Рис. 1. Структурна схема гібридного методу моделювання евакуації

### Висновки

Отже, моделювання сценаріїв евакуації в умовах надзвичайних ситуацій є ключовим інструментом для підвищення безпеки населення. Математичне моделювання дозволяє вирішувати завдання оптимізації, агентне моделювання враховує поведінкові аспекти, а ГІС забезпечують реалістичну основу для створення маршрутів. Запропонований гібридний метод моделювання сценаріїв евакуації може суттєво підвищити ефективність організації заходів цивільного захисту. Інтеграція математичного, агентного моделювання та ГІС дозволить створити більш точні та адаптивні моделі, що відповідають сучасним викликам у сфері безпеки населення.

### Список використаної літератури

1. Кодекс цивільного захисту України. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 34-35, ст.458. Документ 5403-VI, чинний, поточна редакція – Редакція від 15.11.2024, підстава – 4017-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 08.12.2024)
2. Комяк В., Кязімов К. Варіантне моделювання евакуації людей з висотних будівель у разі виникнення надзвичайної ситуації. Сучасні проблеми моделювання. 2020. № 17. С. 27-35.
3. Мітіна Н. Б. Евакуаційні заходи як спосіб захисту населення в надзвичайних ситуаціях / Н. Б. Мітіна, М. М. Плис, М.М. Плис, М. В. Рогальов, Н. В. Малиновська. *Збірник наукових праць Придніпровської державної архітектурно-будівельної академії. Серія: БЖД*. Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2016. Вип. 93. 191-196.
4. Мітіна Н. Б., Плис М. М., Рогальов М. В., Малиновська Н. В. Методично-практичні аспекти планування та організації евакуації в умовах надзвичайних ситуацій. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Серія: Безпека життєдіяльності*. 2018. Вип. 105. С. 148-153.
5. Потеряйко С. П., Белікова К. Г., Твердохліб О. С. Проблемні питання евакуації населення в безпечні місця в умовах воєнного стану. український кейс. *Публічне урядування*. 2022. № 5 (33). С. 58-63.
6. Потеряйко С. П., Белікова К. Г., Твердохліб О. С., Орлова Н. С. Економіко-математичне моделювання прогнозного оцінювання дієвості функціонування єдиної державної системи цивільного захисту. *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики : зб. наук. пр.* 2022. № 1 (42). С. 293–303.
7. Про затвердження Положення про єдину державну систему цивільного захисту: Постанова Кабінету міністрів України від 9 січня 2014 р. № 11. Документ 11-2014-п, чинний, поточна редакція – Редакція від 17.08.2024, підстава – 923-2024-п. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2024)
8. Про введення воєнного стану в Україні : Указ Президента України від 24.02.2022 р. № 64/2022. Дата оновлення: 14.02.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/64/2022#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

9. Про затвердження Методики планування заходів з евакуації : наказ МВС України від 10.07.2017 р. № 579. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0938-17#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

10. Про затвердження Порядку виявлення осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення, які проживають у зоні надзвичайної ситуації або можливого ураження, та організації їх супроводження : постанова Кабінету Міністрів України від 18.04.2018 р. № 282. Дата оновлення: 26.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/282-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

11. Про затвердження Порядку проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій : постанова Кабінету Міністрів України від 30.10.2013 р. № 841. Дата оновлення: 26.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/841-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

12. Про організацію функціонування єдиної державної системи цивільного захисту в умовах воєнного стану : розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.02.2022 р. № 179-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2022-%D1%80#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

13. Про правовий режим воєнного стану : Закон України від 12.05.2015 р. № 389-VIII. Дата оновлення: 29.09.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

14. Про утворення Координаційного штабу з питань підготовки проведення обов'язкової евакуації населення Донецької області в умовах воєнного стану : постанова Кабінету Міністрів України від 29.07.2022 р. № 854. Дата оновлення: 02.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/854-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

15. Про функціонування єдиної транспортної системи України в особливий період : Закон України від 20.10.1998 р. № 194-XIV. Дата оновлення: 23.04.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/194-14#Text> (дата звернення: 08.12.2024).

16. Тесленко О. Моделювання функціонування системи реагування на надзвичайні ситуації в Зоні відчуження. *Науковий вісник: Державне управління*. 2024. № 1 (15). С. 191–204.

17. Тесленко О. Проблеми державного управління цивільним захистом щодо забезпечення контролінгу загроз та виникнення надзвичайних ситуацій у Зоні відчуження. *Науковий вісник: Державне управління*. 2023. № 1 (13). С. 163–177.

#### References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2013). Code of Civil Protection of Ukraine (Law No. 5403-VI). Verkhovna Rada Bulletin (VRB), 34–35, Art. 458. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>

2. Komyak, V., & Kyazimov, K. (2020). Scenario modeling of evacuating people from high-rise buildings in emergency situations. *Modern Problems of Modeling*, 17, 27–35.

3. Mitina, N. B., Plys, M. M., Rogalov, M. V., & Malinovska, N. V. (2016). Evacuation measures as a way to protect the population in emergency situations. *Collection of Scientific Papers of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture: Life Safety Series*, 93, 191–196.

4. Mitina, N. B., Plys, M. M., Rogalov, M. V., & Malinovska, N. V. (2018). Methodological and practical aspects of planning and organizing evacuations in emergencies. *Construction, Materials Science, Mechanical Engineering: Life Safety Series*, 105, 148–153.

5. Poteryayko, S. P., Belikova, K. G., & Tverdokhlib, O. S. (2022). Issues of population evacuation to safe areas under martial law: The Ukrainian case. *Public Administration*, 5(33), 58–63.

6. Poteryayko, S. P., Belikova, K. G., Tverdokhlib, O. S., & Orlova, N. S. (2022). Economic and mathematical modeling of forecasting the effectiveness of the unified state civil protection system. *Financial and Credit Activities: Problems of Theory and Practice*, 1(42), 293–303.

7. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2014). *On the approval of the regulation on the unified state civil protection system (Resolution No. 11)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/11-2014-%D0%BF#Text>

8. President of Ukraine. (2022). *On the introduction of martial law in Ukraine (Decree No. 64/2022)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/64/2022#Text>

9. Ministry of Internal Affairs of Ukraine. (2017). *On approving the methodology for planning evacuation measures (Order No. 579)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0938-17#Text>

10. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2018). *On approving the procedure for identifying persons with disabilities and other vulnerable groups residing in emergency zones (Resolution No. 282)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/282-2018-%D0%BF#Text>

11. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2013). *On approving the procedure for conducting evacuations in case of emergencies (Resolution No. 841)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/841-2013-%D0%BF#Text>

12. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022). *On organizing the functioning of the unified state civil protection system under martial law (Directive No. 179-r)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2022-%D1%80#Text>
13. Verkhovna Rada of Ukraine. (2015). *On the legal regime of martial law (Law No. 389-VIII)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text>
14. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022). *On establishing a coordination headquarters for mandatory evacuation preparation in Donetsk Region (Resolution No. 854)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/854-2022-%D0%BF#Text>
15. Verkhovna Rada of Ukraine. (1998). *On the functioning of Ukraine's unified transport system during a special period (Law No. 194-XIV)*. Retrieved December 8, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/194-14#Text>
16. Teslenko, O. (2024). Modeling the functioning of the emergency response system in the exclusion zone. *Scientific Bulletin: Public Administration*, 1(15), 191–204.
17. Teslenko, O. (2023). Problems of state civil protection management in threat monitoring and emergency situations in the exclusion zone. *Scientific Bulletin: Public Administration*, 1(13), 163–177.

**Г. В. ВЕСЕЛОВСЬКА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-2896-0460

**О. І. ЯСТРЕБОВА**

аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-6819-6263

**Д. В. ЯЦЕНКО**

аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-9165-711X

**М. М. КУЧМІЙЧУК**

аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8704-0624

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВОЛЮЦІЇ КОНЦЕПЦІЙ ЗДІЙСНЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНО-ОРІЄНТОВАНОГО НАВЧАННЯ В УКРАЇНІ, З УРАХУВАННЯМ ДИСТАНЦІЙНИХ ПІДХОДІВ

*Дослідження було спрямоване на отримання актуальних результатів такої діяльності: хронологічного аналізу основних віх еволюції вітчизняних концепцій здійснення інформаційних технологій комп'ютерно-орієнтованого та дистанційного навчання, затверджених на законодавчому рівні; моніторингу та систематизації основних здобутків втілення указаних концепцій; пошуку раціональних напрямів і підходів для подальшого вдосконалення зазначених концепцій і технологій, способів їхнього практичного впровадження та застосування. Методологічний інструментарій дослідження базувався на теорії інформації, інформаційних систем і технологій, комп'ютерно-орієнтованого та дистанційного навчання. Проаналізовано особливості, проблемні аспекти та чинники-каталізатори еволюційного розвитку вітчизняних підходів до впровадження та реалізації інформаційних технологій комп'ютерно-орієнтованого та дистанційного навчання. За підсумками проведеного аналізу, створено інформаційну модель предметної області, що характеризує еволюцію, сучасний стан та актуальні напрямки розвитку законодавчо визначених концепцій здійснення інформаційних технологій комп'ютерно-орієнтованого навчання в перебігу становлення та розбудови незалежної України, з урахуванням дистанційних підходів. Основою для формування такої інформаційної моделі стало отримання хронологічно-орієнтованого текстового подання поля знань досліджуваної предметної області. У межах указаної інформаційної моделі, було отримано систематизоване подання й аналітичну характеристику ключових теоретичних засад і практичних досягнень, набутих у перебігу проходження основоположних етапів еволюційного розвитку вітчизняних концепцій здійснення тих інформаційних технологій комп'ютерно-орієнтованого та дистанційного навчання, що були офіційно підтримані на державному рівні, починаючи з проголошення незалежності України. Також, у межах досліджуваної предметної галузі та її інформаційної моделі, було визначено підходи до подальшого вдосконалення існуючих вітчизняних концепцій здійснення інформаційних технологій комп'ютерно-орієнтованого та дистанційного навчання. Запропоновано нову інформаційну модель, в якій було інтегровано низку дієвих підходів, що дозволяють доповнити й удосконалити існуючі вітчизняні концепції здійснення інформаційних технологій комп'ютерно-орієнтованого та дистанційного навчання, на підставі урахування особливостей динаміки сучасних вишів до сфери освітньої діяльності. Перший етап практичної реалізації інформаційної моделі, сформованої на основі результатів проведених досліджень, показав можливість досягнення п'ятивідсоткового збільшення продуктивності інформаційних технологій комп'ютерно-орієнтованого та дистанційного навчання, вдосконалених на підставах використання указаної моделі.*

**Ключові слова:** інформаційна технологія, комп'ютерно-орієнтоване навчання, дистанційне навчання, концептуальне моделювання.

G. V. VESELOVSKAYA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Computer Systems and Networks  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-2896-0460

O. I. YASTREBOVA

Postgraduate Student at the Department of Computer Systems and Networks  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-6819-6263

D. V. IATSENKO

Postgraduate Student at the Department of Computer Systems and Networks  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-9165-711X

M. M. KUCHMIICHUK

Postgraduate Student at the Department of Computer Systems and Networks  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8704-0624

### THE RESEARCH IN THE EVOLUTION OF CONCEPTIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE COMPUTER-AIDED TRAINING IN UKRAINE, TAKING INTO ACCOUNT DISTANCE APPROACHES

*The research was direct to the getting of actual results for such activity: the chronological analysis in primary milestones of the evolution of native conceptions for the realization of information technologies for the computer-aided and distance training which were approved on the legislative level; the monitoring and the systematization in main achievements of the realization of given conceptions; the search of rational directions and approaches for the further perfection of given conceptions and technologies, ways of their practical introduction and application. Methodological tools for the research were based on the theory of information, information systems and technologies, computer-aided and distance training. Features, problem aspects, and factors-accelerators of the evolution development in native approaches to the introduction and to the realization of the information technologies for the computer-aided and distance training, are analyzed. According to the carried out analysis, the information model for the subject field that characterizes of the evolution, the current state, and topical directions of the development in legally defined concepts for the implementation of information technologies for the computer-aided training in the progress of the formation and the development of independent Ukraine, taking into account remote approaches, is created. The basis for the formation of such an information model was an acquisition of the chronologically oriented text representation for the field of knowledge of the studied subject area. Within the specified information model, the systematized presentation and the analytical characteristics of key theoretical principles and practical achievements, acquired during the passage of the fundamental stages in the evolutionary development of national concepts on the implementation of those information technologies for the computer-aided and distance training, that were officially supported at the state level, starting with the declaration of Ukraine's independence, were obtained. Also, within the scope of researched subject area and its information model, approaches to the further improvement of existing domestic concepts on the implementation of information technologies for the computer-aided and distance training, were determined. The new information model was proposed, in which a number of effective approaches were integrated, allowing to supplement and improve of existing domestic concepts for the implementation of information technologies for the computer-aided and distance training, based on taking into account of peculiarities in the dynamics of modern requirements for the field of educational activity. The first stage on the practical implementation of an information model, formed on the basis of results on conducted researches, showed the possibility for achieving of a five percent increase in the productivity of information technologies for the computer-aided and distance training, improved on the basis of the use of the specified model.*

**Key words:** information technology, computer-aided training, distance training, conceptual modeling.

#### Постановка проблеми

У роботі досліджено проблему пошуку шляхів підвищення ефективності інформаційних технологій (ІТ) комп'ютерно-орієнтованого навчання (КОН), як каталізатору вдосконалювання освітніх систем, на основі аналізу специфіки еволюції концепцій здійснення ІТ КОН. Підґрунтям підсиленої уваги до ІТ КОН є переважно інформаційний характер процесів навчання, що робить ефективність ІТ КОН важливою засадою підвищення якості освіти. За результатами практичного досвіду, напрацьовані ІТ КОН і підходи до їхнього застосування потребують удосконалення. Метою науково-практичного дослідження є аналіз особливостей еволюції законодавчо визначених

вітчизняних підходів до реалізації ІТ КОН (ДН включно), а його результати мають стати основою знаходження раціональних напрямів удосконалювання цих підходів і способів їхнього втілення. Було охоплено такі завдання: аналіз і систематизація вітчизняних концепцій здійснення ІТ КОН (зокрема, ДН); формування цілісного поняття про специфіку еволюції законодавчо підтриманих концепцій впровадження та застосування ІТ КОН (включаючи ДН) у незалежній Україні; напрацювання нових підходів до вдосконалювання вітчизняних концепцій здійснення ІТ КОН, зокрема, ДН. Таким чином: КОН відіграє чільну роль у вдосконалюванні освітніх систем і технологій; оскільки вони переважно є інформаційними, то ефективність ІТ КОН є визначальною; практика свідчить, що результати застосування цих технологій нерідко недосконалі; потребують досліджень і корекції ІТ КОН і концепції їхнього здійснення (впровадження, застосування тощо).

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Проаналізуємо актуальні для цього розгляду дослідження та публікації.

ІТ завжди активно вдосконалювали сфери суспільства, де однією з найпродуктивніших стала освіта. Було розроблено концепцію розвитку інформаційного суспільства, де: розвиток постіндустріальних економік держав обумовлюють не тільки матеріальні активи, а й якість знань із ключових соціально-економічних питань; освіта є вагомим чинником соціально-економічного розвитку [1-4]. Освіту стали вважати ключовим чинником таких досягнень: стабільного, ефективного розвитку економік і суспільств; задоволення ключових потреб людей; вирішення економічних, соціальних, екологічних проблем тощо [2-4]. Рівень освіченості стали розглядати як визначник інтелектуального потенціалу, фундамент національних багатств [2], а потужний економічний потенціал освіти було доцільним застосовувати до економічного зростання країн [3]. Розвиток інтелектуального потенціалу людини є продукцією (інтелектуальним капіталом) систем освіти, що забезпечують нарощування нових знань, умінь, навичок та інноваційне технологічне вдосконалювання виробництв, а його втілення в нарощуванні суспільного продукту є гарантом економічного зростання [4]. Указана роль є суттєвою для просторового розвитку економік держав. Для вищої професійної освіти, що є сферою зосередження та впливу територіально-орієнтованих інноваційних тенденцій, характерна підтримка діяльності з удосконалювання просторових форм, зокрема, галузевої кластеризації. Потужний вплив освітніх процесів на кваліфікаційне зростання за потребами сучасності став підґрунтям інвестицій до розвитку систем знань наукових фондів, наукових досліджень, професійного вдосконалення працівників освіти, підвищення доступності наукових знань, і забезпечив більшу віддачу фахівців при реалізації інноваційних проєктів [3].

Інтенсивний повсюдний розвиток ІТ збільшив можливості отримання та напрацювання знань. Вища освіта на базі прогресивних ІТ КОН надавала кадри вищої кваліфікації, спроможні виробляти більш конкурентоспроможну продукцію, якісніші послуги, перспективніші ідеї та реалізації, вмотивовано підвищувати кваліфікацію протягом життя. Ці можливості дали потужний поштовх економічному зростанню. Досконаліша освіта спонукала до пошуків роботи з вищою оплатою, зростанню доходів і податкових надходжень, споживчої спроможності, непрямих інвестицій до економіки [4].

Невід'ємною складовою діяльності, чинником посилення конкурентної спроможності вишів стали наукові дослідження та розробки, що сприяють ефективнішому вивчання предметних областей і застосуванню наукового потенціалу до розвитку науки та техніки, створенню нових концепцій і технологій, збільшенню можливостей пошуку нових рішень актуальних проблем держав і людства. Поєднання в діяльності вишів освітніх процесів на базі прогресивних ІТ КОН, інтенсивних наукових досліджень і практичного виробничого досвіду відіграє ключову роль у пришвидшенні економічного зростання на основі збільшення продуктивності праці, як підсумку застосування інноваційних технологій фахівцями нової генерації.

Соціально-економічне зростання держав, рівнів життя потребує передумов для отримання протягом життя новітніх знань і професійних компетенцій, фокусування уваги на розвитку освіти та людського капіталу, зокрема, інвестицій до освіти. Великого значення набуває діяльність держави з розвитку освіти, котра знаходить успішне відбиття, за підтримки політичних ініціатив та управлінських рішень, на рівні законодавства [5], що особливо стосується застосування в освіті ІТ КОН, зокрема, на засадах ДН [6-8, 11-12]. Разом із тим, у невеликій кількості випадків, реалізація концепцій ІТ КОН і ДН на практиці ще залишається далекою від досконалості.

Виходячи з проведених досліджень і міркувань, важливою та нагальною проблемою стала недостатня вивченість питання щодо системного дослідження особливостей як процесів і результатів еволюції концепцій здійснення ІТ КОН в Україні, з урахуванням дистанційних підходів, так і практичної реалізації цих концепцій [9-14]. Вирішення проблеми передбачає знаходження підстав і резервів для вдосконалювання підходів до практичної реалізації вказаних концепцій і технологій.

#### **Формулювання мети дослідження**

Дослідження спрямоване на отримання дієвих результатів: хронологічного аналізу віх еволюції законодавчо затверджених вітчизняних концепцій здійснення ІТ КОН (зокрема, ДН); моніторингу та систематизації здобутків втілення цих концепцій; знаходження раціональних напрямів і підходів до подальшого вдосконалювання зазначених концепцій і технологій, способів їхнього практичного впровадження та застосування.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Важливим чинником розвитку держав стала інформатизація, але економічна криза та технологічне відставання наприкінці 1990-х років спричинили падіння її рівня. Важливим кроком до глобальної інформатизації було рішення Міністерства освіти і науки України (МОНУ) та Національної академії наук України (НАНУ) з розбудови Української науково-освітньої телекомунікаційної мережі УРАН (1997 р.), де метою був оперативний доступ до науково-освітньої інформації та прискорений розвиток ДН, а завданням – надання освітнім закладам та установам сервісів на базі Internet-технологій для задоволення потреб користувачів і розвитку освіти [6]. Робота мережі стала підґрунтям для законопроектів із глобальної інформатизації. Надалі, було розгорнуто глобальні заходи з інформатизації (Закон України «Про Концепцію Національної програми інформатизації», 04.02.1998 р.), з завданнями, що мали вирішуватися за сприяння держави (таблиця 1).

Таблиця 1

#### Основні напрями базової вітчизняної концепції інформатизації

№	Найменування напрямку
1	Проникнення інформаційних технологій до всіх сфер діяльності
2	Створення дієвих систем інформаційних ресурсів, інформаційного забезпечення, інформаційно-аналітичної підтримки функціонування органів державної влади та місцевого самоврядування
3	Створення активно працюючих ринків інформаційної продукції
4	Інтеграція до світового інформаційного простору

У концепції національної програми інформатизації (КНПІ) 1998 р., де за одне з ключових спрямувань було визначено інформатизацію науки, освіти та культури, повною мірою отримала відбиття актуальність інтенсивного впровадження ІТ КОН до освіти. Ця концепція мала забезпечити можливість вирішувати проблемні питання та завдання освітньої сфери на вищому рівні розгляду, згідно зі світовими стандартами та прискоренням отримання високоякісних результатів певних видів діяльності. До таких проблемних аспектів першочергово мали бути віднесені чинники, пов'язані з необхідністю значного підвищення рівня певних показників (таблиця 2).

Таблиця 2

#### Основні види діяльності та показники, де КНПІ забезпечувало вдосконалення

Найменування видів діяльності, де КНПІ мала підвищити швидкість отримання й якість результатів	Систематизоване формування та накопичення суспільного інтелектуального потенціалу.
	Удосконалення організаційних форм здійснення та змістовного наповнення освітніх процесів.
	Широке впровадження комп'ютерно-базованих методів викладання, навчання, контролю якості
Показники, де передбачалося значне підвищення рівня на засадах здійснення КНПІ	Індивідуалізація процесів придбання знань і вмінь
	Систематизація здійснення контролю за навчальними досягненнями
	Можливості врахування специфіки персональних потреб і запитів учасників освітніх процесів.

У 2000 р. була законодавчо затверджена (Постановою МОНУ від 20.12.2000 р.) «Концепція розвитку дистанційної освіти (ДО) в Україні», як джерело розвитку (ДО), інтегрувавши напрацювання, подані таблицею 3.

Таблиця 3

#### Основні категорії методологічних напрацювань вітчизняної концепції розвитку ДО

№	Найменування змістовної категорії
1	Загальні положення та визначення предметної галузі систем ДО
2	Мета, доцільність створення, ключові завдання, організаційна структура, принципи функціонування, етапи розробки та подальшого розвитку, передбачувані результати дії та витрати фінансування систем дистанційної освіти
3	Спектр соціальних категорій громадян, на які в першу чергу має бути орієнтованим запровадження систем дистанційного навчання

Проникнення ІТ КОН (зокрема, дистанційних) до всіх сфер діяльності дозволило підвищити рівень освіти. Застосування цими технологіями мультимедійних засобів (візуального контенту, аудіо-контенту, е-підручників та т. і.) збільшило мотивацію до вивчення навчальних матеріалів.

Високий рівень глобальності розвитку та поширення ІТ КОН став передумовою нових можливостей підвищення якості та доступності освіти для всіх охочих на засадах ДН. Дистанційна освіта (ДО), що не була новим способом отримання знань (її хронологічні витoki – кінець XIX сторіччя), з розбудовою ІТ КОН, змогла піднятися до незрівнянно вищого рівня.

Освітня діяльність за карантинних обмежень під час вірусної пандемії висунула на перший план необхідність інтенсифікації впровадження та вдосконалювання ДО, що стала відігравати визначну роль у формуванні не

тільки оптимальних траєкторій викладання та навчання в межах діяльності закладів освіти, а й потужної можливості самостійного набуття нових знань і підвищення фахової кваліфікації без відриву від роботи.

Чинником прискорення розвитку ДН став Наказ МОНУ від 07.07.2000 № 293 «Про створення Українського центру дистанційної освіти» (УЦДО), що передбачав впровадження дистанційних технологій у вищій освіті та створення УЦДО на базі Київського політехнічного інституту (таблиця 4).

Таблиця 4

## Ключові завдання УЦДО

№	Найменування завдання
1	Створення дієвих концепцій і нормативно-правових засад.
2	Обґрунтування, розробка й апробація ефективних засобів підтримки.
3	Отримання алгоритмів оптимального застосування електронних і телекомунікаційних засобів вдосконалювання дистанційних систем.
4	Консультації закладів вищої освіти з організаційних питань ДН.
5	Оперативне підготування фахівців.

Об'єктивна потреба в розвитку системи ДО обумовила затвердження Постановою Кабінету міністрів України (КМУ) від 23.09.2003 № 1494 «Програми розвитку системи ДН на 2004-2006 р. р.», спрямованої на забезпечення належного доступу до електронних освітніх матеріалів і можливостей безперервного отримання актуальних знань упродовж життя на засадах розвитку систем ДН із використанням новітніх надбань у педагогіці, методиці, психології, фізіології, ІТ і телекомунікаційних технологіях. Для підтримки здійснення програми, було затверджено наказом МОНУ від 21.01.2004 № 40 «Положення про ДН». У 2013 р., було видано наказ МОНУ від 25.04.2013 № 466 щодо затвердження поновленого «Положення про ДН», що враховувало нові вимоги та прогресивні технології.

Ще раз зосередимо увагу на наказі МОНУ й Академії педагогічних наук України (АПНУ) (№ 432/36 від 02.07.2003 р.) щодо проведення в регіонах України педагогічного експерименту з ДН. У рамках експерименту, де першочергово взяли, за основну форму, навчання для молодих осіб із особливими потребами й осіб із обмеженими можливостями прибуття до інтегрованих центрів навчання, дослідники виявили належну актуальність, доступність, ергономічність та соціальне спрямування дистанційного формату освітніх процесів, можливість його успішного застосування для будь-яких верств населення. Результати проходження експерименту показали можливість отримання високоякісних дистанційних освітніх послуг кожним громадянином і втілення в них усіх чинників відкритості вищої освіти ([7]).

Виходячи з відомостей щодо результатів проходження експерименту з впровадження ДО протягом 2004/2005 н. р., наданих у звіті Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна», та об'єктивної необхідності отримання більшого досвіду, Наказом МОНУ № 390 від 30.06.2005 р. експеримент офіційно продовжили в 2005/2006 н. р.

Разом із ДН, процеси розвитку, впровадження, застосування й експериментального дослідження в закладах освіти та серед різних верств населення проходили ІТ КОН у цілому. Ці процеси було орієнтовано на підвищення якості викладання та навчання на засадах забезпечення закладів освіти (ЗО) сучасним інструментарієм ІТ КОН, надійними виділеними каналами зв'язку та Internet-підключеннями, відповідно до державних програм інформатизації ЗО. Такими програмами, затвердженими КМУ в 2001-2004 р. р., стали: «Програма інформатизації загальноосвітніх навчальних закладів, комп'ютеризації сільських шкіл на 2001-2003 р. р.» (Постанова КМУ від 06.05.2001 № 436); «Державна програма інформатизації та комп'ютеризації професійно-технічних навчальних закладів на 2004-2007 р. р.» (Постанова КМУ від 20.08.2003 № 1300); «Державна програма інформатизації та комп'ютеризації вищих навчальних закладів I-II рівня акредитації на 2005-2008 р. р.» (Постанова КМУ від 08.09.2004 № 1182).

Процеси активної інтеграції в освітній діяльності численних і різноманітних ІТ КОН (зокрема, для ДН) обумовили потребу в формуванні у користувачів навичок їхнього впевненого й успішного застосування. Також важливо було забезпечити певні досягнення, пов'язані з досліджуваною сферою діяльності (таблиця 5).

Таблиця 5

## Досягнення, що потрібно було забезпечити для підтримки ІТ КОН і ДН

№	Найменування досягнення
1	Подальше зростання показників якості у галузях освіти та науки.
2	Гарантування належного здійснення прав на різноманітні форми інформаційної діяльності (пошук, поширення інформації тощо)
3	Підготування користувачів із впевненими знаннями та вміннями
4	Сприяння створенню високоякісного вітчизняного комп'ютерного програмного забезпечення, як ключової складової ІТ КОН, орієнтованих на інноваційний розвиток освіти й економіки



Для здійснення вищезазначеного, Постановою КМУ від 07.12.2005 № 1153 було затверджено «Державну програму «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці» на 2006-2010 р. р.»; також був представлений план розвитку цих технологій на 2006-2010 р. р.

Рішення Колегії МОНУ від 24.05.2007 «Про хід виконання Державних програм комп'ютеризації загальноосвітніх, професійно-технічних і вищих навчальних закладів I-II рівнів акредитації у 2006 р.» затвердило успішне виконання програм, що сприяло їхньому продовженню та запровадженню системи «УРАН», для повнішого використання комп'ютерно-орієнтованих інформаційних ресурсів освіти та науки, потенціалу центрів ДН. Потужну матеріально-технічну та технологічну базу надалі розвивали згідно з досягненнями науково-технічного прогресу та вимогами сучасності.

Затвердження Наказом МОНУ (2000 р.) вітчизняного центру ДО регламентувало такі аспекти ДН: стандарти; функціонал; системи; структури; способи втілення; управління; організацію освітнього процесу. Налалі, згідно з Наказом МОНУ від 26.04.2004 № 335 «Про створення Координаційної ради з розвитку системи ДН при МОНУ», було сформовано інстанцію, що узгоджувала дії МОНУ, центральних органів виконавчої влади та закладів освіти щодо планування та моніторингу стану розвитку, популяризації СДН.

У межах вдосконалювання системи освіти, КМУ отримав важливі задачі, затвержені Указом Президента України від 04.07.2005 «Про невідкладні заходи щодо забезпечення функціонування та розвитку освіти в Україні», зокрема, задачу забезпечення громадян України можливістю здобувати повну загальну середню освіту, будучи за кордоном, на базі ДН.

Наказом МОНУ від 29.12.2009 № 1231 «Про впровадження науково-педагогічного проекту «Дистанційне навчання учнів» затвердили базову модель ДН і започаткували експериментальний проект із впровадження прогресивних ІТ КОН до закладів загальної освіти на засадах ДН. На підставі позитивного річного досвіду виконання проекту, Наказом МОНУ від 01.11.2010 № 1030 «Про розширення бази для експериментального впровадження науково-педагогічного проекту «Дистанційне навчання учнів» затверджене рішення щодо розширення географічних меж експерименту. В 2010-2011 р.р. було запроваджено педагогічні експерименти з проведення ДН у таких вищах: Наказ МОНУ від 22.07.2010 № 732 «Про впровадження педагогічного експерименту з ДН у Київському національному університеті технологій та дизайну»; Наказ МОНУ від 11.01.2011 № 11 «Про продовження педагогічного експерименту з ДН в Хмельницькому національному університеті»; Наказ МОНУ від 19.04.2011 № 225 «Про запровадження педагогічного експерименту з дистанційної форми навчання магістрів-медсестр у Тернопільському державному медичному університеті імені І. Я. Горбачевського»; Наказ МОНУ від 15.09.2011 № 1064 «Про впровадження педагогічного експерименту з ДН на базі Вищого навчального закладу Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»».

У 2013 р. було законодавчо схвалено вітчизняну стратегію розвитку освіти на період до 2021 р., де ключовим напрямком стало повсюдне застосування комп'ютерно-орієнтованих інформаційно-комунікаційних технологій, що мало покращити навчально-виховні процеси, підвищити якість і доступність освіти, підготовку до життя в інформаційному суспільстві. Указ Президента України від 25.06.2013 «Про Національну стратегію розвитку освіти в Україні на період до 2021 р.» передбачив посилений комплекс заходів комп'ютеризації й інформатизації системи освіти, забезпечення інформаційно-комунікаційних потреб у ході навчання.

Розпорядженням КМУ від 14.12.2016 № 988-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа» на період до 2029 р.» було ініційовано роботу електронної освітньої платформи (е-платформи) на базі електронних підручників і курсів, мультимедійних засобів [8]. Це дозволило інтенсифікувати процеси цифровізації освіти, розвитку ДН і змішаної форми навчання для існуючих навчальних програм. Велику увагу приділили курсам ДН із підвищення кваліфікації. Застосування е-платформи дозволило вносити значні корективи до освітньої діяльності, стимулювало проектування та започаткування ринку електронної освітньої продукції та сервісів. Ефективна робота з е-платформою потребувала впевненого використання її інструментарію. Особливості запровадження й організаційних підґрунть е-платформи було врегульовано Наказом МОНУ від 11.06.2018 № 523 «Про затвердження Положення про Національну освітню електронну платформу».

Розпорядженням КМУ від 17.01.2018 № 67-р «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 р. р. та затвердження плану заходів щодо її реалізації» було наголошено на можливості та доцільності використання ІТ КОН для інтенсифікації освітніх процесів і покращення сприйняття навчальних матеріалів на основі інтерактивних засобів. ДН позиціонували як ключовий напрямок розвитку цифровізації освіти. Надалі, Наказ МОНУ від 23.04.2019 № 536 «Про затвердження Положення про інституційну форму здобуття загальної середньої освіти» та Наказ МОНУ від 12.12.2019 № 1552 «Про затвердження Положення про інституційну форму здобуття професійної (професійно-технічної) освіти» регламентували порядок здобуття цієї освіти на основі ДН.

У підсумку наведеного вище розгляду, було сформовано хронологічну аналітичну характеристику специфіки формування змісту законодавчої бази з підтримки вітчизняних ІТ КОН, за період становлення незалежності України: проаналізовано специфіку передумов, процесів і результатів розвитку комп'ютеризації й інформатизації

освіти в Україні, починаючи з кінця ХХ сторіччя та донині; систематизовано за хронологічним порядком відомості щодо вітчизняної законодавчої бази, як підґрунтя успішного впровадження та застосування ІТ КОН, зокрема, на засадах ДН; виявлено характеристичні властивості ІТ КОН із нормативною законодавчою базою підтримки.

Розглянемо розгорнуті підсумки здійсненого вище аналізу.

Формування інформаційно-технологічного суспільства вимагало: особистісно-орієнтованих технологій навчання; максимальної індивідуалізації освіти; умов для саморозвитку, самонавчання, самовизначення здібностей, можливостей і життєвих цінностей. Ключовим напрямом становлення та розвитку України, як незалежної держави, стало підвищення, на зазначених вище засадах, якості освітньої діяльності та конкурентоздатності, з орієнтацією на Європейський рівень. Під час розбудови незалежної України, було створено міцні підґрунтя державного регулювання сфери освіти. Вживалися дієві заходи з розробки, впровадження та розвитку освітніх комп'ютерно-орієнтованих інформаційно-комунікаційних технологій та ДН, удосконалювання сприймання навчальної інформації та набуття знань на основі зростання масштабів інформатизації та цифровізації в цілому. Разом із тим, як показала практика, недостатньо уваги приділялося проблемам здійснення ІТ КОН вужчої спеціалізації. Це не дозволило застосувати всю потужність ІТ КОН, підтриману на державному рівні.

Окреслимо актуальні проблемні концепції, що стосуються сучасних ІТ КОН і ДН.

Карантинні протипандемічні заходи загострили проблему втілення до сфери освіти тих концепцій і реалізацій ІТ КОН, що мають забезпечувати: широкомасштабне охоплення за багатьма чинниками (територіальними, часовими, людськими тощо) поза межами звичайного застосування; інтенсифікацію; адаптивність до імовірного характеру перервних складових сеансів навчання, в рамках планованих часових графіків. Бурхливий розвиток масових комунікаційних технологій підвищив актуальність проблеми розробки продуктивних ІТ КОН для опанування зазначених технологій, зокрема, майже не досліджені та вимагають ретельного опрацювання ІТ КОН мобільним технологіям, адаптовані до специфіки предметної галузі. Через ускладнення організації та функціонування електронних ресурсів і моделей-профілів користувачів комп'ютерно-орієнтованих інформаційних систем, у сфері освіти зростає актуальність створення високо результативних моделей, методів та ІТ оптимізації взаємодії користувачів із електронними ресурсами систем КОН на засадах методології систем штучного інтелекту й управління складними системами. Для всіх випадків, актуальним є розгляд особливостей і проблем інформаційної взаємодії з мультимедійним, гіпермедійним та інтерактивним контентом щільної технологічної інтеграції, значних обсягів і динаміки тощо.

### Висновки

Загальним підсумком дослідження стала низка результатів, що мають актуальність, наукову новизну та практичну цінність. Розроблено інформаційну модель – хронологічно-орієнтований текстовий опис поля знань предметної області, що охоплює еволюцію, сучасний стан та актуальні напрямки розвитку концепцій здійснення ІТ КОН в Україні з урахуванням дистанційних підходів. У тому числі, сформовано систематизоване подання й отримано аналітичну характеристику ключових теоретичних засад і практичних досягнень основоположних етапів еволюційного розвитку вітчизняних концепцій здійснення ІТ КОН, зокрема, ДН, що були підтримані на законодавчому рівні, протягом становлення незалежної України. Визначено підходи до вдосконалювання концепцій здійснення ІТ КОН. Наукова новизна роботи є такою: запропоновано нову інформаційну модель, що інтегрує низку дієвих підходів, котрі дозволяють доповнити й удосконалити існуючі вітчизняні концепції здійснення ІТ КОН та ДН, на основі урахування особливостей динаміки сучасних вимог до сфери освіти. Практичне значення роботи: перший етап реалізації інформаційної моделі, сформованої на основі результатів досліджень, показав можливість п'ятивідсоткового збільшення продуктивності ІТ КОН і ДН. Відзначимо, що основним наголосом дослідження був період з 1998 р. до 2019 р., що мав певну стабільність і передбачуваність умов здійснення освітньої діяльності. Детальніші результати дослідження особливостей подальшого часового періоду, де вплив на освітню сферу мали карантинні обмеження вірусної пандемії й умови воєнного стану, буде викладено в наступних публікаціях.

### Список використаної літератури

1. Політанський В. С. Концептуальні ідеї розвитку інформаційного суспільства. *Підприємництво, господарство і право / Теорія держави і права*. № 4. 2017. С. 140-144.
2. Жукова В. О. Вища освіта як чинник розвитку національної економіки. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки*. Вип. 15. 2009. С. 275-279.
3. Лавриненко Л. М. Освіта як чинник соціально-економічного розвитку держави. 2017. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/12/143.pdf> (дата звернення: 01.03.2024).
4. Константюк Н. І. Вплив рівня освіти на розвиток економіки та добробуту населення країни. 2017. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/161260604.pdf> (дата звернення: 01.03.2024).
5. Реформа освіти та науки. *Урядовий портал: Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України / Розвиток людського капіталу*. 2020. URL: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/reformi/rozvitok-lyudskogo-kapitalu/reforma-osviti> (дата звернення: 10.09.2024).

6. Мережа УРАН. Загальні відомості. 2020. URL: <http://uran.ua/~ukr/net-org.htm> (дата звернення: 24.10.2023).
7. Колосов В. На основі педагогічного експерименту. *Університет «Україна»*. №№ 5-6. 2006. URL: [https://vmurol.uu.edu.ua/index.php?idd=us\\_publication&group=15&us\\_publication=15](https://vmurol.uu.edu.ua/index.php?idd=us_publication&group=15&us_publication=15) (дата звернення: 26.10.2023).
8. Національна освітня електронна платформа. 2020. URL: <https://imzo.gov.ua/natsionalna-osvitnya-elektronna-platforma/> (дата звернення: 24.10.2023).
9. Ястребова О. І., Веселовська Г. В. Аналіз актуальних проблемних аспектів у галузі інформаційних систем і технологій комп'ютеризованого дистанційного навчання. *Молодь у світі сучасних технологій* (Україна, м. Херсон, 4-5 червня 2020 р.): Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції за тематикою: «Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві». Херсон: ФОП «Вишемирський В. С.», 2020. 442 с. С. 246-248.
10. Kunaev V. A., Veselovskaya G. V., etc. The research in the problematics of the current state for computer-oriented information technologies of the distance learning. *Молодь у світі сучасних технологій* (Україна, м. Херсон, 4 червня 2021 р.): Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою: «Сучасні інформаційні технології: стан та перспективи розвитку». Херсон: ФОП «Вишемирський В. С.», 2021. 168 с. С. 42-44.
11. Higher education in the digital age. Moving academia online / Eds.: A. Zorn, J. Haywood, J. Glachant. Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA: Edward Edgar Elgar Publishing. 2018. 170 p.
12. Willcox K. E., Sarma S., Lippel P. H. Online education: a catalyst for higher education reforms. Massachusetts Institute of Technology online education policy initiative Final Report. Cambridge: MIT. 2016. 56 p.
13. Khodakov V. Ye., Sokolov A. Ye., Veselovskaya G. V. Trainer and trainees modeling based on complex information approach to improvement of training information technologies and systems. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. № 2 (49). 2019. P. 119-130. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-13.
14. Веселовська Г. В., Ястребова О. І., Плахотнюк М. Ф., Кучміїчук М. М., Яценко Д. В. Аналіз ключових засад удосконалювання мережних інформаційних технологій комп'ютерного дистанційного навчання. *Scientific method: reality and future trends of researching* (Republic of Croatia, Zagreb, August 25, 2023): Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference: in collection of scientific papers "SCIENTA": scientific publication / European Scientific Platform. Zagreb: NGO European Scientific Platform [printed copies]; Primedia E-launch LLC [PDF], 2023. 233 p. P. 133-138. DOI: <https://doi.org/10.36074/scientia-25.08.2023>.

#### References

1. Politsanskiy V. S. (2017) Kontseptualni idei rozvytku informatsiinoro suspilstva [Conceptual ideas of the information society development]. *Pidpriemnytstvo, hospodarstvo i pravo / Teoriia derzhavy i prava*, no. 4, pp.140-144. [in Ukrainian].
2. Zhukova V. O. (2009) Vyshcha osvita yak chynnyk rozvytku natsionalnoi ekonomiky [The higher education as a factor in the development of the national economy]. *Naukovi pratsi Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Ekonomichni nauky*, no. 15, pp. 275-279. [in Ukrainian].
3. Lavrynenko L. M. (2017) Osvita yak chynnyk sotsialno-ekonomichnoho rozvytku derzhavy [An education as a factor in the social and economic development of the state]. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/12/143.pdf> (data zvernennia: 01.03.2024). [in Ukrainian].
4. Konstantiuk N. I. (2017) Vplyv rinvnia osvity na rozvytok ekonomiky ta dobrobutu naseleння krainy [The influence of the level of education on the development of the economy and the well-being of the country's population]. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/161260604.pdf> (data zvernennia: 01.03.2024). [in Ukrainian].
5. (2020) Reforma osvity ta nauky [The reform of the education and science]. *Uriadovyi portal: Yedynyi veb-portal orhaniv vykonavchoi vlady Ukrainy / Rozvytok liudskoho kapitalu*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/reformi/rozvitok-lyudskogo-kapitalu/reforma-osviti> (data zvernennia:10.09.2024). [in Ukrainian].
6. (2020) Merezha URAN. Zahalni vidomosti [The Network URAN. General Information]. URL: <http://uran.ua/~ukr/net-org.htm> (data zvernennia: 24.10.2023). [in Ukrainian]
7. Kolosov V. (2006) Na osnovi pedarohichnoho eksperymentu [The based on a pedagogical experiment]. *Universytet "Ukraina"*, no. 5-6. URL: [https://vmurol.uu.edu.ua/index.php?idd=us\\_publication&group=15&us\\_publication=15](https://vmurol.uu.edu.ua/index.php?idd=us_publication&group=15&us_publication=15) (data zvernennia: 26.10.2023). [in Ukrainian].
8. (2020) Natsionalna osvitnia elektronna platforma [The national educational electronic platform]. URL: <https://imzo.gov.ua/natsionalna-osvitnya-elektronna-platforma/> (data zvernennia: 24.10.2023). [in Ukrainian].
9. Yastrebova O. I., Veselovskaya G. V. (2020) Analiz aktualnykh problemnykh aspektiv u haluzi informatsiinykh sistem i tekhnolohii kompiuteryzovanoho dystantsiynoho navchannia [The analysis of current problematic aspects in the field of information systems and technologies of the computerized distance learning]. *Molod u sviti suchasnykh tekhnolohii* (Ukraine, m. Kherson, 4-5 chervnia 2020 r.): Materialy IX Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii

za tematykoiu: “Vykorystannia informatsiinykh ta komunikatsiinykh tekhnolohii v suchasnomu tsyfrovomu suspilstvi”. Kherson: FOP “Vyshemyrskyi V. S.”. P. 246-248. [in Ukrainian].

10. Kunaev V. A., Veselovskaya G. V., etc. (2021) The research in the problematics of the current state for computer-oriented information technologies of the distance learning. *Molod u sviti suchasnykh tekhnolohii* (Ukraine, m. Kherson, 4 chervnia 2021 r.): Materialy X Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh za tematykoiu: «Suchasni informatsiini tekhnolohii: stan ta perspektyvy rozvytku». Kherson: FOP “Vyshemyrskyi V. S.”. P. 42-44.

11. Zorn A., Haywood J., Glachant J. (Eds.) (2018) Higher education in the digital age. Moving academia online. Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA: Edward Edgar Elgar Publishing. 170 p.

12. Willcox K. E., Sarma S., & Lippel P. H. (2016) Online education: a catalyst for higher education reforms. Massachusetts Institute of Technology online education policy initiative Final Report. Cambridge: MIT. 56 p.

13. Khodakov V. Ye., Sokolov A. Ye., & Veselovskaya G. V. (2019) Trainer and trainees modeling based on complex information approach to improvement of training information technologies and systems. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, no. 2(49), pp. 119-130. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-2-13.

14. Veselovskaya G. V., Yastrebova O. I., Plakhotniuk M. F., Kuchmiichuk M. M., Iatsenko D. V. (2023) Analiz kliuchovykh zasad udoskonaliuvannya merezhnykh informatsiinykh tekhnolohii kompiuternoho dystantsiinokho navchannya [The analysis in the key principles of improving network information technologies for computer distance learning]. *Scientific method: reality and future trends of researching* (Republic of Croatia, Zagreb, August 25, 2023): Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference: in collection of scientific papers “SCIENTA”: scientific publication / European Scientific Platform. Zagreb: NGO European Scientific Platform [printed copies]; Primedia E-launch LLC [PDF]. P. 133-138. DOI: <https://doi.org/10.36074/scientia-25.08.2023>.

В. В. ВІННИЧЕНКО

аспірант

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID: 0000-0002-8522-7348

## ПІДХОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ВІЗУАЛЬНИХ ДАНИХ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

У сфері обчислювального інтелекту інтерпретація візуальних даних лежить в основі безлічі застосувань, від автономних навігаційних систем до медичної діагностики. Однак властива невизначеність, присутня у візуальних даних, що виникає через такі фактори, як шум, оклюзії та мінливість зовнішнього вигляду об'єкта, створює значні проблеми для надійної інтерпретації. Традиційні методи комп'ютерного зору часто борються з неоднозначністю та неточністю даних реального світу, що призводить до пошуку на більш адаптивні та стійкі методи. Машинне навчання з його здатністю вчитися на складних шаблонах даних і адаптуватися до них стає ключовим рішенням цієї головоломки. У цьому документі досліджуються передові підходи машинного навчання, призначені для інтерпретації невизначених візуальних даних, що має вирішальне значення для підвищення точності та надійності автоматизованого візуального розуміння. Поява машинного навчання у сфері інтерпретації візуальних даних започаткував зміну парадигми, перехід від обробки на основі правил до навчання, керованого даними. Серед безлічі проблем невизначена інтерпретація візуальних даних вимагає тонкого підходу, коли система повинна не лише розпізнавати закономірності, але й кількісно оцінювати та керувати невизначеністю, притаманною вхідним даним. Ця невизначеність може проявлятися в різних формах, включаючи, але не обмежуючись цим, шум датчика, часткові оклюзії та неоднозначні межі об'єктів, які разом погіршують продуктивність звичайних систем перекладу. Тому ця наукова стаття спрямована на аналіз різних моделей і алгоритмів машинного навчання, які спеціально розроблені або адаптовані для інтерпретації візуальних даних в умовах невизначеності. Він зосереджений на розумінні того, як ці методи можуть ефективно обробляти та інтерпретувати дані, які є неоднозначними, неповними або спотвореними. Метою дослідження є вибір оптимального підходу до аналізу візуальних даних за допомогою штучного інтелекту в умовах невизначеності. Основною задачею дослідження є аналіз методів класифікації на основі відомих нейронних мереж, які орієнтовані на обробку та розпізнавання образів зображень.

**Ключові слова:** штучний інтелект, комп'ютерний зір, нейронні мережі, штучні нейронні мережі, згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі, розпізнавання образів.

V. V. VINNYCHENKO

Postgraduate Student

Uzhhorod National University

ORCID: 0000-0002-8522-7348

## MACHINE LEARNING APPROACHES FOR INTERPRETING VISUAL DATA UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

In the field of computational intelligence, the interpretation of visual data underlies many applications, from autonomous navigation systems to medical diagnostics. However, the inherent uncertainty present in visual data due to factors such as noise, occlusions, and variability in object appearance pose significant challenges to reliable interpretation. Traditional computer vision methods often struggle with the ambiguity and inaccuracy of real-world data, leading to a demand for more adaptive and robust methods. Machine learning, with its ability to learn from and adapt to complex data patterns, becomes a key solution to this puzzle. This paper explores advanced machine learning approaches designed to interpret uncertain visual data, which is critical to improving the accuracy and reliability of automated visual understanding. The emergence of machine learning in the field of visual data interpretation initiated a paradigm shift from rule-based processing to data-driven learning. Among the many challenges, the uncertain interpretation of visual data requires a fine-grained approach where the system must not only recognize patterns, but also quantify and manage the uncertainty inherent in the input data. This uncertainty can take many forms, including but not limited to sensor noise, partial occlusions, and ambiguous object boundaries, which together degrade the performance of conventional translation systems. Therefore, this research paper aims to analyze various machine learning models and algorithms that are specially developed or adapted for the interpretation of visual data under conditions of uncertainty. It focuses on understanding how these techniques can effectively process and interpret data that is ambiguous, incomplete, or distorted. The purpose of the research is to choose the optimal approach to the analysis of visual data using artificial intelligence under conditions of uncertainty. The main task of the research is the analysis of classification methods based on well-known neural networks, which are focused on the processing and recognition of image patterns.

**Key words:** artificial intelligence, computer vision, neural networks, artificial neural networks, convolutional neural networks, recurrent neural networks, pattern recognition.

### Постановка проблеми

Дослідження машинного навчання, особливо у галузі обробки невизначених візуальних даних, виявило кілька серйозних проблем, які суттєво впливають на ефективність існуючих підходів. Однією з важливих проблем є природа самих невизначених візуальних даних; він часто неповний, галасливий та двозначний. Такі характеристики створюють суттєві перешкоди для алгоритмів машинного навчання, які зазвичай покладаються на точні та зрозумілі дані для ефективного навчання. Притаманна невизначеність вимагає розробки моделей, які можуть допускати неточності, а й виводити недостатню інформацію щоб одержати точних прогнозів.

Крім того, висока розмірність візуальних даних ще більше посилює ці проблеми. Моделі машинного навчання важко справляються із завданням ефективного обробки та аналізу цих об'ємних даних без втрати важливої інформації. Це з прокляттям розмірності, коли продуктивність алгоритмів знижується зі збільшенням розмірності даних. Як наслідок, методи вибору ознак та зменшення розмірності набувають вирішального значення, проте визначення найбільш значущих ознак без відкидання інформації, яка може мати життєво важливе значення в контексті невизначеності, стає складним завданням.

Більше того, динамічний характер візуального середовища додає ще одного рівня складності. Зміни освітлення, перспективи та оклюзії можуть суттєво вплинути на зовнішній вигляд візуальних даних, збільшуючи невизначеність. Алгоритми машинного навчання мають бути адаптивними та надійними, щоб справлятися з такими змінами, проте багатьом сучасним моделям не вистачає гнучкості, щоб робити це ефективно. Вони часто не можуть добре узагальнити різні умови, що призводить до зниження точності та надійності.

Ще одним важливим завданням є розробка узагальнених моделей, які можуть добре працювати у різних завданнях та умовах. Багато існуючих алгоритмів машинного навчання призначені для вирішення конкретних завдань і можуть неефективно працювати поза передбачуваним контекстом. Відсутність можливості узагальнення обмежує застосування таких моделей до ширшого кола завдань, що вимагає створення більш універсальних та адаптованих алгоритмів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Нещодавні досягнення в машинному навчанні, зокрема в архітектурах глибокого навчання, таких як згорткові нейронні мережі (CNN), генеративні змагальні мережі (GAN) і байесовські нейронні мережі, показали багатообіцяючі можливості для вирішення цих проблем. Ці моделі, завдяки своїй складній архітектурі та алгоритмам навчання, можуть витягувати значущі шаблони з даних, враховувати неоднозначність, притаманну візуальним вхідним даним, і надавати імовірнісні результати, які пропонують кількісно вимірювану міру невизначеності.

Технології автономного водіння в основному покладаються на машинне навчання, щоб зрозуміти складне, динамічне та часто невизначене візуальне середовище. Ці системи об'єднують дані з багатьох датчиків, включаючи камери, LiDAR і радар, щоб створити повне розуміння оточення автомобіля. Проблема полягає в тому, щоб інтерпретувати ці дані в умовах змінних умов, таких як зміна погоди, різне освітлення та непередбачувана поведінка інших учасників дорожнього руху. Алгоритми машинного навчання, особливо глибокі нейронні мережі, навчаються на величезних наборах даних, щоб розпізнавати дорожні знаки, пішоходів, інші транспортні засоби та дорожню розмітку, навіть якщо ці елементи частково затемнені або спотворені. Здатність точно інтерпретувати такі невизначені візуальні дані має вирішальне значення для прийняття рішень у режимі реального часу, забезпечення безпеки та надійності автономних транспортних засобів і підтримки функцій ADAS, таких як автоматичне гальмування, допомога в утриманні смуги руху та виявлення пішоходів [1, с. 5].

У галузі медицини моделі машинного навчання відіграють ключову роль в інтерпретації візуальних даних, отриманих різними методами візуалізації (МРТ, КТ, рентген), щоб допомогти в діагностиці, плануванні лікування та моніторингу прогресування захворювання. Ці моделі стикаються з проблемою розшифровки зображень, які можуть містити неоднозначні або ледве помітні ознаки патології, часто приховані через складність біологічних структур або наявність артефактів. Удосконалені методи машинного навчання, включаючи згорткові нейронні мережі та трансферне навчання, продемонстрували надзвичайні можливості в ідентифікації та класифікації пухлин, прогнозуванні розвитку захворювань і сегментації анатомічних структур. Це не тільки підвищує діагностичну точність, але й полегшує персоналізовану медицину шляхом адаптації планів лікування до стану окремих пацієнтів, що значно впливає на результати пацієнтів та ефективність медичної допомоги [2, с. 3].

Також у контексті російської збройної агресії проти України машинне навчання підвищує точність і швидкість ідентифікації та відстеження цілей, аналізуючи дані з кількох датчиків у режимі реального часу. Ці системи навчені розпізнавати конкретні військові цілі, такі як літаки, кораблі чи бронетехніка, серед безлічі цивільних об'єктів за різних умов навколишнього середовища та рівнів візуальної оклюзії. Завдяки точному визначенню та відстеженню цілей алгоритми машинного навчання підтримують системи наведення ракет, повітряні бойові безпілотні літальні апарати та наземні системи захисту, забезпечуючи високий рівень точності та знижуючи ризик супутнього збитку [3, с. 8].

Хоча машинне навчання не пов'язане безпосередньо з інтерпретацією візуальних даних, воно також відіграє важливу роль у військовій кібербезпеці та зусиллях у сфері інформаційної війни. Алгоритми машинного навчання

аналізують шаблони трафіку даних, щоб виявити аномалії, які можуть вказувати на кібератаки або шпигунську діяльність [4, с. 7]. У контексті інформаційної війни машинне навчання може допомогти в аналізі соціальних медіа та онлайн-вмісту для виявлення дезінформаційних кампаній або психологічних операцій, які часто включають аналіз мультимедійного вмісту, включаючи зображення та відео, для розуміння та протидії цим операціям.

**Формулювання мети дослідження**

Мета цього дослідження полягає в тому, щоб проаналізувати сучасні підходи машинного навчання для інтерпретації візуальних даних в умовах невизначеності. Дослідження має на меті виявити основні виклики та обмеження існуючих методів, зокрема проблеми з неповними, зашумленими даними та високою розмірністю. Особлива увага приділяється оцінці застосування згорткових нейронних мереж (CNN), байєсовських нейронних мереж (BNN) та інших сучасних архітектур для вирішення проблем візуальних невизначеностей у різних сферах, таких як автономне водіння, медицина та військові технології.

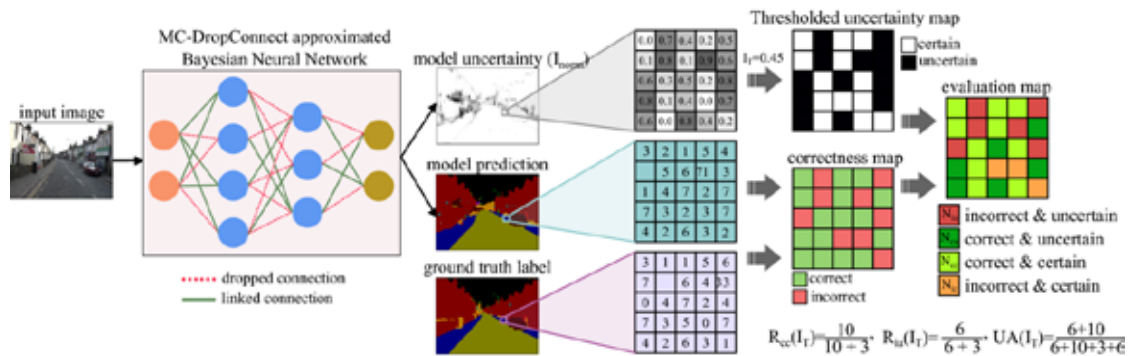
**Викладення основного матеріалу дослідження**

**Підходи до аналізу даних за умов невизначеності за допомогою машинного навчання**

При вивченні підходів до аналізу даних в умовах невизначеності з використанням машинного навчання стає обов'язковим враховувати нюанси методологій, які використовуються для керування та інтерпретації неоднозначної чи неповної інформації. Одним з основних підходів є ймовірнісне моделювання, при якому розподіли ймовірностей використовуються для вираження невизначеностей над змінними. Наприклад, байєсовські методи дозволяють інтегрувати попередні знання з даними, що спостерігаються, оновлюючи уявлення про параметри моделі або прогнози в міру появи нових даних. Це особливо ефективно у сценаріях, де даних мало або вони зашумлені, оскільки включення попередніх розподілів може спрямовувати процес навчання, роблячи його стійкішим до невизначеностей.

**Байєсівська нейронна мережа (BNN)**

Байєсівська нейронна мережа (BNN) – це тип нейронної мережі, яка застосовує принципи байєсівської ймовірності для оцінки невизначеності прогнозів. На відміну від традиційних нейронних мереж, які надають точкові оцінки як прогнози, BNN пропонують ймовірнісну інтерпретацію, розміщуючи розподіли за вагами мережі. Цей підхід дозволяє BNN як прогнозувати результат, а й кількісно оцінювати невизначеність його прогнозу, забезпечуючи повніше уявлення про процес прийняття рішень.



**Рис. 1. Загальна архітектура згорткової нейронної мережі BNN**

Робота BNN починається з визначення апіорних розподілів по терезах мережі, що представляють наші переконання про терези до спостереження будь-яких даних. Оскільки дані подаються в мережу під час навчання, теорема Байєса застосовується для оновлення цих апіорних значень до апостеріорних, відображаючи наші оновлені уявлення про терези після розгляду доказів, наданих даними. Цей процес включає обчислення ймовірності спостереження даних з урахуванням ваг і об'єднання їх з попередніми даними для отримання апостеріорного розподілу по вагах.

Оскільки обчислення справжнього апостеріорного розподілу часто складно для мереж, що становлять практичний інтерес, використовуються різні методи апроксимації, такі як метод варіаційного виведення або методи Монте-Карло з марковським ланцюгом (MCMC). Після навчання мережі для будь-якого заданого вхідного сигналу BNN використовує ці апостеріорні розподіли по терезах для генерації розподілу за вихідними даними, забезпечуючи тим самим як прогноз, так і міру його невизначеності [5, с. 5].

**Переваги:**

- BNN природним чином визначають кількісну невизначеність у своїх прогнозах, що є неоціненним для критично важливих програмних засобів, таких як охорона здоров'я або автономне водіння, де прийняття рішень в умовах невизначеності має вирішальне значення.

- Імовірнісна природа BNN пропонує форму регуляризації, що потенційно зменшує перенавчання за рахунок інтеграції ваг замість їх прив'язки до точкових оцінок.
  - Подібно до інших байєсовських моделей, BNN можуть включати попередні знання за допомогою вибору апіорних розподілів ваг, що потенційно підвищує продуктивність при нестачі даних.
  - Завдяки ефективному використанню попередніх знань та зосередженню уваги на розподілах за параметрами, BNN можуть працювати краще, ніж традиційні нейронні мережі у сценаріях з обмеженими даними [6, с. 8].
- Мінуси BNN:
- Процес навчання BNN та апроксимації апостеріорних розподілів за вагами потребує більше обчислювальних зусиль, ніж навчання традиційних нейронних мереж, вимагаючи більше обчислювальних ресурсів та часу [7, с. 10].
  - Реалізація BNN та пов'язаних з ними методів апостеріорної апроксимації може бути складним завданням, що потребує досвіду як у глибокому навчанні, так і у байєсівському висновку.
  - Незважаючи на досягнуті успіхи, масштабування BNN до великих наборів даних або складних моделей залишається проблемою через обчислювальні витрати, пов'язані з обчисленням або апроксимацією апостеріорних даних.
  - Вибір апіорних розподілів може суттєво вплинути на продуктивність BNN, а непридатні апіорні значення можуть призвести до поганої продуктивності моделі, ускладнюючи процес вибору моделі.

### Згорткові нейронні мережі (CNN)

Згорткова нейронна мережа (CNN) – це клас глибоких нейронних мереж, які найчастіше застосовуються для аналізу візуальних зображень. Він спеціально розроблений для обробки піксельних даних та використовується в різних додатках, включаючи розпізнавання зображень та відео, класифікацію зображень, аналіз медичних зображень та обробку природної мови.

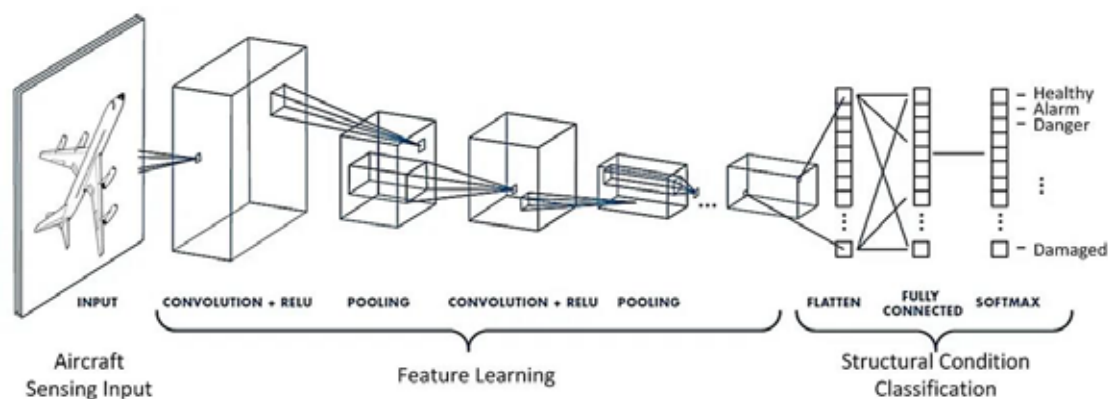


Рис. 2. Загальна архітектура згорткової нейронної мережі CNN

Основний принцип роботи CNN включає кілька рівнів, які обробляють і перетворюють зображення для вилучення ознак і виконання завдань класифікації або виявлення. Спочатку вхідне зображення проходить через серію згорткових шарів, де до зображення застосовуються фільтри (або ядра) для створення карток об'єктів, які ідентифікують певні функції, такі як краї, текстури або форми. Після згортковими шарами шари об'єднання (зниження дозволу) зменшують розмірність карт об'єктів, роблячи виявлення об'єктів інваріантним до масштабу і орієнтації. Після кількох згорткових шарів та шарів об'єднання високорівневі міркування в нейронній мережі виконуються через пов'язані рівні, де мережа класифікує зображення на основі функцій, витягнутих на попередніх шарах. Функція, звана функцією активації, наприклад ReLU, застосовується після кожної операції згортки, щоб внести нелінійність до моделі, дозволяючи їй вивчати складні закономірності [8, с. 7].

Короткий перелік переваг згорткових нейронних мереж:

- Автоматичне вилучення функцій. На відміну від традиційних алгоритмів, CNN автоматично виявляють та вивчають важливі функції без будь-якого втручання людини.
- Інваріантність перетворення зображення: CNN можуть розпізнавати об'єкти незалежно від змін положення, розміру або орієнтації в полі зображення через об'єднання шарів.
- Ефективна обробка зображень. Завдяки загальним вагам у згорткових шарах та об'єднанню в пули CNN вимагають менше параметрів, ніж повністю пов'язані мережі, що робить їх ефективнішими [9, с. 204].
- Універсальність. Їх можна застосовувати для вирішення широкого спектра завдань, крім розпізнавання зображень, включаючи обробку природної мови та прогнозування часових рядів.



Наступний список містить недоліки згорткових нейронних мереж:

- Високі обчислювальні витрати. Навчання CNN може бути трудомістким та трудомістким, що потребує потужного обладнання, зазвичай із високопродуктивними графічними процесорами.
- Ризик перенавчання. Без належної регуляризації та збільшення навчальних даних CNN мають тенденцію до перенавчання, особливо коли мережа дуже глибока або набір даних обмежений.
- Природа «чорної скриньки». Внутрішню роботу CNN іноді буває важко інтерпретувати, що ускладнює розуміння того, чому мережа прийняла те чи інше рішення.
- Для гарної роботи CNN зазвичай потрібні великі обсяги помічених навчальних даних, що може стати серйозною перешкодою в деяких додатках.

### Рекурентні нейронні мережі (RNN)

Рекурентна нейронна мережа (RNN) – це клас штучних нейронних мереж, у яких зв'язки між вузлами утворюють орієнтований граф вздовж тимчасової послідовності. Ця архітектура дозволяє їй демонструвати тимчасову динамічну поведінку і обробляти як окремі точки даних, а й цілі послідовності даних, як-от мова, текст чи відео. На відміну від нейронних мереж з прямим зв'язком, RNN можуть використовувати свій внутрішній стан (пам'ять) для обробки послідовностей вхідних даних, що робить їх потужними для вирішення таких завдань, як моделювання мови, розпізнавання мови та прогнозування часових рядів [10, с. 243].

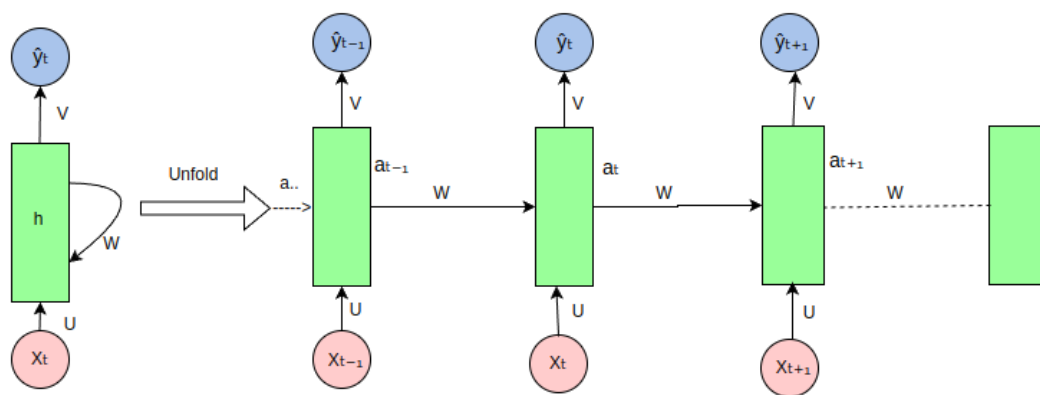


Рис. 3. Рекурентна нейронна мережа (RNN)

Принцип роботи даної моделі полягає в тому, що вона обробляє послідовності, перебираючи елементи та підтримуючи стан, що містить інформацію щодо того, що вона бачила досі. По суті, на кожному етапі послідовності RNN приймає два вхідні сигнали: поточний елемент та попередній стан. Він поєднує ці вхідні дані для генерації вихідних даних та оновлення свого стану, яке потім передається на наступний крок послідовності. Цей процес дозволяє мережі приймати рішення з урахуванням інформації, накопиченої попередніх етапах послідовності.

Головні переваги рекурентних нейронних мереж:

- Пам'ять: їхня здатність пов'язувати попередню інформацію з поточним завданням (наприклад, попередні слова для прогнозування наступного слова у реченні) робить їх ідеальними для послідовних завдань.
- Гнучкість довжини введення/виводу. На відміну від багатьох інших нейронних архітектур, RNN можуть обробляти вхідні та вихідні дані різної довжини, що робить їх універсальними для широкого спектру програмних засобів.
- Застосовність: RNN широко застосовні для вирішення різних завдань, пов'язаних із передбаченням послідовностей, таких як обробка природної мови, розпізнавання мови та прогнозування часових рядів.

Мінуси нейронних мереж рекурентного типу:

- Проблема зникнення/вибухового градієнта: RNN схильні до цих проблем під час навчання, що ускладнює вивчення довгострокових залежностей у даних.
- Інтенсивність обчислень. Поетапна обробка послідовностей та підтримка стану на всіх цих етапах може призвести до високих обчислювальних витрат, особливо для довгих послідовностей [11, с. 6].
- Проблема розпаралелювання. Через свою послідовну природу RNN нелегко розпаралелити, що обмежує швидкість навчання та виведення в порівнянні з іншими архітектурами, що допускають паралельну обробку вхідних даних.

### Висновки

В результаті проведеного дослідження слід відзначити, що рекурентні нейронні мережі (RNN), згорткові нейронні мережі (CNN) і байєсівські нейронні мережі (BNN) відіграють ключову роль у розвитку галузі машинного навчання, кожна з яких має свої архітектурні особливості та додатки. RNN чудово справляються з обробкою послідовних даних, що робить їх ідеальними для програмних засобів мовної обробки та аналізу часових

рядів, але їм доводиться боротися з довгостроковими залежностями та інтенсивністю обчислень. CNN, з іншого боку, дуже ефективні для завдань розпізнавання та обробки зображень, отримуючи вигоду зі своєї здатності автоматично вивчати та узагальнювати функції на основі візуальних вхідних даних, хоча і за рахунок необхідності значних обчислювальних ресурсів та великих наборів даних для оптимальної продуктивності. BNN привносять ймовірні міркування в нейронні мережі, пропонуючи засоби кількісної оцінки невизначеності в прогнозах, що має вирішальне значення для прийняття рішень в критично важливих додатках та за умов невизначеності. Однак складність їх реалізації та пов'язані з цим обчислювальні витрати створюють серйозні проблеми. У сукупності розуміння сильних і слабких сторін цих архітектур нейронних мереж має вирішальне значення для використання їх можливостей у різних галузях, вказуючи на майбутнє, в якому гібридні або спеціалізовані моделі зможуть подолати існуючі обмеження, підвищуючи як продуктивність, так і застосування моделей машинного навчання при вирішенні складних задач. Тому враховуючи переваги та недоліки досліджених нейронних мереж в даній роботі, дійшли висновку, що баєсівська нейронна мережа (BNN) найкраще підходить для аналізу візуальних даних за допомогою штучного інтелекту в умовах невизначеності, проте з деякими обмеженнями. Отримані результати потребують проведення додаткового, більш глибокого аналізу роботи баєсівської нейронної мережі для розуміння реальних обмежень у роботі за умов невизначеності.

### Список використаної літератури

1. Abhishek G., Alagan A., Ling G., Ahmed S. K. Deep learning for object detection and scene perception in self-driving cars: Survey, challenges, and open issues. *Array*. 2021. Т. 1, № 10. С. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100057>
2. Arshi P., Muhammad A. K., Rukhsana Z., Huma A., Muhammad A., Muhammad M. F. Vision Transformers in medical computer vision. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023. Т. 1, № 122. С. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106126>
3. Lee M., Valisetty R., Breuer A., Kirk K. Current and Future Applications of Machine Learning for the US Army. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1050263.pdf> (дата звернення: 20.10.2024).
4. Karaman M., Çatalkaya H., Aybar C. Institutional Cybersecurity from Military Perspective. *International journal of information security science*. 2016. № 5. – С. 1-11. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/299533127\\_Institutional\\_Cybersecurity\\_from\\_Military\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/299533127_Institutional_Cybersecurity_from_Military_Perspective)
5. Chang D. T. Bayesian Neural Networks: Essentials. URL: [https://www.researchgate.net/publication/353067263\\_Bayesian\\_Neural\\_Networks\\_Essentials](https://www.researchgate.net/publication/353067263_Bayesian_Neural_Networks_Essentials) (дата звернення: 20.10.2024).
6. Rabaey P., De Boom C., Demeester T. Neural Bayesian Network Understudy. URL: [https://www.researchgate.net/publication/365422792\\_Neural\\_Bayesian\\_Network\\_Understudy](https://www.researchgate.net/publication/365422792_Neural_Bayesian_Network_Understudy) (дата звернення: 20.10.2024).
7. Bonnet D., Hirtzlin T., Majumdar A., Dalgaty T. Bringing uncertainty quantification to the extreme-edge with memristor-based Bayesian neural networks. *Nature Communications*. 2023. Т. 1, № 14. С. 3-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-023-43317-9>
8. Khan Tareen S., Khan Tareen F. Convolutional Neural Networks for Beginners. *SSRN Electronic Journal*. 2023. С. 1-10. URL: [https://www.researchgate.net/publication/373813288\\_Convolutional\\_Neural\\_Networks\\_for\\_Beginners](https://www.researchgate.net/publication/373813288_Convolutional_Neural_Networks_for_Beginners)
9. Liu C. Research on image classification leveraging deep convolutional neural networks and visual. *Applied and Computational Engineering*. 2024. Т. 1, № 32. С. 200-209. DOI: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/32/20230212>
10. Wang R. (2024). Generalisation of Feed-Forward Neural Networks and Recurrent Neural Networks. *Applied and Computational Engineering*. 2024. Т. 1, № 40. С. 242-246. DOI: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/40/20230659>
11. Agrwal P., Kumar S., Shekhar Yadav C. Denoising watermarked images using Bidirectional Recurrent Convolutional Neural Networks. URL: [https://www.researchgate.net/publication/371899317\\_Denoising\\_watermarked\\_images\\_using\\_Bidirectional\\_Recurrent\\_Convolutional\\_Neural\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/371899317_Denoising_watermarked_images_using_Bidirectional_Recurrent_Convolutional_Neural_Networks) (дата звернення: 20.10.2024).

### References

1. Abhishek G., Alagan A., Ling G., Ahmed S. K. (2021) Deep learning for object detection and scene perception in self-driving cars: Survey, challenges, and open issues. *Array*. Т. 1, № 10. С. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100057>
2. Arshi P., Muhammad A. K., Rukhsana Z., Huma A., Muhammad A., Muhammad M. F. (2023) Vision Transformers in medical computer vision. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Т. 1, № 122. С. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106126>
3. Lee M., Valisetty R., Breuer A., Kirk K. Current and Future Applications of Machine Learning for the US Army. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1050263.pdf> (visited at: 20.10.2024).
4. Karaman M., Çatalkaya H., Aybar C. (2016) Institutional Cybersecurity from Military Perspective. *International journal of information security science*. № 5. – С. 1-11. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/299533127\\_Institutional\\_Cybersecurity\\_from\\_Military\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/299533127_Institutional_Cybersecurity_from_Military_Perspective)

5. Chang D. T. Bayesian Neural Networks: Essentials. URL: [https://www.researchgate.net/publication/353067263\\_Bayesian\\_Neural\\_Networks\\_Essentials](https://www.researchgate.net/publication/353067263_Bayesian_Neural_Networks_Essentials) (visited at: 20.10.2024).
6. Rabaey P., De Boom C., Demeester. T. Neural Bayesian Network Understudy. URL: [https://www.researchgate.net/publication/365422792\\_Neural\\_Bayesian\\_Network\\_Understudy](https://www.researchgate.net/publication/365422792_Neural_Bayesian_Network_Understudy) (visited at: 20.10.2024).
7. Bonnet D., Hirtzlin T., Majumdar A., Dalgaty T. (2023) Bringing uncertainty quantification to the extreme-edge with memristor-based Bayesian neural networks. *Nature Communications*. T. 1, № 14. C. 3-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-023-43317-9>
8. Khan Tareen S., Khan Tareen F. (2023) Convolutional Neural Networks for Beginners. *SSRN Electronic Journal*. C. 1-10. URL: [https://www.researchgate.net/publication/373813288\\_Convolutional\\_Neural\\_Networks\\_for\\_Beginners](https://www.researchgate.net/publication/373813288_Convolutional_Neural_Networks_for_Beginners)
9. Liu C. (2024) Research on image classification leveraging deep convolutional neural networks and visual. *Applied and Computational Engineering*. T. 1, № 32. C. 200-209. DOI: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/32/20230212>
10. Wang R. (2024). Generalisation of Feed-Forward Neural Networks and Recurrent Neural Networks. *Applied and Computational Engineering*. 2024. T. 1, № 40. C. 242-246. DOI: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/40/20230659>
11. Agrwal P., Kumar S., Shekhar Yadav C. Denoising watermarked images using Bidirectional Recurrent Convolutional Neural Networks. URL: [https://www.researchgate.net/publication/371899317\\_Denoising\\_watermarked\\_images\\_using\\_Bidirectional\\_Recurrent\\_Convolutional\\_Neural\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/371899317_Denoising_watermarked_images_using_Bidirectional_Recurrent_Convolutional_Neural_Networks) (visited at: 20.10.2024).

М. О. ВОЛК

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри електронних обчислювальних машин  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
ORCID: 0000-0003-4229-9904

В. Р. ХОРОШИЛОВ

магістрант кафедри електронних обчислювальних машин  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
ORCID: 0009-0006-2370-6024

## МЕТОДИ ВЗАЄМОДІЇ МОДУЛІВ ПЛАТФОРМИ ВІДДАЛЕНОГО ВИКЛИКУ ПРОЦЕДУР GRPC

У статті досліджуються методи взаємодії модулів у платформі віддаленого виклику процедур gRPC з метою підвищення ефективності розподілених програмних систем, побудованих на основі мікросервісної архітектури. Основною проблемою є вибір оптимальних методів взаємодії між модулями в умовах зростаючих вимог до продуктивності, масштабованості та надійності. Традиційні методи комунікації, такі як RESTful API, не завжди забезпечують необхідну ефективність, особливо при високих навантаженнях та вимогах до низьких затримок, що може призводити до неефективного використання ресурсів, збільшення часу розробки та підвищення експлуатаційних витрат.

У ході дослідження було розроблено програмний додаток, який моделює різні сценарії взаємодії між модулями з використанням gRPC. Проведені експерименти показали, що використання асинхронних викликів та стрімінгових RPC дозволяє зменшити затримки та підвищити пропускну здатність, а також знизити навантаження на процесор та пам'ять. Це сприяє ефективнішому використанню комп'ютерних ресурсів, зменшенню експлуатаційних витрат та часу, необхідного для розробки та розгортання системи.

Впровадження моделі публікація-підписка та інтеграція з брокерами повідомлень, такими як Kafka, підвищує стійкість системи до збоїв, забезпечує асинхронну взаємодію та зменшує час розгортання нових модулів. Однак це потребує додаткового налаштування та може збільшити складність системи.

Отримані результати дозволяють розробникам приймати обґрунтовані рішення щодо вибору методів взаємодії, що сприяє підвищенню продуктивності системи, економії апаратних ресурсів, скороченню часу розробки та розгортання, а також зниженню загальних витрат на експлуатацію програмних систем.

**Ключові слова:** комп'ютерні ресурси, розподілені системи, gRPC, мікросервісна архітектура, взаємодія модулів, синхронні та асинхронні виклики, публікація-підписка, брокер, хмарні обчислення.

М. О. VOLK

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Electronic Computers  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
ORCID: 0000-0003-4229-9904

V. R. HOROSHYLOV

Master's Student at the Department of Electronic Computing Machines  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
ORCID: 0009-0006-2370-6024

## METHODS OF MODULE INTERACTION IN THE GRPC REMOTE PROCEDURE CALL PLATFORM

The article explores methods of module interaction within the gRPC remote procedure call platform to enhance the efficiency of distributed software systems built on microservice architecture. The primary challenge lies in selecting optimal interaction methods between modules in the face of increasing demands for performance, scalability, and reliability. Traditional communication methods, such as RESTful APIs, do not always deliver the required efficiency, particularly under high load conditions and stringent low-latency requirements. This can lead to inefficient resource usage, longer development times, and increased operational costs.

During the study, a software application was developed to simulate various interaction scenarios between modules using gRPC. The experiments demonstrated that the use of asynchronous calls and streaming RPCs reduces latency, improves throughput, and decreases CPU and memory usage. These enhancements enable more efficient use of computational resources, lower operational expenses, and reduce the time required for system development and deployment.

*The implementation of the publish-subscribe model and integration with message brokers such as Kafka increases the system's fault tolerance, facilitates asynchronous interaction, and reduces the time needed to deploy new modules. However, this approach requires additional configuration and may increase the system's complexity.*

*The results obtained empower developers to make informed decisions regarding the selection of interaction methods, thereby improving system performance, saving computational resources, shortening development and deployment times, and reducing overall operational costs.*

**Keywords:** *computer resources, distributed systems, gRPC, microservice architecture, module interaction, synchronous and asynchronous calls, publish-subscribe, message brokers, cloud computing.*

### Постановка проблеми

У сучасних інформаційних технологіях швидко зростають складність програмних систем та вимоги до їх продуктивності, масштабованості й надійності. Мікросервісна архітектура стала популярним підходом, що дозволяє розподілити систему на незалежні сервіси, підвищуючи гнучкість та швидкість розробки.

Проте ефективна взаємодія між мікросервісами залишається складним завданням. Забезпечення швидкої та надійної комунікації в розподіленому середовищі є викликом, особливо коли традиційні методи, такі як RESTful API, не відповідають вимогам високого навантаження та низьких затримок.

Технологія gRPC, розроблена Google, пропонує інноваційне рішення цієї проблеми. Використовуючи протокол HTTP/2 та бінарний формат Protocol Buffers, gRPC забезпечує високопродуктивний обмін даними з низькими затримками, підтримуючи стрімінгові RPC. Це дозволяє створювати системи, здатні ефективно обробляти великі обсяги даних у реальному часі [1].

Однак різні методи взаємодії в gRPC мають свої особливості, що може ускладнювати вибір оптимального підходу. Неправильний вибір може призвести до зниження продуктивності та проблем з масштабуванням. Наприклад, синхронні виклики процедур прості у реалізації, але можуть блокувати ресурси; асинхронні виклики підвищують ефективність, але складніші в реалізації. Модель запит-відповідь може бути недостатньою для реактивних систем, а публікація-підписка додає складності в управлінні [2].

Відсутність глибокого розуміння цих методів та їх впливу на систему може призвести до неефективного використання ресурсів та підвищення витрат на розробку. Тому необхідно провести детальний аналіз методів взаємодії в gRPC, визначити їх вплив на продуктивність та розробити критерії для оптимального вибору залежно від специфічних вимог системи [3].

Розв'язання цієї проблеми є актуальним і сприятиме розвитку мікросервісної архітектури та розподілених систем. Це дозволить розробникам створювати більш ефективні та надійні програмні системи, оптимально використовуючи можливості технології gRPC.

### Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є підвищення ефективності розподілених програмних систем шляхом аналізу та оптимізації методів взаємодії модулів у платформі віддаленого виклику процедур gRPC. Це передбачає зменшення затримок при обміні даними між модулями, підвищення пропускну здатності системи, зниження навантаження на процесор та пам'ять, а також скоротить час розробки та розгортання програмного забезпечення.

Досягнення цієї мети сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню надійності та масштабованості системи, що є критично важливим для сучасних високонавантажених розподілених систем [4], та забезпечить більш раціональне використання комп'ютерних ресурсів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

У процесі розробки програмного додатку для дослідження методів взаємодії модулів у платформі віддаленого виклику процедур gRPC було обрано мікросервісну архітектуру як основний підхід.

Структура проекту організована з урахуванням принципів модульності та розділення обов'язків. Вона включає окремі директорії для клієнтської та серверної частин, конфігураційних файлів, протоколів, результатів експериментів та скриптів автоматизації [5].

Реалізація сервісів за допомогою gRPC здійснюється шляхом визначення інтерфейсів сервісів та структури повідомлень у файлах з розширенням .proto. Використання Protocol Buffers версії 3 забезпечує ефективну та компактну серіалізацію даних, що зменшує розмір переданих повідомлень та підвищує швидкість системи. Після визначення протоколів за допомогою утиліти protoc генерується код на мові Go, який використовується в реалізації клієнтської та серверної частин. Це забезпечує чітку типізацію та сумісність між різними мовами програмування, що є важливим для підтримки багатомовних систем [6].

Серверна частина програми реалізує всі необхідні сервіси та запускає gRPC-сервер, який слухає на визначеному порту. Логіка серверних методів розміщена в окремих файлах, що сприяє модульності та спрощує тестування окремих компонентів. Серверна частина включає реалізацію синхронних та асинхронних викликів процедур, модель запит-відповідь, модель публікація-підписка, а також інтеграцію з брокерами повідомлень. Це дозволяє створити універсальну платформу для експериментів та дослідження різних методів взаємодії між модулями [7].

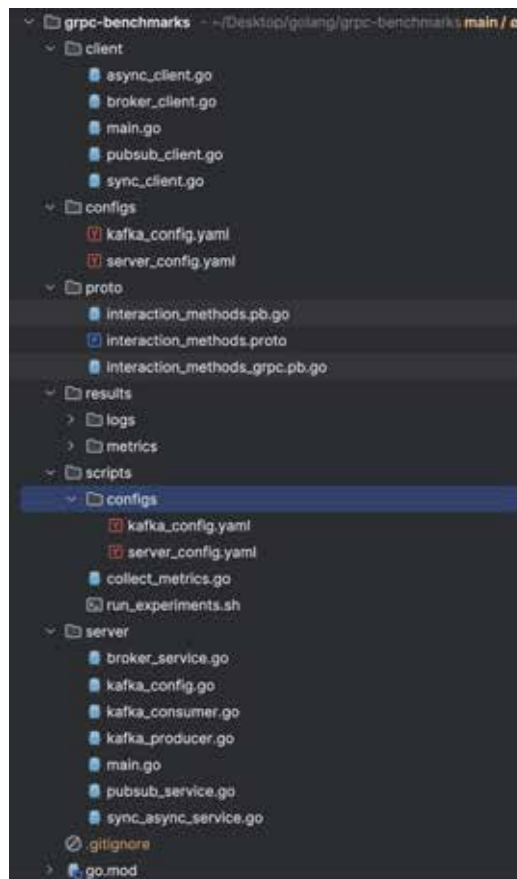


Рис. 1. Файлова структура проекту

Клієнтська частина програми надає універсальний інтерфейс командного рядка, що дозволяє запускати експерименти з різними параметрами. Основний файл `main.go` відповідає за розбір параметрів та виклик відповідних функцій для кожного методу взаємодії. Клієнтська програма дозволяє задавати такі параметри, як режим взаємодії (синхронний, асинхронний, публікація-підписка, брокер повідомлень), розмір повідомлень, кількість запитів та рівень паралельності. Це забезпечує гнучкість у проведенні експериментів та дозволяє детально дослідити вплив різних факторів на ефективність системи.

Для автоматизації проведення серії експериментів було розроблено скрипти, зокрема Bash-скрипт `run_experiments.sh`, який автоматизує процес запуску сервера, генерації повідомлень різного розміру, запуску клієнтів з необхідними параметрами та збору метрик. Це дозволяє проводити масштабні експерименти з різними рівнями навантаження, кількістю запитів, рівнем паралельності та розмірами повідомлень, забезпечуючи систематичний підхід до проведення досліджень та спрощуючи повторюваність тестів [8].

Збір метрик здійснюється за допомогою програми `collect_metrics.go`, яка виконується на клієнтській стороні та збирає інформацію про час відповіді, використання пам'яті, кількість активних горутин та інші системні показники. Зібрані метрики зберігаються у CSV-файлах, що дозволяє їх подальший аналіз та візуалізацію за допомогою Python-бібліотек `pandas` та `matplotlib`. Для мінімізації впливу процесу збору метрик на продуктивність системи було вирішено збирати метрики після кожного запиту та записувати їх у буферизований потік, що знижує накладні витрати на ввід-вивід та забезпечує точність отриманих даних [9].

Конфігурація брокерів повідомлень реалізується шляхом інтеграції Kafka як брокера повідомлень. Конфігураційні файли містять налаштування підключення до Kafka та параметри роботи з нею, що дозволяє серверній та клієнтській програмам встановлювати з'єднання та здійснювати публікацію та споживання повідомлень. Використання Kafka забезпечує високу масштабованість та стійкість до збоїв, а також підтримку складних сценаріїв маршрутизації повідомлень між модулями системи [10].

У межах даного дослідження було проведено серію експериментів для оцінки продуктивності різних методів взаємодії між мікросервісами. Експерименти здійснювалися на ПК MacBook Air 2020 з процесором Apple M1, 8 ГБ оперативної пам'яті та операційною системою macOS Sonoma.

Для кожного методу взаємодії були встановлені три рівні навантаження: низьке (10 запитів, паралельність 1), середнє (100 запитів, паралельність 10) і високе (1000 запитів, паралельність 100). Це дозволяє оцінити реакцію системи на різне навантаження.

Також тестувалися три розміри повідомлень: маленькі (10 байт), середні (1 КБ) та великі (1 МБ), щоб вивчити вплив обсягу даних на продуктивність і ефективність методів [3].

Зібрані метрики включали середній час відповіді, пропускну здатність, використання ЦП та пам'яті. Особливу увагу було приділено аналізу того, як кожен метод взаємодії реагує на зміну навантаження та розміру повідомлень.

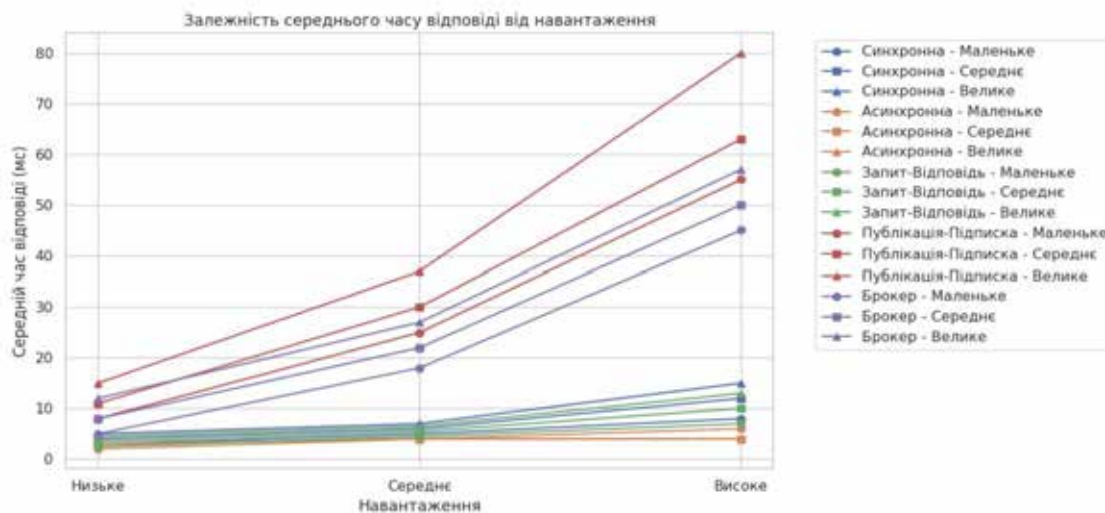


Рис. 2. Графік залежності середнього часу відповіді від навантаження

Аналізуючи результати, представлені на рис. 2, можна побачити, що синхронна взаємодія при низькому навантаженні демонструє найменший середній час відповіді – близько 3 мс для маленьких повідомлень. Проте зі збільшенням навантаження та розміру повідомлень час відповіді суттєво зростає, досягаючи 15 мс при високому навантаженні та великих повідомленнях. Асинхронна взаємодія показує більш стабільний час відповіді незалежно від навантаження; навіть при високому навантаженні середній час відповіді не перевищує 6 мс для маленьких повідомлень. Це свідчить про кращу масштабованість асинхронного методу. Метод запит-відповідь займає проміжне положення, забезпечуючи час відповіді менший, ніж у синхронній взаємодії, але дещо більший, ніж у асинхронній. Методи публікація-підписка та використання брокерів повідомлень демонструють більший середній час відповіді через додаткові операції з обробки повідомлень у чергах.

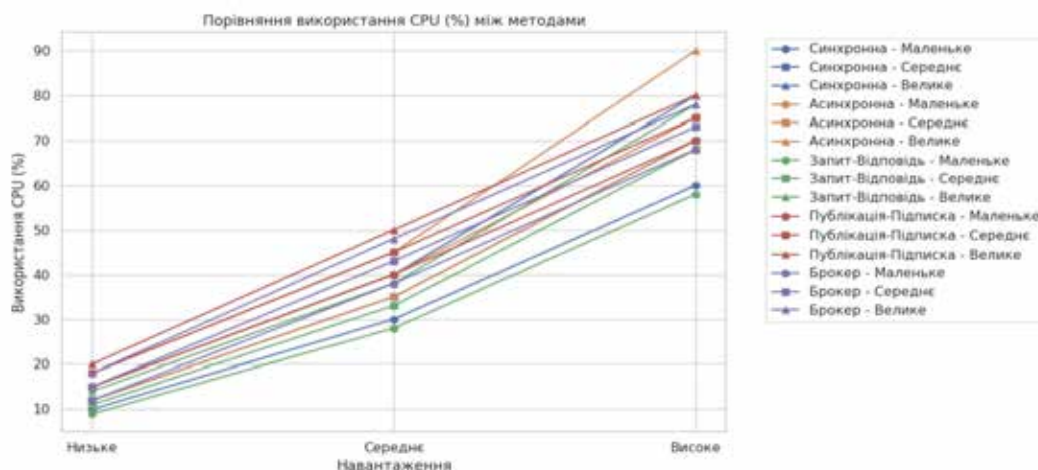


Рис. 3. Графік порівняння використання ЦП (%) між методами

На рис. 3 представлено порівняння використання ЦП (%) між різними методами. Синхронна взаємодія при високому навантаженні споживає до 80% процесорних ресурсів, що може призвести до перевантаження системи.

Асинхронна взаємодія, хоча й має підвищене використання ЦП при високому навантаженні (до 90%), забезпечує ефективніше оброблення запитів завдяки неперервній паралельній обробці. Метод запит-відповідь демонструє найменше використання ЦП – до 78% при високому навантаженні, що вказує на його ефективність у використанні ресурсів. Методи публікація-підписка та брокери повідомлень мають стабільне використання ЦП на рівні 80%, що пов'язано з додатковими витратами на обробку та маршрутизацію повідомлень.

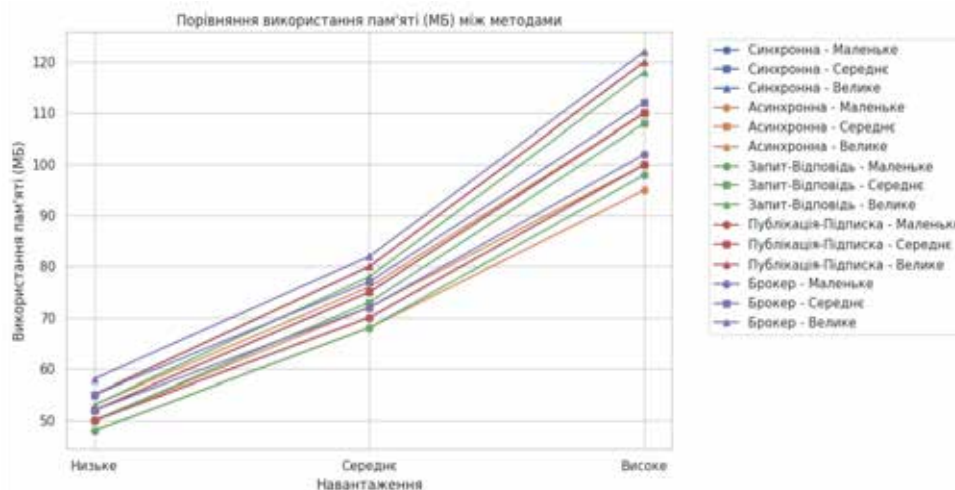


Рис. 4. Графік порівняння використання пам'яті (МБ) методами взаємодії

На Рис. 4 можна побачити, що синхронна та асинхронна взаємодії при низькому навантаженні споживають менше пам'яті – від 50 до 55 МБ. Зі збільшенням навантаження та розміру повідомлень споживання пам'яті зростає, досягаючи 120 МБ для синхронної та 110 МБ для асинхронної взаємодії при високому навантаженні. Метод запит-відповідь показує більш оптимальне використання пам'яті – до 118 МБ при високому навантаженні. Методи публікація-підписка та брокери повідомлень споживають більше пам'яті (до 122 МБ), що обумовлено необхідністю зберігання повідомлень у чергах та додаткових ресурсів для їх обробки.

#### Висновки

У результаті проведеного дослідження було детально проаналізовано продуктивність та ефективність різних методів взаємодії між мікросервісами за допомогою технології gRPC. Отримані дані дозволяють зробити обґрунтовані висновки щодо оптимального застосування кожного з розглянутих методів залежно від конкретних умов експлуатації системи.

Синхронна взаємодія продемонструвала високу ефективність у сценаріях з низьким навантаженням та невеликими розмірами повідомлень. Зокрема, при низькому навантаженні та маленькому розмірі повідомлення середній час відповіді становив лише 3 мс, а використання ЦП було на рівні 10%. Проте зі зростанням навантаження продуктивність синхронної взаємодії почала погіршуватися. Наприклад, при високому навантаженні та великому розмірі повідомлення середній час відповіді збільшився до 15 мс, а використання процесору зросло до 80%. Це свідчить про те, що синхронна взаємодія не є оптимальною для систем з високим навантаженням.

Асинхронна взаємодія показала кращу масштабованість та продуктивність при середньому та високому навантаженні. При високому навантаженні середній час відповіді для маленького повідомлення становив 6 мс, що на 25% менше порівняно з синхронною взаємодією. Використання ЦП при цьому досягало 70%, що є дещо вищим, але забезпечувало можливість обробляти до 1000 запитів з рівнем паралельності 100 без значного збільшення затримок.

Метод запит-відповідь оптимізує комунікацію, знижуючи час відповіді в середньому на 15% порівняно з синхронною взаємодією. Наприклад, при високому навантаженні та великому розмірі повідомлення середній час відповіді становив 13 мс проти 15 мс у синхронному методі. Навантаження на процесор було на 2–3% нижчим, що вказує на покращене використання ресурсів без суттєвої зміни архітектури системи.

Метод публікація-підписка та використання брокерів повідомлень виявилися ефективними при високому навантаженні, особливо для систем, що обробляють великі обсяги даних. При високому навантаженні та великому розмірі повідомлення сумарний середній час відповіді (додавання та отримання) становив 80 мс. Хоча це більше порівняно з іншими методами, цей підхід забезпечує розподіленість, асинхронність та стійкість системи до збоїв. Використання ЦП при цьому становило приблизно 80%, що є прийнятним для систем, де важлива можливість обробки великої кількості запитів та масштабування.



Аналіз отриманих результатів свідчить, що вибір оптимального методу взаємодії залежить від специфіки системи. Синхронна взаємодія підходить для систем з невеликим навантаженням (до 10 запитів з низькою паралельністю) та малими розмірами повідомлень (до 10 байт), де критично важливим є мінімальний час відповіді. Асинхронна взаємодія є оптимальною для систем з високим навантаженням (до 1000 запитів з високою паралельністю), дозволяючи зменшити час відповіді на 25% та ефективніше використовувати надані ресурси серверів. Метод запит-відповідь дозволяє оптимізувати існуючі синхронні системи, знижуючи час відповіді на 15% та покращуючи використання ресурсів без значних змін в архітектурі.

Метод публікація-підписка та використання брокерів повідомлень є ефективними при високому навантаженні та великих розмірах повідомлень (до 1 МБ), забезпечуючи асинхронність та стійкість системи, хоча й додають затримки в обробці.

Враховуючи отримані результати, розробникам рекомендується обирати метод взаємодії відповідно до конкретних вимог системи, балансу між продуктивністю, масштабованістю та складністю реалізації. Комбінування різних методів може стати оптимальним рішенням для складних систем, де необхідно забезпечити як високу швидкість, так і стійкість до навантажень.

### Список використаної літератури

1. About gRPC. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://grpc.io/about/>. Дата доступу: 19.11.2024.
2. Babal H. gRPC Microservices in Go. Manning. 2023. 256p. ISBN9781633439207.
3. Indrasiri K., Kuruppu D. gRPC: Up and Running: Building Cloud Native Applications with Go and Java for Docker and Kubernetes. O'REILLY. 2020. 320p. ISBN 1492058335
4. Mamchych O., Volk M. A unified model and method for forecasting energy consumption in distributed computing systems based on stationary and mobile devices. *Radioelectronic and Computer Systems*, [S.l.], v. 2024, n. 2, pp. 120135. DOI: <https://doi.org/10.32620/ reks.2024.2.10>.
5. Newman S. *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems* – O'Reilly Media, 2015. 280p. ISBN 978-1491950357.
6. Jean K. gRPC Golang Master Class: Build Modern API & Microservices. Udemu. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.udemy.com/course/grpc-golang/>. Дата доступу: 19.11.2024.
7. Ibyram B., Huss R. Kubernetes Patterns: Reusable elements for designing cloud native applications, 2nd Edition. Red Hat Developer. 2023. 352p. ISBN 978-1-4919-5633-8.
8. *Protocol Buffers Documentation*. Google Developers. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/overview>. Дата доступу: 19.11.2024.
9. REST vs gRPC: Comparing HTTP APIs. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://refine.dev/blog/grpc-vs-rest/>. Дата доступу: 19.11.2024.
10. Katihar E. *REST vs gRPC: Use Cases, Key Differences and Benefits*. Medium. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medium.com/@mail.ekansh/rest-vs-grpc-design-architecture-and-production-considerations-0a6369cd0a8c>. Дата доступу: 18.11.2024.

### References

1. About gRPC. Retrieved August 11, 2024, from <https://grpc.io/about> (accessed 19.11.2024)
2. Babal, H. (2023). GRPC microservices in go. Manning. 256p. ISBN9781633439207.
3. Indrasiri, K., & Kuruppu, D. (2020). GRPC: Up and running: Building cloud-native applications with Go and Java for Docker and Kubernetes. O'Reilly. 320p. ISBN 1492058335.
4. Mamchych, O., & Volk, M. (2024) A unified model and method for forecasting energy consumption in distributed computing systems based on stationary and mobile devices. *Radioelectronic and Computer Systems*, [S.l.], v. 2024, n. 2, pp.120-135. DOI: <https://doi.org/10.32620/ reks.2024.2.10>.
5. Newman, S. (2015). *Building microservices*. Oreilly & Associates Incorporated. 280p. ISBN 978-1491950357.
6. Jean K. gRPC Golang Master Class: Build Modern API & Microservices. Udemu. <https://www.udemy.com/course/grpc-golang> (accessed 19.11.2024).
7. Ibyram, B., & Huss, R. (2023). *Kubernetes patterns: Reusable elements for designing cloud native applications* (2nd ed.). O'Reilly Media. Red Hat Developer. 352p. ISBN 978-1-4919-5633-8.
8. *Protocol Buffers Documentation*. (2024). Google Developers. Retrieved November 16, 2024, from <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/overview/>. (accessed 19.11.2024)
9. REST vs gRPC: Comparing HTTP APIs. (2024). <https://refine.dev/blog/grpc-vs-rest>. (accessed 19.11.2024)
10. Katihar, E. (2024). *REST vs gRPC: Use Cases, Key Differences and Benefits*. Medium. <https://medium.com/@mail.ekansh/rest-vs-grpc-design-architecture-and-production-considerations-0a6369cd0a8c>. (accessed 18.11.2024)

Ю. О. ВЬЮНИК

аспірант

Інститут програмних систем Національної академії наук України

ORCID: 0009-0002-3213-8058

М. В. СТЕЖКО

магістр кафедри комп'ютерної інженерії

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

ORCID: 0009-0000-2586-5404

## ІНТЕГРАЦІЯ БЕЗДРОТОВИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ ПІДПРИЄМСТВА ТА ХМАРНИХ СЕРВІСІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ АДМІНІСТРУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Сучасний розвиток технологій бездротового зв'язку та хмарних сервісів відкриває нові можливості для оптимізації управління інформаційною інфраструктурою підприємств. Інтеграція бездротових локальних мереж (Wireless LAN) із хмарними сервісами забезпечує підвищення ефективності, гнучкості та безпеки мережі, знижуючи витрати на адміністрування та обслуговування. У цій роботі досліджуються ключові аспекти впровадження інтегрованих систем, що поєднують сучасні бездротові технології, такі як Wi-Fi 6 та Mesh-мережі, із потужними можливостями хмарних платформ (Microsoft Azure, AWS, Google Cloud тощо).

Основною метою роботи є розробка ефективної моделі інтеграції, яка задовольнить вимоги підприємств до продуктивності, надійності, масштабованості та безпеки мережевої інфраструктури. Дослідження починається з аналізу сучасних технологій бездротових мереж і хмарних сервісів. Розроблена модель інтеграції базується на використанні бездротових технологій нового покоління для побудови локальної мережі, яка забезпечує швидке підключення пристроїв, їх сегментацію за функціональними групами та захищений доступ до ресурсів через хмарну платформу. Хмарна інфраструктура виконує роль центру управління мережею, пропонуючи інструменти для автоматизації адміністрування, моніторингу в реальному часі, резервного копіювання та масштабування. Впроваджуються алгоритми взаємодії між локальною мережею та хмарою, які гарантують ефективну передачу даних та швидке реагування на можливі загрози. Особливий акцент зроблено на безпеці інтегрованих систем. Результати моделювання та тестування інтегрованої системи показали, що запропонована модель дозволяє суттєво знизити витрати на управління мережею, забезпечуючи стабільність і високу продуктивність навіть за умов значного навантаження.

Таким чином, інтеграція бездротових локальних мереж і хмарних сервісів є перспективним напрямком оптимізації інформаційної інфраструктури підприємств. Вона забезпечує не лише технічні переваги, але й економічну вигоду, оскільки скорочує час простоїв, мінімізує ризики збоїв і автоматизує рутинні операції адміністрування. Запропонована модель може бути адаптована до потреб підприємств різного масштабу, забезпечуючи гнучке та безпечне середовище для сучасного бізнесу.

**Ключові слова:** бездротові локальні мережі, інтеграція, хмарні сервіси, оптимізація, адміністрування, інформаційна інфраструктура.

YU. O. VIUNNIK

Postgraduate Student

Institute of Software Systems  
of the National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0009-0002-3213-8058

M. V. STEZHKO

Master at the Department of Computer Engineering

State University of Information and Communication Technologies

ORCID: 0009-0000-2586-5404

## INTEGRATION OF WIRELESS LOCAL NETWORKS OF THE ENTERPRISE AND CLOUD SERVICES FOR OPTIMIZATION OF INFORMATION INFRASTRUCTURE ADMINISTRATION

The modern development of wireless communication technologies and cloud services opens up new opportunities for optimizing the management of the information infrastructure of enterprises. The integration of wireless local networks (Wireless LAN) with cloud services provides increased efficiency, flexibility and network security, reducing administration and maintenance costs. This work explores the key aspects of implementing integrated systems that combine modern

wireless technologies such as Wi-Fi 6 and Mesh networks with the powerful capabilities of cloud platforms (Microsoft Azure, AWS, Google Cloud, etc.).

The main goal of the work is to develop an effective integration model that will meet the requirements of enterprises for performance, reliability, scalability and security of the network infrastructure. The study begins with the analysis of modern technologies of wireless networks and cloud services. The developed integration model is based on the use of new-generation wireless technologies to build a local network that provides fast connection of devices, their segmentation by functional groups, and secure access to resources through a cloud platform. Cloud infrastructure acts as a network management center, offering tools for automating administration, real-time monitoring, backup and scaling. Algorithms of interaction between the local network and the cloud are implemented, which guarantee efficient data transfer and quick response to possible threats. Special emphasis is placed on the security of integrated systems. The results of modeling and testing of the integrated system showed that the proposed model significantly reduces network management costs, ensuring stability and high performance even under conditions of significant load.

Thus, the integration of wireless local networks and cloud services is a promising direction for optimizing the information infrastructure of enterprises. It provides not only technical advantages, but also economic benefits, as it reduces downtime, minimizes the risk of failures and automates routine administration operations. The proposed model can be adapted to the needs of enterprises of various sizes, providing a flexible and secure environment for modern business.

**Key words:** wireless local networks, integration, cloud services, optimization, administration, information infrastructure.

### Постановка проблеми

У сучасних умовах динамічного розвитку технологій підприємства стикаються з необхідністю побудови ефективної, масштабованої та безпечної інформаційної інфраструктури. Водночас зростання обсягу даних, кількості пристроїв, підключених до мережі, та вимоги до мобільності створюють нові виклики для адміністрування локальних мереж. Традиційні мережеві рішення, що базуються на кабельних підключеннях та фізичних серверах, стають обмеженими через їхню складність, високу вартість обслуговування та недостатню гнучкість.

Розвиток бездротових технологій, таких як Wi-Fi 6 та Mesh-мережі, відкриває нові можливості для побудови локальних мереж, які забезпечують високу швидкість передачі даних, широке покриття та зручність підключення. Одночасно хмарні сервіси, зокрема Microsoft Azure, AWS та Google Cloud, пропонують потужні інструменти для автоматизації адміністрування, резервного копіювання, моніторингу та масштабування інфраструктури.

Однак інтеграція бездротових локальних мереж із хмарними сервісами супроводжується низкою проблем, серед яких:

- Складність інтеграції.
  - Невідповідність між локальними мережевими технологіями та хмарними платформами може створювати труднощі у налаштуванні та управлінні.
  - Відсутність стандартизованих підходів до взаємодії локальної мережі та хмари.
- Безпека даних.
  - Використання бездротових мереж та хмарних сервісів збільшує ризик кіберзагроз.
  - Необхідність забезпечення шифрування даних, автентифікації користувачів та захисту API.
- Масштабованість і продуктивність.
  - Зростання навантаження на мережу через підключення великої кількості пристроїв може призводити до збоїв чи уповільнення роботи.
  - Недостатня гнучкість традиційних підходів до управління ресурсами у великих підприємствах.
- Адміністрування та технічна підтримка.
  - Традиційні методи адміністрування локальних мереж є затратними за часом і вимагають значних зусиль з боку IT-фахівців.
  - Відсутність автоматизації у рутинних процесах, таких як оновлення, моніторинг чи усунення несправностей.

Ці проблеми вимагають пошуку нових підходів до побудови та управління мережами, які будуть відповідати вимогам сучасного бізнесу щодо продуктивності, безпеки та економічності. Інтеграція бездротових локальних мереж із хмарними сервісами є перспективним рішенням, яке дозволяє поєднати переваги сучасних бездротових технологій із потужністю та гнучкістю хмарної інфраструктури.

### Формулювання мети дослідження

Мета дослідження: Дослідити можливості інтеграції бездротових локальних мереж підприємства та хмарних сервісів для створення ефективної моделі інформаційної інфраструктури, яка забезпечить гнучке, безпечне та автоматизоване адміністрування мережевих ресурсів.

Для досягнення мети сформулюємо наступні задачі дослідження:

1. Провести аналіз сучасного стану та вимог до IT-інфраструктури підприємства.
2. Дослідити технології та стандарти бездротових мереж.
3. Розробити модель інтеграції бездротової мережі та хмарних сервісів.

4. Дослідити загрози, пов'язані з інтеграцією хмарних технологій та бездротових мереж, та запропонувати рішення для захисту даних

Запропоновані завдання спрямовані на створення комплексного рішення, яке забезпечить ефективність, мобільність і безпеку інформаційної інфраструктури підприємства.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Інтеграція бездротових локальних мереж (WLAN) з хмарними сервісами стає ключовим трендом в управлінні інформаційною інфраструктурою, забезпечуючи оптимізацію процесів адміністрування, підвищення продуктивності та масштабованість.

Використання програмно визначених мереж (SD-WAN) дозволяє покращити маршрутизацію трафіку, оптимізувати використання каналів зв'язку та забезпечити кращу інтеграцію локальних мереж з хмарними платформами. Це значно знижує затримки, покращує продуктивність мережі та спрощує управління масштабованими мережевими середовищами [1, 2]. Інтеграція хмарних технологій дозволяє автоматизувати багато аспектів адміністрування, які раніше вимагали значних людських ресурсів. Хмарні сервіси спрощують моніторинг систем, оновлення програмного забезпечення та управління обчислювальними ресурсами, знижуючи витрати та підвищуючи ефективність [3, 4]. Сучасні хмарні сервіси активно використовують AI та ML для прогнозування навантаження на мережу, автоматизації задач адміністрування та забезпечення кібербезпеки. Це дозволяє підвищити рівень захисту даних, автоматично ідентифікувати потенційні загрози та оптимізувати операційні процеси [5]. Під час інтеграції хмарних рішень важливо забезпечити відповідність стандартам безпеки, таким як GDPR та ISO. Це включає впровадження політик кібербезпеки, резервного копіювання та відмовостійкості систем для уникнення втрати даних у разі збоїв [6]. Хмарні технології дозволяють швидко адаптувати мережеву інфраструктуру до змінних бізнес-потреб [7].

Інтеграція бездротових локальних мереж і хмарних сервісів відкриває значні можливості для підприємств, забезпечуючи їхню гнучкість, продуктивність і безпеку. Це особливо актуально для організацій, які працюють у динамічному середовищі з високими вимогами до швидкості, надійності та безпеки. Впровадження таких рішень вимагає ретельного аналізу наявної інфраструктури, вибору відповідних технологій і планування стратегії інтеграції.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

##### 1. Аналіз сучасного стану та вимог до IT-інфраструктури підприємства

Проведемо оцінку існуючих технологій побудови локальних обчислювальних мереж на базі бездротових технологій. Сучасні підприємства активно впроваджують бездротові технології для побудови локальних обчислювальних мереж (LAN). Це обумовлено необхідністю створення мобільної, швидкої та гнучкої інфраструктури. Основні технології включають:

- **Технології Wi-Fi.** Wi-Fi 5 широко використовується завдяки високій швидкості передачі даних (до 3,5 Гбіт/с), однак має обмеження щодо ефективності у щільно населених мережах. Wi-Fi 6 стає новим стандартом завдяки оптимізованій роботі у середовищах із великою кількістю підключених пристроїв та підвищеній швидкості передачі даних (до 9,6 Гбіт/с).

- **Mesh-мережі.** Забезпечують широке покриття та високу надійність мережі, використовуючи декілька точок доступу, які динамічно взаємодіють одна з одною. Вони особливо ефективні для великих підприємств із розподіленими об'єктами.

- **IoT-технології.** Підключення та управління великою кількістю пристроїв (сенсорів, камер, пристроїв моніторингу) вимагає інтеграції спеціалізованих протоколів (наприклад, Zigbee, LoRa, Bluetooth Low Energy).

З розвитком цифровізації основні вимоги до IT-інфраструктури підприємств змінюються. Проведемо аналіз потреб підприємств у масштабованості, мобільності та безпеці інформаційної інфраструктури Серед ключових потреб виділяються:

- **Масштабованість**

- Підприємства потребують інфраструктури, яка легко адаптується до зростання кількості користувачів, пристроїв та обсягів даних.

- Забезпечення масштабованості досягається через використання Mesh-мереж, динамічних VLAN та можливостей хмарних платформ.

- **Мобільність**

- Сучасні бізнес-процеси вимагають доступу до мережі та корпоративних ресурсів незалежно від місця розташування працівників.

- Бездротові мережі нового покоління та VPN-технології забезпечують зручний та захищений доступ до ресурсів у віддаленому режимі.

- **Безпека**

- Зростання кількості кіберзагроз вимагає впровадження багаторівневого захисту. Основними напрямками є шифрування даних, автентифікація користувачів та сегментація трафіку.

Розглянемо основні хмарні сервіси для адміністрування мережі. Хмарні сервіси забезпечують централізоване управління та автоматизацію процесів адміністрування. Основні платформи, які можуть бути використані:

- **Microsoft Azure.** Пропонує широкий набір інструментів для моніторингу, масштабування та автоматизації роботи мережі. Інтеграція з Active Directory забезпечує спрощене управління доступом.
- **Amazon Web Services (AWS).** AWS дозволяє розгорнути хмарну інфраструктуру для управління мережею, використовуючи сервіси, такі як AWS IoT Core, AWS Shield (захист від DDoS) та AWS CloudTrail (аудит дій у мережі).
- **Google Cloud.** Платформа пропонує прості в налаштуванні сервіси для резервного копіювання, моніторингу та управління трафіком. Google Kubernetes Engine забезпечує контейнеризацію для управління IoT-пристроями.
- **Спеціалізовані хмарні сервіси для мереж.** Сервіси типу Cisco Meraki дозволяють управляти мережевою інфраструктурою, включаючи точки доступу, маршрутизатори та безпеку, з однієї хмарної платформи.

Сучасний стан IT-інфраструктури підприємств характеризується зростаючою потребою в мобільності, масштабованості та безпеці. Інтеграція бездротових технологій із хмарними платформами створює потужну основу для оптимізації адміністрування мережі, дозволяючи підприємствам реагувати на виклики цифрової епохи. Пріоритетними напрямками для розвитку є впровадження Wi-Fi 6, Mesh-мереж та хмарних сервісів для забезпечення гнучкості та автоматизації управління мережею.

## 2. Дослідження технологій та стандартів бездротових мереж

Розглянемо основні характеристики технологій бездротового зв'язку та виокремимо особливості сучасних технологій бездротового зв'язку (Табл. 1).

Таблиця 1

### Порівняльний аналіз технологій

Параметр	Wi-Fi 6	Mesh-мережі	IoT
Призначення	Новітній стандарт бездротового зв'язку, який забезпечує високу продуктивність і ефективність у середовищах із великим числом підключених пристроїв	Mesh-мережі складаються з декількох точок доступу, що взаємодіють між собою для створення єдиної мережі	Технології IoT спрямовані на підключення пристроїв для збору даних і автоматизації процесів
Швидкість передачі	Висока (до 9,6 Гбіт/с)	Помірна, залежить від зв'язку між вузлами	Низька, залежить від протоколу
Масштабованість	Обмежена кількістю точок доступу	Висока, легко додаються нові вузли	Дуже висока, адаптивна до великої кількості пристроїв
Надійність	Висока, за умови якісного обладнання	Дуже висока, завдяки резервуванню	Залежить від протоколу та енергозабезпечення
Енергоспоживання	Середнє, оптимізоване TWT	Середнє, залежить від кількості вузлів	Низьке для більшості пристроїв
Сфери застосування	Швидкі мережі для офісів, підприємств	Покриття великих площ, складні приміщення	Сенсори, автоматизація, моніторинг

Виокремивши особливості сучасних технологій бездротового зв'язку наведемо можливості їх інтеграції з хмарними сервісами (Табл. 2).

Таблиця 2

### Оцінка можливостей інтеграції з хмарними сервісами

Параметр	Wi-Fi 6	Mesh-мережі	IoT
Особливості інтеграції	Сумісність із хмарними платформами: Wi-Fi 6 підтримує API для інтеграції з хмарними інструментами моніторингу та управління.	Особливості інтеграції: завдяки самоорганізації Mesh-мережі легко підключаються до хмарних систем для розширеного управління	IoT-пристрої, підключені до локальної мережі, передають дані до хмари для зберігання, аналізу та прийняття рішень
Переваги	Висока швидкість передачі даних дозволяє оперативно завантажувати інформацію у хмару та отримувати доступ до аналітики в реальному часі	Можливість автоматичного оновлення прошивок через хмару, централізоване адміністрування та резервування	Ефективна обробка великих масивів даних, що генеруються сенсорами, у хмарному середовищі; можливість автоматизації через сценарії

Сучасні технології бездротових мереж мають високий потенціал для інтеграції з хмарними сервісами. Wi-Fi 6 забезпечує швидкість і надійність, Mesh-мережі додають масштабованості та стійкості, а IoT-технології дозволяють автоматизувати численні процеси. Разом ці рішення створюють основу для гнучкої, ефективної та безпечної інформаційної інфраструктури підприємства.

### 3. Розробка моделі інтеграції бездротової мережі та хмарних сервісів

Архітектура інтегрованої системи повинна забезпечити гнучкість, надійність та ефективність взаємодії між бездротовою локальною мережею (LAN) підприємства та хмарними сервісами. Основні елементи архітектури:

- **Бездротова локальна мережа**

- Основа мережі – точка доступу (Access Point), яка підтримує сучасні стандарти зв'язку (наприклад, Wi-Fi 6).
- Мережа повинна мати динамічне управління пропускну здатністю та можливість масштабування за допомогою Mesh-технологій.

- Використання VLAN для сегментації трафіку (наприклад, окремі сегменти для IoT-пристроїв, персоналу та гостьового доступу).

- **Хмарна інфраструктура**

- Використання платформи IaaS або PaaS (наприклад, AWS, Azure, Google Cloud) для управління ресурсами та зберігання даних.

- Хмарні сервіси забезпечують централізоване управління мережею, резервне копіювання, моніторинг та масштабування.

- **Шлюз зв'язку**

- Роутер або фаєрвол, що виконує роль шлюзу між локальною мережею та хмарою.

- Підтримка VPN для захищеної передачі даних.

- Інструменти фільтрації та аналізу трафіку для забезпечення безпеки.

**Розглянемо ключові показники продуктивності та безпеки.** Для оцінки ефективності розробленої моделі визначаються такі показники (Рис. 1):

#### Продуктивність

- Пропускна здатність (Bandwidth): обсяг даних, який може передаватися між локальною мережею та хмарою за одиницю часу.
- Час відгуку (Latency): швидкість реакції мережі на запити користувачів.
- Надійність (Uptime): відсоток часу, протягом якого система працює без перебоїв.

#### Безпека

- Рівень захисту трафіку: частка зашифрованих даних у загальному трафіку.
- Кількість виявлених загроз: частота виявлення спроб несанкціонованого доступу або атак на мережу.
- Час на усунення загроз: середній час, необхідний для виявлення та усунення проблеми.

#### Ефективність адміністрування

- Тривалість налаштування: час, необхідний для додавання нового пристрою до мережі.
- Автоматизація процесів: частка процесів, що здійснюються без втручання адміністратора (резервне копіювання, моніторинг).

**Рис. 1. Показники ефективності моделі**

Наведемо основні алгоритми взаємодії локальної бездротової мережі та хмарних інструментів (Рис. 2).

Розроблена модель забезпечує ефективну взаємодію бездротових мереж із хмарними сервісами, що дозволяє підвищити гнучкість і продуктивність інформаційної інфраструктури підприємства, зберігаючи високий рівень безпеки та оптимізуючи адміністрування.

### 4. Забезпечення безпеки та захисту даних

Для захисту інтегрованої системи необхідно використовувати багаторівневий підхід із залученням сучасних технологій безпеки (Рис. 3). Інтеграція бездротових мереж і хмарних сервісів створює нові вектори атак, які слід враховувати для забезпечення безпеки (Рис. 4).

Запропоновані рішення та політики забезпечують високий рівень захисту інтегрованої системи, мінімізують ризики кіберзагроз і гарантують збереження конфіденційності та доступності даних. Реалізація цих заходів сприятиме стабільній роботі як бездротової мережі, так і хмарної інфраструктури, адаптованої до сучасних викликів у сфері кібербезпеки.

<p>Алгоритм автентифікації та авторизації</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підключення користувача до бездротової мережі активує процес перевірки автентифікації через хмарний сервер (наприклад, SSO через Azure Active Directory).</li> <li>• Авторизація здійснюється відповідно до заданих політик безпеки (наприклад, різні рівні доступу до ресурсів залежно від профілю користувача).</li> </ul>
<p>Алгоритм моніторингу та управління</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Периферійні пристрої (точки доступу, IoT-девайси) регулярно передають дані про стан і використання ресурсів у хмарний центр моніторингу.</li> <li>• Хмарні сервіси аналізують трафік у реальному часі, виявляючи аномалії або можливі загрози.</li> </ul>
<p>Алгоритм резервного копіювання</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Дані локальної мережі автоматично копіюються у хмарне середовище згідно з заданим графіком.</li> <li>• У разі збою локального обладнання дані та налаштування можуть бути відновлені з хмари.</li> </ul>
<p>Алгоритм масштабування</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• При збільшенні навантаження на мережу (зростання кількості користувачів або трафіку) хмарні сервіси автоматично збільшують ресурси (наприклад, підключення нових віртуальних серверів для обробки даних).</li> </ul>

Рис. 2. Алгоритми взаємодії локальної бездротової мережі та хмарних інструментів

<p>VPN (Віртуальні приватні мережі)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Використання VPN для шифрування трафіку між користувачами бездротової мережі та хмарними сервісами.</li> <li>• Налаштування протоколів, таких як OpenVPN або IPsec, для забезпечення високого рівня безпеки.</li> </ul>
<p>Шифрування даних</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Використання протоколу WPA3 для захисту даних у бездротовій мережі.</li> <li>• Зашифроване зберігання даних у хмарі за допомогою алгоритмів AES-256.</li> </ul>
<p>Сервіси захисту від DDoS-атак</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Використання хмарних сервісів із вбудованими захистами від DDoS-атак (наприклад, AWS Shield, Azure DDoS Protection).</li> <li>• Інтеграція фаєрволів додатків (WAF) для аналізу та блокування небезпечного трафіку.</li> </ul>
<p>Системи багатофакторної автентифікації (MFA)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Впровадження MFA для доступу до хмарних сервісів та адміністративних панелей бездротової мережі.</li> <li>• Використання біометричних даних, токенів або OTP (одноразових паролів).</li> </ul>
<p>Моніторинг і аудит</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Налаштування системи моніторингу трафіку для виявлення аномалій у реальному часі.</li> <li>• Регулярне проведення аудиту безпеки як хмарної інфраструктури, так і бездротових мереж.</li> </ul>

Рис. 3. Запропоновані рішення для захисту даних

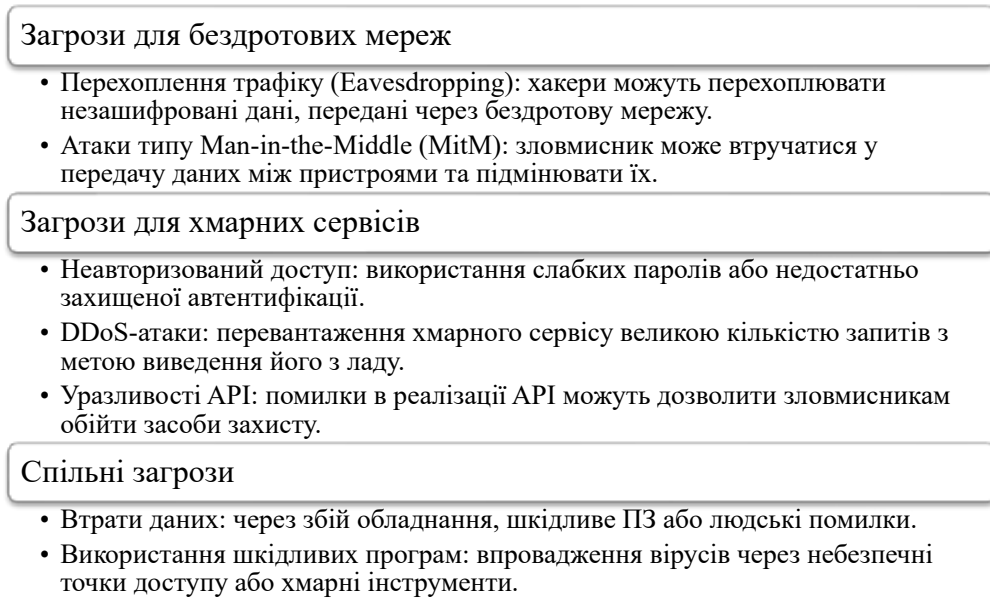


Рис. 4. Дослідження загроз, пов'язаних з інтеграцією хмарних технологій та бездротових мереж

Сформулюємо рекомендації з впровадження політик безпеки (Рис. 5).

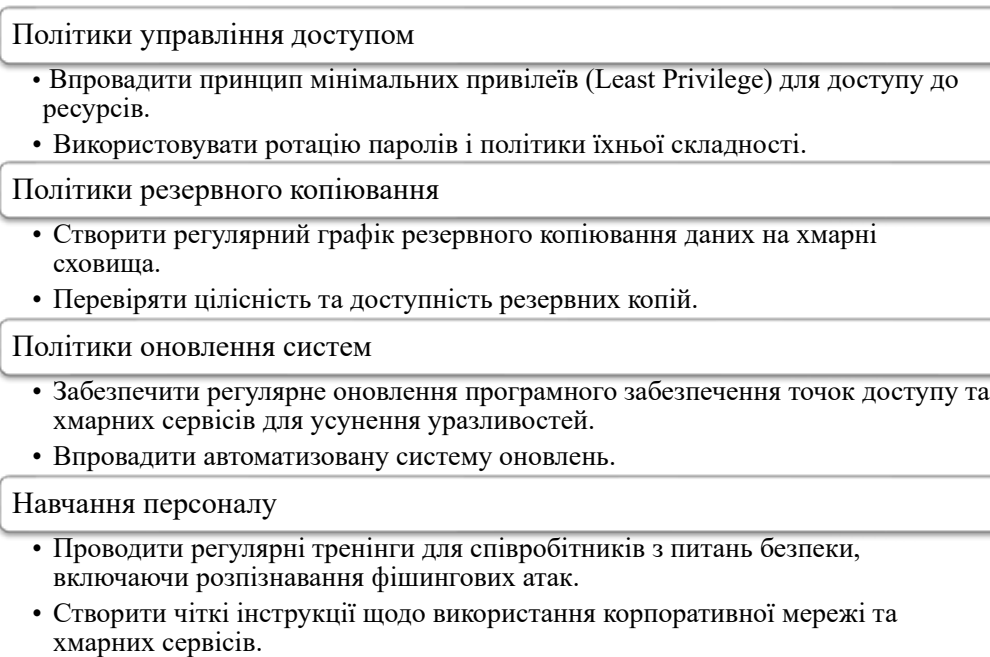


Рис. 5. Рекомендації з впровадження політик безпеки

#### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У ході дослідження підтверджено, що інтеграція бездротових локальних мереж підприємства та хмарних сервісів є ефективним рішенням для оптимізації управління інформаційною інфраструктурою. Основні висновки:

- **Підвищення ефективності мережевої інфраструктури.** Інтеграція бездротових мереж із хмарними сервісами забезпечує гнучкість, мобільність та масштабованість мережі. Завдяки впровадженню технологій нового покоління (Wi-Fi 6, Mesh-мережі) вдалося досягти стабільної роботи навіть у складних умовах із високим навантаженням.

- **Автоматизація процесів адміністрування.** Використання хмарних платформ дозволяє централізовано керувати мережею, автоматизувати моніторинг, резервне копіювання та оновлення. Це знижує адміністративні витрати та мінімізує втручання людини у рутинні процеси.



- **Забезпечення безпеки.** Впровадження таких засобів, як багатофакторна автентифікація, шифрування трафіку (WPA3, AES-256), VPN та хмарні інструменти захисту від атак (зокрема DDoS), гарантує високий рівень захисту даних. Система виявилась стійкою до основних загроз, таких як перехоплення трафіку або несанкціонований доступ.

- **Економічна вигода.** Інтеграція дозволяє скоротити витрати на обслуговування фізичної інфраструктури, зокрема серверів, і забезпечує швидке масштабування ресурсів у разі потреби. Це робить систему привабливою для підприємств різного масштабу.

- **Гнучкість і адаптивність.** Запропонована модель є універсальною і може бути адаптована до специфічних потреб різних підприємств. Вона дозволяє інтегрувати нові пристрої та сервіси без значних витрат часу чи ресурсів.

Розглянемо перспективи подальших досліджень, які полягають в наступному:

- **Поглиблений аналіз безпеки.** Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення більш складних сценаріїв кіберзагроз, зокрема атак із використанням штучного інтелекту. Важливо дослідити можливості інтеграції системи з інструментами активного виявлення та нейтралізації загроз.

- **Оптимізація роботи IoT-пристроїв.** Зростання кількості IoT-пристроїв у бездротових мережах створює нові виклики, пов'язані з їх інтеграцією та управлінням. Перспективними є дослідження, спрямовані на покращення ефективності використання IoT у хмарних середовищах.

- **Використання штучного інтелекту.** Інтеграція алгоритмів машинного навчання для автоматизованого моніторингу, прогнозування збоїв та оптимізації мережевого трафіку може суттєво підвищити продуктивність та надійність системи.

- **Розробка моделей для різних галузей.** Модель інтеграції може бути адаптована для різних секторів, таких як охорона здоров'я, виробництво чи освіта. Це потребує створення специфічних рішень із врахуванням вимог конкретних галузей.

- **Енергоефективність.** Подальші дослідження можуть бути зосереджені на зниженні енергоспоживання системи, що стає критично важливим із огляду на екологічні вимоги та зростання вартості енергоресурсів.

- **Технології 5G та їх впровадження.** З розвитком стандарту 5G відкриваються нові можливості для інтеграції з хмарними сервісами. Подальші дослідження повинні оцінити, як використання 5G може підвищити продуктивність та мобільність мереж.

Таким чином, інтеграція бездротових локальних мереж та хмарних сервісів є перспективним напрямком, який не лише відповідає сучасним технологічним викликам, але й сприяє розвитку інформаційної інфраструктури підприємств. Дослідження у цій галузі можуть забезпечити нові рішення для підвищення ефективності, безпеки та гнучкості системи, адаптованої до динамічних потреб сучасного бізнесу.

### Список використаної літератури

1. Segeč P., Moravčík M., Uratmová J., Papán J., Yeremenko O. SD-WAN – architecture, functions and benefits. *18th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Košice, Slovenia. 2020. P. 593-599. doi: 10.1109/ICETA51985.2020.9379257.

2. Смірнова Т., Поліщук Л., Смірнов О. Дослідження хмарних технологій як сервісів. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. Т. 3. № 7. 2020. С. 43–62.

3. Поперешняк С.В., Вечерковська А.С. Дослідження розробки вимог до хмарних програм та сервісів. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. № 4 (87). 2023. С. 258-265. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.30>

4. Wang X. The Optimization of Smart Community Model Based on Advanced Network Information Technology. *IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, Chongqing, China. 2020. P. 2579-2583. doi: 10.1109/ITNEC48623.2020.9085136.

5. Popereshnyak S., Vecherkovskaya A., Zhebka V. Intrusion Detection based on an Intelligent Security System using Machine Learning Methods. *CEUR Workshop Proceedings*. 3654. 2024. P. 163–178.

6. Anakhov P., Zhebka V., Popereshnyak S., Skladannyi P., Sokolov V. Protecting Objects of Critical Information Infrastructure from Wartime Cyber Attacks by Decentralizing the Telecommunications Network. *CEUR Workshop Proceedings*. 3550. 2023. P. 240–245

7. Семіколенова С. В., Корчагін Д. С. Оцінювання інвестиційної привабливості галузі хмарних технологій. *Наукові записки НаУКМА. Економічні науки*. 8(1). 2023. С. 115–121. <https://doi.org/10.18523/2519-4739.2023.8.1.115-121>

### References

1. Segeč P., Moravčík M., Uratmová J., Papán J., Yeremenko O. (2020) SD-WAN – architecture, functions and benefits. *18th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Košice, Slovenia. pp. 593-599. doi: 10.1109/ICETA51985.2020.9379257.

2. Smirnova T., Polishchuk L, Smirnov O. (2020) Doslidzhennya khmarnykh tekhnolohiy yak servisiv. [Research on cloud technologies as services.] *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika*. no. 3(7). P. 43–62. [in Ukrainian].
3. Popereshnyak S.V., Vecherkovska A.S. (2023) Doslidzhennya rozrobky vymoh do khmarnykh prohram ta servisiv. [Research on the development of requirements for cloud applications and services] *Visnyk Khersons'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu*. no (87). P. 258-265. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.30> [in Ukrainian].
4. Wang X. (2020) The Optimization of Smart Community Model Based on Advanced Network Information Technology. *IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, Chongqing, China. P. 2579-2583. doi: 10.1109/ITNEC48623.2020.9085136.
5. Popereshnyak S., Vecherkovskaya A., Zhebka V. (2024) Intrusion Detection based on an Intelligent Security System using Machine Learning Methods. *CEUR Workshop Proceedings*. 3654. P. 163–178.
6. Anakhov P., Zhebka V., Popereshnyak S., Skladannyi P., Sokolov V. (2023) Protecting Objects of Critical Information Infrastructure from Wartime Cyber Attacks by Decentralizing the Telecommunications Network. *CEUR Workshop Proceedings*. 3550. P. 240–245
7. Syemikolenova S. V., Korchahin D. S. (2023) Otsynuyvannya investytsiynoyi pryvablyvosti haluzi khmarnykh tekhnolohiy. [Assessment of the investment attractiveness of the cloud technology industry] *Naukovi zapysky NaUKMA. Ekonomichni nauky*. no 8(1). P. 115–121. <https://doi.org/10.18523/2519-4739.2023.8.1.115-121> [in Ukrainian].

С. С. ГУРКОВСЬКА

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID: 0000-0001-6594-6815

Д. Ю. МІХЄЄНКО

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID: 0000-0003-1966-061

## АВТОМАТИЗОВАНА ПОБУДОВА 2D-КРЕСЛЕНЬ З 3D-МОДЕЛЕЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

У статті досліджується ефективність сучасного програмного забезпечення для автоматизації створення кресленників із тривимірних моделей, що є актуальним завданням для інженерної та архітектурної галузей. Основна увага приділена аналізу можливостей програм AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 та алгоритмів, заснованих на згорткових нейронних мережах (Convolutional Neural Networks, CNN). Дослідження спрямоване на визначення рівня ефективності цих інструментів за такими ключовими параметрами, як швидкість обробки, адаптація до складних форм і гнучкість у налаштуванні кресленників.

Дослідження показало, що AutoCAD забезпечує високу швидкість обробки простих моделей, проте має значні обмеження у роботі зі складною геометрією, що знижує його ефективність у завданнях із високим рівнем деталізації. SolidWorks демонструє кращу адаптацію до криволінійних форм завдяки використанню алгоритмів сплайнів, а також забезпечує автоматичне оновлення креслень при зміні тривимірної моделі. Fusion 360 ефективно працює з органічними формами завдяки обчислювальним методам і хмарній обробці, але залежність від інтернет-з'єднання може уповільнити роботу з великими обсягами даних. Алгоритми CNN виявилися найефективнішими для аналізу складних форм, забезпечуючи високу деталізацію, однак потребують значних обчислювальних ресурсів і часу.

Зроблено висновок, що адаптація програмного забезпечення до складних форм залежить від рівня розвитку алгоритмів і можливостей гнучкого налаштування креслень відповідно до стандартів, таких як ISO, ANSI або ГОСТ. Програмні продукти SolidWorks і Fusion 360 виявилися найбільш збалансованими за критеріями точності, адаптивності та функціональності. Проте розробка і впровадження нейронних мереж відкривають нові перспективи для автоматизації, особливо в задачах із нестандартними формами та високою складністю.

**Ключові слова:** комп'ютерна графіка, AutoCad, SolidWorks, Fusion 360, Convolutional Neural Networks.

S. S. HURKOVSKA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Digital Technologies  
and Design-Analytical Solutions  
Metinvest Polytechnic Technical University LLC  
ORCID: 0000-0001-6594-6815

D. YU. MIKHIEIENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Digital Technologies  
and Design-Analytical Solutions  
Metinvest Polytechnic Technical University LLC  
ORCID: 0000-0003-1966-061

## AUTOMATIC CONSTRUCTION OF 2D-DRAWINGS FROM 3D-MODELS USING COMPUTER GRAPHICS TOOLS

The article investigates the effectiveness of modern software for automating the creation of drawings from three-dimensional models, which is a relevant task for the engineering and architectural industries. The main attention is paid to the analysis of the capabilities of AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 and algorithms based on convolutional neural networks (CNN). The study aims to determine the level of effectiveness of these tools in terms of key parameters such as processing speed, adaptation to complex shapes, and flexibility in customizing drawing files.

*The study showed that AutoCAD provides high speed processing of simple models, but has significant limitations in working with complex geometry, which reduces its effectiveness in tasks with a high level of detail. SolidWorks demonstrates better adaptation to curved shapes due to the use of spline algorithms, and also provides automatic updating of drawings when changing the three-dimensional model. Fusion 360 works effectively with organic shapes due to computational methods and cloud processing, but dependence on an Internet connection can slow down work with large amounts of data. CNN algorithms turned out to be the most effective for analyzing complex shapes, providing high detail, but require significant computing resources and time.*

*It was concluded that the adaptation of software to complex shapes depends on the level of development of algorithms and the ability to flexibly configure drawings in accordance with standards such as ISO, ANSI or GOST. SolidWorks and Fusion 360 software products turned out to be the most balanced in terms of accuracy, adaptability and functionality. However, the development and implementation of neural networks open up new prospects for automation, especially in tasks with non-standard shapes and high complexity.*

**Key words:** computer graphics, AutoCad, SolidWorks, Fusion 360, Convolutional Neural Networks.

### Постановка проблеми

Сучасна промисловість і освіта перебувають у процесі активної інтеграції автоматизованих рішень для створення технічної документації, зокрема креслень, на основі тривимірних моделей. Це зумовлено зростанням вимог до швидкості виконання проєктів, точності технічної інформації та мінімізації людських помилок. Розвиток інструментів комп'ютерного моделювання надав змогу значно полегшити та прискорити процес проєктування, але існують серйозні виклики, пов'язані з адаптацією програмного забезпечення до роботи зі складними геометричними формами та забезпеченням гнучкого налаштування креслень відповідно до стандартів і вимог конкретного проєкту.

Проблема полягає у нерівномірному рівні функціональності сучасних програмних інструментів у контексті обробки моделей зі складною геометрією, таких як криволінійні поверхні, багат шарові структури чи органічні форми. Тому є необхідність в формуванні у фахівців чіткого розуміння функціоналу цих інструментів для оптимального та ґрунтовно обумовленого вибору та використанні в роботі над проєктами різного характеру.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Тема автоматизації створення креслень із тривимірних моделей є актуальною як у промисловості, так і в наукових дослідженнях. Останні публікації в цій галузі зосереджені на вдосконаленні алгоритмів обробки геометричних форм, оптимізації процесів конструювання та інтеграції штучного інтелекту для розв'язання складних технічних завдань.

Дослідження [1] спрямоване на оптимізацію процесів трансформації даних із 3D у 2D. Авторами запропоновано алгоритм, який базується на цифрових методах обробки зображень і використовує потужності сучасних CAD-програм, таких як SolidWorks і AutoCAD. Значну увагу приділено обробці криволінійних поверхонь, які зазвичай викликають складнощі при перетворенні. Впровадження такого підходу дозволило спростити процеси автоматизації й підвищити точність створюваних моделей.

У роботі [2] зосереджено увагу на практичних аспектах інтеграції CAD/CAM-систем у проєктування. Авторами наведено реальні приклади автоматизації проєктування складних конструкційних деталей, що показує ефективність використання автоматизованих інструментів для промислових завдань. Зокрема, підкреслено важливість побудови тривимірних моделей як основи для подальшого виготовлення деталей на верстатах із ЧПК.

У статті [3] висвітлено питання автоматизації моделювання в середовищі CAD із використанням прикладного програмування. Автори аналізують можливості застосування програмних інтерфейсів API для виконання рутинних завдань, таких як створення параметричних моделей або модифікація існуючих креслень. Пропонуються алгоритми, які дозволяють значно скоротити час проєктування та автоматизувати процес створення моделей із високим рівнем повторюваності елементів.

Роботи українських авторів [4, 5] також приділяють значну увагу питанням автоматизації у використанні CAD/CAM систем. У [4] описано застосування таких систем у навчальному процесі для підготовки майбутніх інженерів. Зокрема, дослідники підкреслюють важливість інтеграції методів автоматизації при викладанні інженерної графіки. У [5] акцентується на алгоритмах спрощення геометрії, які є критично важливими при перетворенні тривимірних моделей у складні кресленики.

Дослідження [6] розглядає нові підходи до автоматизації обробки 2D-креслень у галузі архітектури. Основна увага приділяється використанню інтелектуальних алгоритмів, здатних оптимізувати реконструкцію великих за обсягом даних, таких як плани будівель або інженерні схеми. Пропоновані методи довели свою ефективність, зменшуючи витрати часу на побудову тривимірних моделей. У роботі [7] детально розглянуто методи автоматизованого виявлення стін у 2D-CAD кресленнях для створення цифрових 3D-моделей. Дослідники розробили алгоритм, здатний автоматично розпізнавати контури стін, що суттєво скорочує час моделювання в архітектурному та будівельному проєктуванні. Це досягається завдяки аналізу ключових геометричних характеристик креслення. Крім того, автори акцентують увагу на тому, що використання такого підходу дозволяє значно знизити кількість помилок, пов'язаних із ручною реконструкцією даних.

Автори [8] досліджують технічні аспекти впровадження автоматизованих систем у промисловість. Виконано аналіз труднощів, які виникають при адаптації програмного забезпечення під специфічні потреби користувачів та пропонують рішення, спрямовані на покращення сумісності між різними платформами.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що автоматизація процесу переходу від 2D до 3D є не лише актуальною, а й стратегічно важливою для подальшого розвитку інженерної графіки та пов'язаних із нею галузей.

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою цього дослідження є порівняльний аналіз можливостей програмного забезпечення AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 та алгоритмів, заснованих на згорткових нейронних мережах, у задачах автоматизації створення плоских креслень на основі тривимірних моделей. Дослідження спрямоване на визначення рівня їхньої ефективності за такими ключовими параметрами, як швидкість обробки, адаптація до складних форм і гнучкість у налаштуванні креслень. Отримані результати дозволять сформулювати рекомендації щодо вибору програмних інструментів для різних типів завдань залежно від вимог до геометричної складності, точності та зручності адаптації технічної документації.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Сучасна промисловість і освіта дедалі більше фокусуються на автоматизації процесів створення креслень різноманітних об'єктів. Цими об'єктами можуть бути як інженерні конструкції, так і архітектурні одиниці. Потреба у швидшому виконанні проектів, мінімізації людського фактору та підвищенні ефективності роботи з великими обсягами технічної інформації – це є одні з пріоритетних вимог промисловості. Все частіше інженери, конструктори, архітектори першочергово розробляють тривимірну модель об'єкту, а потім на її основі розробляють технічну документацію, включаючи відповідні кресленики. Це стало можливим з розвитком інструментів комп'ютерного моделювання.

Процес перетворення тривимірних моделей у плоскі креслення залежить не лише від особливостей самого програмного забезпечення, але й від алгоритмів, що реалізуються в цих системах. У дослідженні було оцінено можливості AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 та алгоритмів, заснованих на глибоких згорткових нейронних мережах (Convolutional Neural Networks, CNN), для виконання таких завдань. Аналіз проводився за основними критеріями: швидкість обробки, адаптація до складних форм та гнучкість у налаштуванні вихідних креслень.

AutoCAD використовує базові алгоритми перетворення тривимірних об'єктів у двовимірні проєкції, що ґрунтуються на принципах проєкційної геометрії. Ці алгоритми забезпечують швидке створення креслень із чіткими лініями та простими геометричними формами. Цей інструмент краще використовувати для створення креслення однієї деталі, проте для перетворення складальної одиниці функціонал AutoCAD недостатньо розвинуто. Обмеження у роботі з криволінійними поверхнями чи складними багатогранними об'єктами значно звужують спектр застосування AutoCAD у завданнях, де необхідна деталізація складної форми. Слід зауважити, що мова йде про машинобудівне креслення.

SolidWorks використовує більш просунуті алгоритми для генерації проєкцій, зокрема алгоритми інтерполяції сплайнів, що дозволяють точно відображати криволінійні елементи та заокруглення. Додатково система інтегрує методи автоматичного створення перерізів та відображення внутрішньої геометрії моделі, що значно підвищує точність та деталізацію плоских креслень. Завдяки підтримці параметричних моделей SolidWorks адаптується до змін у тривимірному об'єкті, автоматично оновлюючи відповідні креслення.

Fusion 360 поєднує переваги алгоритмів проєкційної геометрії та хмарних обчислень. Використовуючи методи обчислювальної графіки для створення двовимірних видів, Fusion 360 може швидко обробляти навіть складні моделі. Алгоритми цієї системи оптимізовані для роботи з криволінійними та органічними формами, що робить Fusion 360 універсальним інструментом для різноманітних завдань. Однак час створення проєкцій може зрости при роботі з великими моделями через залежність від інтернет-з'єднання для обчислень.

Алгоритми CNN, що застосовуються для створення плоских креслень із тривимірних об'єктів, використовують принципи навчання на великому обсязі даних. Нейромережі аналізують складні моделі, визначаючи ключові елементи та їх просторові зв'язки. Ці алгоритми забезпечують автоматичне створення креслень із високою деталізацією, включаючи приховані елементи та перерізи. Однак ефективність CNN залежить від якості підготовки моделі та потребує значних обчислювальних ресурсів, що може обмежувати їх практичне використання у звичайних робочих середовищах.

Адаптація програмного забезпечення до роботи зі складними формами в контексті перетворення тривимірних моделей у плоскі креслення визначається його здатністю точно та ефективно обробляти моделі з ускладненою геометрією. До таких форм належать об'єкти зі складними криволінійними поверхнями, багатшаровою структурою, деталізованими текстурами, внутрішніми елементами конструкцій і нерегулярними органічними контурами.

Ефективне програмне забезпечення для таких задач використовує сучасні алгоритми, наприклад, інтерполяцію кривих, апроксимацію поверхонь чи побудову об'ємних перерізів. Зокрема, SolidWorks застосовує сплайнові

алгоритми для створення точних проєкцій криволінійних поверхонь, тоді як Fusion 360 забезпечує якісну обробку органічних форм завдяки використанню потужних обчислювальних методів. У свою чергу, AutoCAD має обмежені можливості в роботі зі складними формами, оскільки його функціонал орієнтований переважно на обробку базових геометричних елементів.

Значну адаптивність у роботі зі складними геометриями демонструють згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN), які здатні аналізувати і моделювати зв'язки між елементами навіть у випадках нерегулярних або пошкоджених об'єктів. Це робить їх незамінними для проєктів із високим рівнем складності, таких як архітектурні об'єкти, біомедичні моделі чи дизайн із вільними формами.

Гнучкість у налаштуванні креслень визначається як здатність програмного забезпечення надавати користувачеві розширені можливості для адаптації двовимірної графіки до специфічних вимог проєкту. Це включає налаштування зовнішнього вигляду, стилю та формату креслень, а також модифікацію параметрів, створених автоматично на основі тривимірної моделі.

Одним із важливих аспектів є можливість змінювати стандарти креслення, що дозволяє програмному забезпеченню підтримувати різноманітні технічні норми, такі як ISO, ANSI чи ГОСТ, і адаптуватися до вимог конкретного проєкту. Гнучкість також передбачає контроль рівня деталізації, зокрема регулювання видимості елементів креслення, таких як приховані чи осьові лінії, а також перерізи.

Ще одним важливим фактором є підтримка експорту креслень у різні формати, як-от DWG, DXF чи PDF, що забезпечує зручність передачі даних для подальшої роботи. Програмні рішення, такі як SolidWorks і Fusion 360, демонструють високу гнучкість завдяки можливості автоматичного створення стандартних креслень із подальшим ручним редагуванням, наприклад, зміною масштабу, розташування проєкцій або додаванням текстових приміток чи таблиць специфікацій.

Проте менш гнучкі системи, наприклад AutoCAD у базовій конфігурації, обмежують можливості користувача, що часто призводить до необхідності виконання значного обсягу ручної роботи для адаптації креслень до вимог конкретного завдання.

У межах дослідження проведено тестування зазначених інструментів на трьох типах моделей: простій симетричній формі, об'єкті із криволінійними поверхнями та складному багаточаровому об'єкті (рис. 1). Результати тестування узагальнено у таблиці 1.

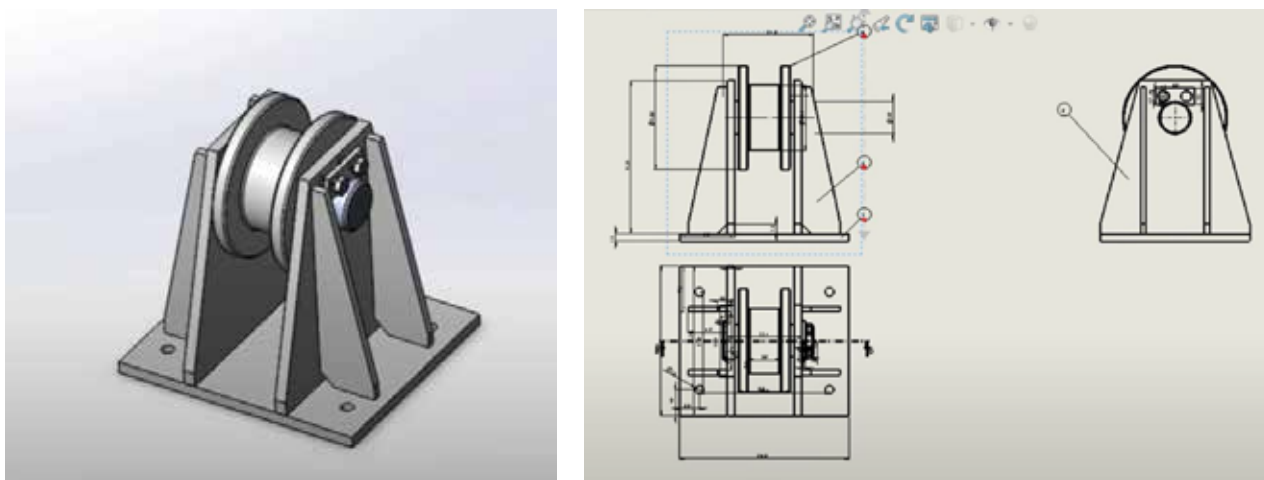


Рис. 1. Приклад перетворення складного багаточарового об'єкту з 3D моделі в плоский кресленик в SolidWorks

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз ефективності інструментів автоматизації побудови плоских креслеників з 3D-моделей**

Інструмент	Швидкість обробки (с)	Адаптація до складних форм (бал, 1–5)	Гнучкість у налаштуванні креслень (бал, 1–5)
AutoCAD	2	3	3
SolidWorks	4	5	5
Fusion 360	5	4	5
Convolutional Neural Networks	8	5	3

Результати показали, що AutoCAD забезпечує найвищу швидкість обробки, однак точність геометрії є найнижчою серед усіх тестованих інструментів. Це пов'язано з обмеженнями алгоритмів AutoCAD у роботі зі складними формами. Хоча система залишається популярною завдяки простоті використання та доступності, її можливості адаптації до сучасних складних завдань є обмеженими.

SolidWorks продемонстрував високі показники точності та адаптації до криволінійних форм завдяки використанню алгоритмів сплайнів. Крім того, його функціонал дозволяє гнучко налаштувати вигляд вихідного креслення, що робить систему оптимальною для створення технічної документації зі складними геометриями. Fusion 360 має схожі показники із SolidWorks, але залежність від хмарної обробки може вплинути на час виконання завдань, особливо при великих обсягах даних.

CNN показали найвищу точність і здатність адаптуватися до складних форм, зокрема органічних поверхонь і багатошарових моделей. Однак вони виявилися найповільнішими через потребу у великій обчислювальній потужності. Гнучкість у налаштуванні креслень також була найнижчою через складність контролю над генерованими результатами та залежність від підготовки моделей.

#### Висновки

Звичайно, вибір інструмента залежить від вимог проекту. Для простих задач, які не передбачають обробки складних геометрій, AutoCAD може виступати доволі доцільним варіантом використання завдяки своїй швидкості та простоті. Для складніших проектів із високими вимогами до деталізації найкращими рішеннями є SolidWorks та Fusion 360, які демонструють високі показники точності й адаптації. Fusion 360 може бути рекомендований для командної роботи завдяки інтеграції хмарних обчислень, а SolidWorks – для проектів із високим рівнем індивідуалізації креслень.

Алгоритми CNN, попри свої сильні сторони, наразі є найбільш ефективними для дослідницьких і експериментальних задач. Їх можна рекомендувати для вирішення специфічних завдань, таких як обробка складних поверхонь або автоматична генерація креслень із вбудованими деталями. Для комерційного використання доцільно розвивати інтеграцію CNN із традиційними CAD-системами, що дозволить поєднати високу точність з гнучкістю традиційних підходів.

#### Список використаної літератури

1. Nguyen, H. T., Nguyen, T. T. N. Automated Generation of 3D Models Based on Digital Methods. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, Vol. 1827, 012115. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1827/1/012115>
2. Лисканич, Ю. І. Використання CAD/CAM систем для автоматизації проектування. Матеріали студентської наукової конференції. 2018. С. 208–209.
3. Tsai, W. Engineering Applications Using CAD-Based Application Programming Interface. ResearchGate. 2017. [Online] Available at: [https://www.researchgate.net/publication/312077164\\_Engineering\\_applications\\_using\\_CAD\\_based\\_application\\_programming\\_interface](https://www.researchgate.net/publication/312077164_Engineering_applications_using_CAD_based_application_programming_interface)
4. Цись, О. Використання CAD-систем у навчальному процесі. Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія 3. Фізика і математика у вищій і середній школі. 2019, № 21, С. 123–129.
5. Лисканич, Ю. І., Пахаренко, М. С. Інновації у CAD-проектванні. Вісник технічних наук. 2021, № 2, С. 45–53.
6. Іванченко, В. Оптимізація геометричних моделей для автоматизації у будівництві. Cybersecurity Journal. 2020, № 5, С. 34–38.
7. Wei, C., Chang, K., & Chiang, H. Automated Wall Detection in 2D CAD Drawings to Create Digital 3D Models. MDPI Informatics. 2022, Vol. 5(2), 42. DOI: <https://doi.org/10.3390/informatics5020042>
8. Wei, C., & Tsai, W. Automated 3D Modelling Methods for Industrial Applications. ResearchGate. 2022. [Online] Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Chialing-Wei/publication/362499736\\_Automated\\_Wall\\_Detection\\_in\\_2D\\_CAD\\_Drawings-to-Create-Digital-3D-Models](https://www.researchgate.net/profile/Chialing-Wei/publication/362499736_Automated_Wall_Detection_in_2D_CAD_Drawings-to-Create-Digital-3D-Models)

#### References

1. Nguyen, H. T., & Nguyen, T. T. N. (2021). Automated generation of 3D models based on digital methods. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1827, 012115. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1827/1/012115>
2. Lyskanych, Y. I. (2018). The use of CAD/CAM systems for design automation. In Proceedings of the Student Scientific Conference (pp. 208–209).
3. Tsai, W. (2017). Engineering applications using CAD-based application programming interface. ResearchGate. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/312077164\\_Engineering\\_applications\\_using\\_CAD\\_based\\_application\\_programming\\_interface](https://www.researchgate.net/publication/312077164_Engineering_applications_using_CAD_based_application_programming_interface)
4. Tsis, O. (2019). The use of CAD systems in the educational process. Scientific Bulletin of NPU Named After M.P. Drahomanov. Series 3: Physics and Mathematics in Higher and Secondary Schools, (21), 123–129.

5. Lyskanych, Y. I., & Pakharienko, M. S. (2021). Innovations in CAD design. *Technical Sciences Bulletin*, (2), 45–53.
6. Ivanchenko, V. (2020). Optimization of geometric models for automation in construction. *Cybersecurity Journal*, (5), 34–38.
7. Wei, C., Chang, K., & Chiang, H. (2022). Automated wall detection in 2D CAD drawings to create digital 3D models. *MDPI Informatics*, 5(2), 42. <https://doi.org/10.3390/informatics5020042>
8. Wei, C., & Tsai, W. (2022). Automated 3D modeling methods for industrial applications. ResearchGate. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Chialing-Wei/publication/362499736\\_Automated\\_Wall\\_Detection\\_in\\_2D\\_CAD\\_Drawings-to-Create-Digital-3D-Models](https://www.researchgate.net/profile/Chialing-Wei/publication/362499736_Automated_Wall_Detection_in_2D_CAD_Drawings-to-Create-Digital-3D-Models)



О. В. ІВАНЧУК

аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-2058-4707

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ У ПРОТОКОЛАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

У роботі було проведено дослідження протоколів обміну даними, які отримали модифікації щодо підвищення енергоефективності для можливості використання їх в системах інтернету речей, та визначено методи підвищення енергоефективності, що є у протоколах, та їх вплив на загальне споживання енергії.

Було розглянуто протоколи Wi-Fi, Bluetooth та NB-IoT. Протокол Wi-Fi використовує методи: Power Saving Mode, Wi-Fi HaLow, керування частотою передачі, керування потужністю передавача, агрегація кадрів. Протокол Bluetooth використовує режим сну, режим рідкого пошуку пристроїв, керування потужністю передавача, керування параметрами пакетів. Протокол NB-IoT має такі методи оптимізації: Power Saving Mode, режим розширеного періодичного оновлення, керування частотним спектром, адаптивні схеми модуляції та кодування, кешування даних.

В рамках дослідження обрано критерії, за якими було розподілено методи оптимізації в протоколах Інтернету речей: Керування часом активності пристрою; Керування частотними характеристиками передачі; Керування потужністю передавача; Керування пакетами даних.

Протоколи Bluetooth та NB-IoT мають методи оптимізації, що відносяться до трьох з визначених категорій. Через особливості оптимізації, що проводились для зменшення споживання енергії, усі протоколи мають декілька методів оптимізації, що відносяться до однієї категорії, що в цілому вирівнює їх показники загальної оптимізації енергоспоживання.

Найкращі показники у методів оптимізації, які відносяться до категорії «Керування часом активності пристрою», що зумовлено повним відключенням пристрою на певні проміжки часу, поки не настає момент збору даних та відправки їх до центру обробки.

Методи категорії «Керування пакетами даних» показують гірші показники, ніж ті, що відносяться до категорії «Керування часом активності пристрою», через неможливість відмовитись від заголовків пакетів даних та через необхідність підтримки актуальності даних, що не дозволяє затримувати дані у кеші на великі проміжки часу.

Показники у інших категоріях показують різні результати в у протоколах через відмінності у методах оптимізації.

**Ключові слова:** інтернет речей, протоколи, енергоспоживання, оптимізація, пристрої.

O. I. IVANCHUK

Postgraduate Student at the Department of Computer Systems and Networks  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-2058-4707

## STUDY OF METHODS OF OPTIMIZING ENERGY CONSUMPTION IN INTERNET OF THINGS PROTOCOLS

In the work, a study of data exchange protocols that received modifications to increase energy efficiency for the possibility of using them in Internet of Things systems was carried out, and the methods of increasing energy efficiency included in the protocols and their impact on total energy consumption were determined.

Wi-Fi, Bluetooth and NB-IoT protocols were considered. The Wi-Fi protocol uses the following methods: Power Saving Mode, Wi-Fi HaLow, transmission frequency control, transmitter power control, frame aggregation. The Bluetooth protocol uses sleep mode, liquid device search mode, transmitter power control, packet parameter control. The NB-IoT protocol has the following optimization methods: Power Saving Mode, advanced periodic update mode, frequency spectrum management, adaptive modulation and coding schemes, data caching.

As part of the study, the criteria were chosen according to which optimization methods were distributed in Internet of Things protocols: Device activity time management; Control of transmission frequency characteristics; Control of transmitter power; Data packet management.

Bluetooth and NB-IoT protocols have optimization methods that fall into three of the defined categories. Due to the optimization features performed to reduce energy consumption, all protocols have multiple optimization methods belonging to the same category, which generally equalizes their overall energy consumption optimization performance.

*The best results are in the optimization methods that belong to the category "Device activity time management", which is due to the complete shutdown of the device for certain time intervals until the moment of data collection and sending to the processing center arrives.*

*Methods in the "Data Packet Management" category perform worse than those in the "Device Uptime Management" category due to the inability to discard data packet headers and the need to maintain data freshness, which prevents data from being cached for long periods of time.*

*Indicators in other categories show different results in protocols due to differences in optimization methods.*

**Key words:** *Internet of Things, protocols, energy consumption, optimization, devices.*

### Постановка проблеми

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – це система, яка забезпечує зв'язок між електронними пристроями та датчиками через Інтернет, щоб полегшити життя людини. IoT використовує інтелектуальні пристрої та Інтернет, щоб надавати інноваційні рішення для викликів і проблем, пов'язаних з різноманітними галузями промисловості по всьому світу.

З кожним роком збільшується кількість пристроїв інтернету речей. Через це збільшується кількість нових протоколів для проектування систем, або модернізованих вже існуючих протоколів для забезпечення вимог функціонування систем інтернету речей. Головною вимогою при оновленні протоколів зазвичай є підвищення енергоефективності протоколів для можливості використання пристроїв протягом років без супутнього обслуговування.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [2] проаналізовано моделі споживання енергії на основі передбачень без прив'язки до конкретних протоколів та без зазначення методів, якими досягаються ці результати.

Робота [3] аналізує енергоефективність пристроїв Wi-Fi, але тільки для певного пристрою в обмежених умовах без перевірки усіх методів оптимізації.

В роботі [4] проведено дослідження енергоефективності протоколу NB-IoT лише за одним методом оптимізації, що не дозволяє сформулювати повну картину щодо методів оптимізації споживання енергії.

### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є аналіз протоколів обміну даними, що отримали модифікації щодо підвищення енергоефективності для можливості використання їх в системах інтернету речей. На основі дослідження потрібно визначити методи підвищення енергоефективності, що є у протоколах, та їх вплив на загальне споживання енергії.

### Викладення основного матеріалу дослідження

До основних протоколів, що були змінені для використання у системах Інтернету речей, є Wi-Fi, Bluetooth та NB-IoT.

Wi-Fi можна вважати не одним протоколом, а цілим сімейством стандартів на основі IEEE 802.11, оскільки кожна з версій Wi-Fi має окремий стандарт з описанням частотних характеристик, структури повідомлення, шифрування і т.д [5].

Для оптимізації енерговитрат Wi-Fi використовує такі методи:

– Power Saving Mode (PSM) – це основний режим енергозбереження для пристроїв WiFi, які відповідають стандарту 802.11. У PSM пристрій переходить у стан низького енергоспоживання («сон»), коли в нього немає даних для відправки чи отримання, і періодично «прокидається», щоб перевірити наявність вхідних пакетів [6]. Пристрій інформує точку доступу (Access Point, AP), що вона знаходиться в режимі PSM, надсилаючи кадр Power Save Poll (PSP), і AP буферизує пакети, призначені для пристрою, доки не отримає кадр PSP. PSM може заощадити значну кількість енергії, особливо для пристроїв, які мають низький або переривчастий трафік, але він також має деякі недоліки, такі як збільшення затримки, втрата пакетів і перевантаження мережі.

– Стандарт Wi-Fi HaLow. Wi-Fi HaLow, заснований на протоколі IEEE 802.11ah і представлений у 2016 році, працює на частотах нижче 1 ГГц, на відміну від традиційних частот 2,4 ГГц, 5 ГГц і 6 ГГц, які використовуються в Wi-Fi 5, Wi-Fi 6 і Wi-Fi 7 [7].

Низькочастотний діапазон дозволяє Wi-Fi HaLow забезпечувати підключення на великі відстані, підтримуючи з'єднання до трьох кілометрів і далі в сценаріях прямої видимості, а також проникаючи через щільні матеріали своїми вузькосмуговими сигналами. Незважаючи на те, що використання низьких частот призводить до вузьких каналів і меншої пропускної здатності, стандарт забезпечує швидкість передачі даних від 150 Кбіт/с до 86,7 Мбіт/с залежно від відстані.

Wi-Fi HaLow не замінює традиційні стандарти Wi-Fi, а доповнює їх. Він розширює зв'язок на великі відстані без потреби у власних концентраторах, множинних точках доступу чи складних дротових з'єднаннях, що робить його особливо корисним для пристроїв Інтернету речей, проєктів «розумного міста» та сітчастих мереж.

У США Wi-Fi HaLow працює в діапазоні частот 900 МГц у суб-ГГц-спектрі, який не підлягає ліцензуванню, що дозволяє кожному безкоштовно користуватися ним. У всьому світі Wi-Fi HaLow може використовувати різні частоти нижче 1 ГГц залежно від регіональних правил і доступного спектру, адаптуючись до різних національних налаштувань.

– Керування частотою передачі – усі версії Wi-Fi до 802.11n (a, b, g, n) включно працюють на частотах від 2400 до 2500 МГц. Ці 100 МГц розділені на 14 каналів по 20 МГц кожен. Оскільки 14 каналів по 20 МГц – це набагато більше, ніж 100 МГц, то кожен канал 2,4 ГГц перекривається принаймні двома або чотирма іншими каналами (рис. 1) [8].

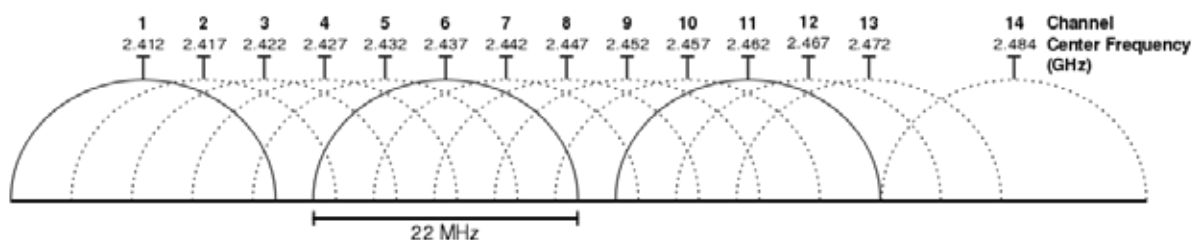


Рис. 1. Частотне розподілення каналів Wi-Fi на 2.4 ГГц

Канали 1, 6 і 11 розташовані досить далеко один від одного, щоб вони не перекривалися, тому вони є оптимальними для передачі даних коли декілька базових станцій знаходяться поруч. При використанні каналів 40 МГц, можлива ситуація, коли ефір буде перевантажений.

– Керування потужністю передавача – це технічний механізм, який використовується в деяких мережевих пристроях для запобігання надмірної кількості небажаних перешкод між різними бездротовими мережами [9].

Ідея механізму полягає в тому, щоб автоматично зменшувати використану вихідну потужність передачі, коли інші мережі знаходяться в зоні дії. Наслідком зменшення потужності є зменшення проблем із перешкодами, що означає менше повторних передач, які витрачають енергію.

– Агрегація кадрів. Агрегація кадрів збільшує пропускну здатність, надсилаючи кілька кадрів даних за одну передачу. Це зменшує накладні витрати на протокол 802.11, оскільки кілька пакетів можна надсилати з одним заголовком РНУ і MAC замість того, щоб кожен пакет мав власні заголовки. Кількість ACK і міжкадрових проміжків (і періодів конфлікту, якщо не в TXOP) також зменшується [10].

У стандарті 802.11 є два типи агрегації кадрів:

Агрегація блоку даних служби MAC (MSDU): пакети, отримані MAC від верхнього рівня, є MSDU. Кожен пакет отримує заголовок субфрейму MSDU. Два або більше субфреймів об'єднуються і разом поміщаються в кадр MAC 802.11 (заголовок + трейлер). Отриманий кадр є агрегатним MSDU (a-MSDU). По радіостанції a-MSDU передаються з одним заголовком РНУ.

Агрегація блоків даних протоколу MAC (MPDU): MPDU – це кадри, що передаються від MAC до рівня РНУ. Кожен MPDU має MAC-заголовок і трейлер. Кілька MPDU об'єднуються, щоб створити сукупний MPDU (a-MPDU), який передається з заголовком РНУ по радію.

Технологія Bluetooth – це технологія бездротового зв'язку малого радіусу дії, яка використовує для зв'язку частотний діапазон ISM 2,4 ГГц. Спочатку він використовувався для передачі даних між мобільними телефонами, комп'ютерами та зовнішніми пристроями [11].

В сфері інтернету речей велике розповсюдження має окрема версія Bluetooth, а саме Bluetooth Low Energy, що з'явилась разом з версією Bluetooth 4.0 [12].

Оптимізація енерговитрат Bluetooth можлива такими методами:

– Режим сну (Sleep Mode) – пристрій переходить у сплячий режим, у якому більшість компонентів вимикається, за винятком радіоприймача, який залишається частково активним для прослуховування певних тригерів пробудження. Варіанти тригерів для пробудження [13]:

Спрямовані рекламні пакети: пристрій виходить із режиму сну після отримання рекламних пакетів, націлених на його конкретну адресу.

Події підключення: пристрій виходить із режиму сну через заздалегідь визначені проміжки часу, очікуючи події підключення від підключеного пристрою.

Зовнішні події: деяке обладнання може дозволяти пробудження через зовнішні події, такі як натискання кнопки або отримання показання датчиків.

– Режим рідкого пошуку пристроїв (Low Duty Cycle Advertising) – в процесі роботи стандарт розсилає пакети для підтримки зв'язку (реклама) [14]. Інтервал реклами регулюється від 20 мс до 10,24 с (без підключення: мінімум 100 мс). Збільшення рекламного інтервалу може значно зменшити середнє споживання струму пристроєм BLE. Наприклад, збільшення інтервалу реклами зі 100 мс до 1 с знижує середнє споживання струму на 93%.

– Керування потужністю передавача – потужність передачі регулюється від -26 дБм до +8 дБм (за замовчуванням 8 дБм). 0 дБм достатньо, щоб охопити діапазон від 10 до 15 м, на основі тестів, проведених на прикладі iBeacon і телефоні Android [14].

Зміна потужності передачі з 8 дБм до 0 дБм може зменшити споживання струму до 57% при використанні інтервалу реклами 100 мс.

– Керування параметрами пакетів – для оптимізації енерговитрат можна використати агрегацію пакетів даних. Це зменшить час на передачу декількох пакетів, оскільки заголовки потрібно буде передавати лише один раз. Винятком є дані, які обов’язково мають передаватися одразу та не можуть очікувати декілька циклів для агрегації в один пакет. Це можуть бути дані, від яких залежить життя людини, або безпека цілих міст.

Narrow Band-IoT (NB-IoT) був запущений у 2006 році з метою обслуговування постійно зростаючої кількості підключених пристроїв у сфері IoT. Він сформований за стандартом 3GPP на основі стільникових LTE мереж, що дозволило розгорнути його на вже існуючих базових станціях зв’язку [15].

Оптимізація енерговитрат NB-IoT виконується такими методами:

– Power Saving Mode (PSM) – розроблений, щоб допомогти пристроям IoT економити заряд акумулятора. Хоча програма пристрою завжди може вимкнути свій радіомодуль для економії батареї, пристрій згодом доведеться повторно підключити до мережі, коли радіомодуль буде знову ввімкнено.

Процедура повторного підключення споживає невелику кількість енергії, але кумулятивний ефект збільшення енергоспоживання при повторних підключеннях може стати значним протягом терміну служби пристрою. Тому термін служби батареї можна подовжити, якщо уникнути цієї процедури.

Коли пристрій ініціює PSM з мережею, він надає два бажаних таймера (T3324 і T3412). Час PSM – це різниця між цими таймерами (T3412-T3324). Мережа може приймати ці значення або встановити інші. Тоді мережа зберігає інформацію про стан, а пристрій залишається зареєстрованим у цій мережі. Якщо пристрій прокидається і надсилає дані до закінчення погодженого інтервалу часу мережі, процедура повторного підключення не потрібна.

– Режим розширеного періодичного оновлення (Extended Discontinuous Reception) – це метод енергозбереження, який використовується в пристроях Інтернету речей і мінімізує енергоспоживання шляхом періодичного отримання пакетів даних [16]. Цей підхід особливо корисний для пристроїв, розгорнутих у віддалених районах з обмеженим бездротовим покриттям, оскільки він дозволяє їм підключатися до стільникових мереж, зберігаючи час роботи батареї.

Цикл eDRX – це процес, за допомогою якого пристрої IoT, що використовують eDRX, періодично отримують пакети даних. Цикл складається з двох основних фаз:

Активний період: протягом цієї фази пристрій IoT підключений до мережі та активно отримує пакети даних. Він спілкується з мережею та виконує будь-які необхідні завдання, наприклад надсилання або отримання інформації.

Період сну: після активного періоду пристрій переходить у режим сну, від’єднується від мережі та зберігає енергію. Пристрій залишається в цьому стані до початку наступного активного періоду, коли він знову підключається до мережі та відновлює прийом пакетів даних.

Тривалість періодів активності та сну може відрізнятися залежно від таких факторів, як потреби пристрою в енергії, умови мережі та конкретні випадки використання. Адаптувавши цикл eDRX до потреб кожного пристрою IoT, можна оптимізувати енергоефективність і продуктивність.

– Адаптивні схеми модуляції та кодування (Modulation and Coding Scheme) – адаптація зв’язку NB-IoT передбачає адаптивну модуляцію та схеми кодування, а також адаптивний розподіл потужності [17]. Однак схеми модуляції обмежені квадратурно-фазовою модуляцією (QPSK), щоб забезпечити низьку складність і, отже, зменшити загальне енергоспоживання. Для розширення зони покриття і підвищення надійності зв’язку введено кількість повторень до 128 разів.

– Керування частотним спектром – масовий NB-IoT є однією з цілей оптимізації мережі 5G. Однак колізії можуть часто виникати в щільних передачах NB-IoT щоразу, коли два таких пристрої NB-IoT передають одночасно через той самий канал довільного доступу, що призводить до втрати однієї або обох передач [18].

Використовуючи різні частотні канали можна зменшити шанс того, що відбуватиметься колізія при передачі даних. Для NB-IoT є декілька десятків частотних каналів, що при невеликій кількості пристроїв можуть повністю прибрати виникнення колізій [19].

– Кешування даних – об’єднуючи декілька пакетів даних в один, можна економити споживання енергії на з’єднаннях з мережею та на передачі заголовків пакетів даних, оскільки замість кількох заголовків буде лише один.

В рамках дослідження було обрано категорії, за якими було розподілено методи оптимізації в протоколах Інтернету речей:

- Керування часом активності пристрою;
- Керування частотними характеристиками передачі;
- Керування потужністю передавача;
- Керування пакетами даних.

Використовуючи інформацію про наявні методи оптимізації енерговитрат, було виконано розподілення їх за категоріями та проаналізовано їхній вплив на витрати у кожному наявному протоколі та стандарті (табл. 1–3).

Таблиця 1

## Оптимізації за критеріями для Wi-Fi

Категорія	Метод оптимізації
Керування часом активності пристрою	Power Saving Mode (PSM) – до 45-90% [20]
Керування частотними характеристиками передачі	Стандарт Wi-Fi HaLow – до 76% [21]
	Керування частотою передачі – до 71.4% [22]
Керування потужністю передавача	Керування потужністю передавача – до 60% [23]
Керування пакетами даних	Агрегація кадрів – до 49%

Таблиця 2

## Оптимізації за критеріями для Bluetooth

Категорія	Метод оптимізації
Керування часом активності пристрою	Режим сну (Sleep Mode) – до 90% [24]
	Режим рідкого пошуку пристроїв (Low Duty Cycle Advertising) – до 90% [14]
Керування частотними характеристиками передачі	-
Керування потужністю передавача	Керування потужністю передавача – до 57.1% [14]
Керування пакетами даних	Керування параметрами пакетів – до 46.7%

Таблиця 3

## Оптимізації за критеріями для NB-IoT

Категорія	Метод оптимізації
Керування часом активності пристрою	Power Saving Mode (PSM) – до 40% [25]
	Режим розширеного періодичного оновлення (Extended Discontinuous Reception) – до 9.4% [26]
Керування частотними характеристиками передачі	Керування частотним спектром – до 25% [27]
Керування потужністю передавача	-
Керування пакетами даних	Адаптивні схеми модуляції та кодування (Modulation and Coding Scheme) – до 25% [27]
	Кешування даних – до 43.7%

## Висновки

В результаті проведеного дослідження були визначені основні методи оптимізації енерговитрат у протоколах Інтернету речей. Наявні методи були розподілені на 4 основні категорії оптимізації та визначено вплив кожного методу на енергоспоживання при активності методу у мережі протоколу. Лише протокол Wi-Fi має методи оптимізації за всіма визначеними категоріями. Протоколи Bluetooth та NB-IoT мають по 3 категорії методів оптимізації. Через особливості оптимізації, що використовується для зменшення споживання енергії, усі протоколи мають декілька методів оптимізації, що відносяться до однієї категорії, що в цілому вирівнює їх показники загальної оптимізації енергоспоживання.

Найкращі показники виявлені у методів оптимізації, які відносяться до категорії «Керування часом активності пристрою», що зумовлено повним відключенням пристрою на певні проміжки часу, поки не настає момент збору даних та відправки їх до центру обробки.

Методи категорії «Керування пакетами даних» показують гірші показники, ніж методи категорії «Керування часом активності пристрою» через неможливість відмовитись від заголовків пакетів даних, та через необхідність підтримки актуальності даних, що не дозволяє затримувати дані у кеші на великі проміжки часу.

Показники у інших категоріях показують різні результати в у протоколах через відмінності у методах оптимізації.

## Список використаної літератури

- Sfar A.R., Zied C., Challal Y. A systematic and cognitive vision for IoT security: a case study of military live simulation and security challenges. Proc. 2017 international conference on smart, monitored and controlled cities (SM2C). 2017. DOI: 10.1109/sm2c.2017.8071828
- Xing Li, Haiping Zhao, Yiming Feng, Jinze Li, Yunfei Zhao, Xiao Wang. Research on key technologies of high energy efficiency and low power consumption of new data acquisition equipment of power Internet of Things based on artificial intelligence. International Journal of Thermofluids. 2024. Vol. 21. p. 100575. DOI:10.1016/j.ijft.2024.100575.
- F. Montori, R. Contigiani and L. Bedogni. Is WiFi suitable for energy efficient IoT deployments? A performance study. 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI). 2017. Pp. 1-5. DOI: 10.1109/RTSI.2017.8065943.

4. E. Migabo, K. Djouani and A. Kurien. Energy Efficient Data Rate Enhancement Channel Coding Technique for Narrowband Internet of Things (NB-IoT). 2021 IEEE AFRICON. 2021. Pp. 1-6, DOI: 10.1109/AFRICON51333.2021.9570868
5. Mohammad Mansour, Amal Gamal, Ahmed I. Ahmed, Lobna A. Said, Abdelmoniem Elbaz, Norbert Herencsar, and Ahmed Soltan. Internet of Things: A Comprehensive Overview on Protocols, Architectures, Technologies, Simulation Tools, and Future Directions. *Energies* 2023. Vol. 16. Pp. 3465. DOI: 10.3390/en16083465
6. Rob Brownstein. What are the benefits and drawbacks of WiFi power saving modes (PSM and U-APSD)? 2023. URL: <https://www.linkedin.com/advice/1/what-benefits-drawbacks-wifi-power-saving-modes-psm-u-apsd> (дата звернення: 07.10.2024).
7. Michael De Nil. Wi-Fi HaLow: What is it and why you might need it. 2024. URL: <https://www.iotinsider.com/iot-insights/technical-insights/wi-fi-halow-what-is-it-and-why-you-might-need-it/> (дата звернення: 07.10.2024).
8. Joel Hruska. How to Boost Your Wi-Fi Speed by Choosing the Right Channel. 2021. URL: <https://www.extremetech.com/internet/179344-how-to-boost-your-wifi-speed-by-choosing-the-right-channel> (дата звернення: 07.10.2024).
9. Transmit Power Control. URL: <https://www.winncom.com/en/glossary/162/transmit-power-control> (дата звернення: 07.10.2024).
10. IEEE 802.11 Frame Aggregation. URL: <https://inet.omnetpp.org/docs/showcases/wireless/aggregation/doc/index.html> (дата звернення: 07.10.2024).
11. Jinxiao Zhang. The application of bluetooth technology in the internet of things. *Applied and Computational Engineering*. 2023. Vol. 12(1). Pp. 177-183. DOI: 10.54254/2755-2721/12/20230334
12. Chendong Liu, Yilin Zhang, Huanyu Zhou. A Comprehensive Study of Bluetooth Low Energy. *Journal of Physics Conference Series*. 2021. Vol. 2093(1). DOI:10.1088/1742-6596/2093/1/012021
13. Different BLE States: Standby, Scanning, Initiating, Connection, Synchronization. URL: <https://coreedges.com/different-ble-states-standby-scanning-initiating-connection-synchronization> (дата звернення: 07.10.2024).
14. Optimizing Current Consumption in Bluetooth Low Energy Devices. URL: <https://docs.silabs.com/bluetooth/6.1.0/bluetooth-fundamentals-system-performance/current-consumption> (дата звернення: 07.10.2024).
15. Malvinder Singh Bali, Kamali Gupta, Kanwalpreet Kour Bali, Pramod K. Singh. Towards energy efficient NB-IoT: A survey on evaluating its suitability for smart applications. *Materials Today: Proceedings*. 2022. Volume 49, Part 8. pp. 3227-3234. DOI: doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.1027.
16. eDRX. URL: <https://www.narrowband.com/nbiot-glossary/edrx> (дата звернення: 07.10.2024).
17. Mwakwata CB, Malik H, Mahtab Alam M, Le Moullec Y, Parand S, Mumtaz S. Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives. *Sensors*. 2019. Vol. 19(11):2613. DOI: 10.3390/s19112613
18. Bilal Doori, Ahmed Zurfi. Decreasing the RA Collision Impact for Massive NB-IoT in 5G Wireless Networks. *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*. 2021. Vol. 07(03):1. DOI: 10.5455/jjcit.71-1620292048
19. Internet of Things (IoT). URL: <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/internet-of-things-iot/> (дата звернення: 07.10.2024).
20. G. Anastasi, M. Conti, E. Gregori, A. Passarella. Saving Energy in Wi-Fi Hotspots through 802.11 PSM: an Analytical Model. 2011.
21. Serena Santi, Le Tian, Jeroen Famaey. Accurate Energy Modeling and Characterization of IEEE 802.11ah RAW and TWT. *Sensors*. 2019. № 11. 2614 p. DOI: 10.3390/s19112614.
22. Raksha Upadhyay, Arpita Tiwari, Uma Rathore Bhatt. Energy Efficient Rate Adaptation Algorithm for FiWi Access Network. *Journal of Microwaves Optoelectronics and Electromagnetic Applications*. 2017. Vol. 16(4). Pp. 908-921. DOI: 10.1590/2179-10742017v16i41013
23. What is Transmit Power & Transmit Power Control in Wi-Fi? 2022. URL: <https://thenetworkguys.wordpress.com/2022/11/10/what-is-transmit-power-transmit-power-control-in-wi-fi/> (дата звернення: 07.10.2024).
24. Mohammad Afaneh. Bluetooth Low Energy Power Consumption – How to Achieve Maximum Battery Life. 2023. URL: <https://novelbits.io/ble-power-consumption-optimization/> (дата звернення: 07.10.2024).
25. Ashish Kumar Sultania, Pouria Zand, Chris Blondia, Jeroen Famaey. Energy Modeling and Evaluation of NB-IoT with PSM and eDRX. *IEEE Global Communications Conference*. 2018. DOI:10.1109/GLOCOMW.2018.8644074
26. Nassim Labdaoui, Fabienne Nouvel, Stéphane Dutertre. NB-IoT Power Consumption: A Comparison of SFR and Objenious Network Operators. *17ème Colloque du GDR SoC2*. 2023.
27. Zheng Jiang, Bin Han, Peng Chen, Fengyi Yang. On Novel Access and Scheduling Schemes for IoT Communications. *Mobile Information Systems* 2016. 2016. Vol. 1-9. DOI:10.1155/2016/3973287

#### References

1. Sfar, A.R., Zied, C. & Challal Y. (2017). A systematic and cognitive vision for IoT security: a case study of military live simulation and security challenges. *Proc. 2017 international conference on smart, monitored and controlled cities (SM2C)*, doi: 10.1109/sm2c.2017.8071828

2. Li, X., Zhao, H., Feng, Y., Li, J., Zhao, Y. & Wang, X. (2024). Research on key technologies of high energy efficiency and low power consumption of new data acquisition equipment of power Internet of Things based on artificial intelligence. *International Journal of Thermofluids*, 21, 100575. doi:10.1016/j.ijft.2024.100575.
3. Montori, F., Contigiani, R. & Bedogni, L. (2017). Is WiFi suitable for energy efficient IoT deployments? A performance study. 2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), 1-5, doi: 10.1109/RTSI.2017.8065943.
4. Migabo, E., Djouani, K. & Kurien, A. (2021). Energy Efficient Data Rate Enhancement Channel Coding Technique for Narrowband Internet of Things (NB-IoT). 2021 IEEE AFRICON. 1-6, doi: 10.1109/AFRICON51333.2021.9570868
5. Mansour, M., Gamal, A., Ahmed, A. I., Said, L. A., Elbaz, A., Herencsar, N. & Soltan, A. (2023). Internet of Things: A Comprehensive Overview on Protocols, Architectures, Technologies, Simulation Tools, and Future Directions. *Energies*, 16, 3465. doi: 10.3390/en16083465
6. Brownstein, R. (2023) What are the benefits and drawbacks of WiFi power saving modes (PSM and U-APSD)? Retrieved from: <https://www.linkedin.com/advice/1/what-benefits-drawbacks-wifi-power-saving-modes-psm-u-apsd>
7. De Nil, M. (2024). Wi-Fi HaLow: What is it and why you might need it. Retrieved from: <https://www.iotinsider.com/iot-insights/technical-insights/wi-fi-halow-what-is-it-and-why-you-might-need-it/>
8. Hruska, J. (2021). How to Boost Your Wi-Fi Speed by Choosing the Right Channel. Retrieved from: <https://www.extremetech.com/internet/179344-how-to-boost-your-wifi-speed-by-choosing-the-right-channel>
9. Winncom Technologies. Transmit Power Control. Retrieved from: <https://www.winncom.com/en/glossary/162/transmit-power-control>
10. INET. IEEE 802.11 Frame Aggregation. Retrieved from: <https://inet.omnetpp.org/docs/showcases/wireless/aggregation/doc/index.html>
11. Zhang, J. (2023). The application of bluetooth technology in the internet of things. *Applied and Computational Engineering*, 12(1), 177-183. doi: 10.54254/2755-2721/12/20230334
12. Liu, C., Zhang, Y. & Huanyu Zhou. (2021). A Comprehensive Study of Bluetooth Low Energy. *Journal of Physics Conference Series*, 2093(1), doi:10.1088/1742-6596/2093/1/012021
13. CoreEdges. Different BLE States: Standby, Scanning, Initiating, Connection, Synchronization. Retrieved from: <https://coreedges.com/different-ble-states-standby-scanning-initiating-connection-synchronization>
14. Silicon Labs. Optimizing Current Consumption in Bluetooth Low Energy Devices. Retrieved from: <https://docs.silabs.com/bluetooth/6.1.0/bluetooth-fundamentals-system-performance/current-consumption>
15. Bali, M.S., Gupta, K., Bali, K.K. & Singh, P.K. (2022). Towards energy efficient NB-IoT: A survey on evaluating its suitability for smart applications. *Materials Today: Proceedings*, 49(8), 3227-3234. doi: doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.1027.
16. Narrowband. eDRX. Retrieved from: <https://www.narrowband.com/nbiot-glossary/edrx>
17. Mwakwata, C.B., Malik, H., Mahtab, A.M., Le, M.Y., Parand, S. & Mumtaz, S. (2019). Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives. *Sensors*, 19(11), 2613. doi: 10.3390/s19112613
18. Doori, B. & Zurfi, A. (2021). Decreasing the RA Collision Impact for Massive NB-IoT in 5G Wireless Networks. *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*, 07(03):1, doi: 10.5455/jjcit.71-1620292048
19. CableFree. Internet of Things (IoT). Retrieved from: <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/internet-of-things-iot/>
20. Anastasi, G., Conti, M., Gregori, E. & Passarella, A. (2011). Saving Energy in Wi-Fi Hotspots through 802.11 PSM: an Analytical Model.
21. Santi S., Tian, L. & Famaey, J. (2019). Accurate Energy Modeling and Characterization of IEEE 802.11ah RAW and TWT. *Sensors*, 11, 2614. doi: 10.3390/s19112614.
22. Upadhyay, R., Tiwari, A. & Bhatt, U.R. (2017). Energy Efficient Rate Adaptation Algorithm for FiWi Access Network. *Journal of Microwaves Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, 16(4), 908-921. doi: 10.1590/2179-10742017v16i41013
23. (2022). What is Transmit Power & Transmit Power Control in Wi-Fi? Retrieved from: <https://thenetworkguys.wordpress.com/2022/11/10/what-is-transmit-power-transmit-power-control-in-wi-fi/>
24. Afaneh M. (2023). Bluetooth Low Energy Power Consumption – How to Achieve Maximum Battery Life. Retrieved from: <https://novelbits.io/ble-power-consumption-optimization/>
25. Sultania, A.K., Zand, P., Blondia, C. & Famaey, J. (2018). Energy Modeling and Evaluation of NB-IoT with PSM and eDRX. *IEEE Global Communications Conference*. doi:10.1109/GLOCOMW.2018.8644074
26. Labdaoui, N., Nouvel, F. & Dutertre, S. (2023). NB-IoT Power Consumption: A Comparison of SFR and Objenious Network Operators. 17ème Colloque du GDR SoC2.
27. Jiang, Z., Han, B., Chen, P. & Yang, F. On Novel Access and Scheduling Schemes for IoT Communications. *Mobile Information Systems* 2016. 2016. Vol. 1-9. DOI:10.1155/2016/3973287

**А. А. КЛЄПЦОВ**

магістр інженерії програмного забезпечення  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
ORCID: 0009-0008-3147-0618

**В. А. ГУСЄВА-БОЖАТКІНА**

старший викладач кафедри програмного забезпечення  
автоматизованих систем  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
ORCID: 0000-0002-1117-3391

## РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ З ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ДАТЧИКУ ГАЗУ MQ-2

У даній роботі розглянута можливість калібрування газового датчика моделі MQ-2, на основі відношення опору датчика в чистому повітрі, до опору датчика в присутності газу, з використанням апроксимації залежності цих двох значень від концентрації газу у PPM, а також використання штучного інтелекту для проведення розрахунків. Стаття зосереджена на аналізі проблеми калібрування, огляду вже існуючих програмних, або апаратно-програмних рішень, опису проблем, а також, впровадженні інноваційних методів у вигляді штучного інтелекту, для вирішення задачі калібрування. В статті також буде описана розробка апаратно-програмного комплексу на базі Wi-Fi модулю NodeMCU V3 ESP8266, який дозволить зчитувати показники з датчика MQ-2, підключатись до глобальної мережі інтернет і передавати значення показників до штучного інтелекту, який знаходиться в мережі. Враховуючи використання модуля NodeMCU, обрана мова програмування для програмного забезпечення – це C++ і відповідна середовище розробки – Arduino IDE. Окрім цього, у статті будуть описані методи оптимізації передачі даних, до штучного інтелекту, щоб покращити сам процес калібрування. Буде проведений аналіз показників з розробленого апаратно-програмного комплексу і порівняння їх з еталонними значеннями. Еталонні значення будуть братись з професійного приладу для вимірювання концентрації газу – НАВОТЕСТ НТ601В+, який має сертифікати якості, відповідно, його показники можна вважати достовірними. Усі зняття показників з розробленого апаратно-програмного комплексу та еталонного приладу, будуть проводитись в ізольованому, герметичному середовищі, щоб уникнути отримання помилкових значень. По результатам дослідження, будуть зроблені висновки, і виявлено, чи дійсно можна вважати наведені методи ефективними, і чи можливо їх масштабувати для більш глобальних задач.

**Ключові слова:** калібрування газового датчика, MQ-2, штучний інтелект, апроксимація залежності, концентрація газу у PPM, апаратно-програмний комплекс.

**A. A. KLIPTSOV**

Master of Software Engineering  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
ORCID: 0009-0008-3147-0618

**V. A. GUSEVA-BOZHATKINA**

Senior Lecturer at the Department of Automated Systems Software  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
ORCID: 0000-0002-1117-3391

## DEVELOPMENT OF A HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CALIBRATION OF THE MQ-2 GAS SENSOR

This study examines the possibility of calibrating the MQ-2 gas sensor based on the ratio of the sensor's resistance in clean air to its resistance in the presence of gas, using the approximation of the dependence of these two values on gas concentration in PPM. Additionally, it explores the use of artificial intelligence for calculations. The article focuses on analyzing the calibration problem, reviewing existing software or hardware-software solutions, identifying challenges, and introducing innovative methods in the form of artificial intelligence to address the calibration issue. The study also describes the development of a hardware-software system based on the NodeMCU V3 ESP8266 Wi-Fi module, which enables reading data from the MQ-2 sensor, connecting to the global internet, and transmitting the sensor readings to artificial intelligence hosted on the network. Given the use of the NodeMCU module, the programming language chosen



for the software is C++, with Arduino IDE as the development environment. Furthermore, the article details methods for optimizing data transmission to artificial intelligence to speed up the calibration process. An analysis of the data obtained from the developed hardware-software system will be conducted and compared to a reference value. The reference values will be obtained using the professional gas concentration measuring device HAVOTEST HT601B+, which is certified for quality and, therefore, provides reliable measurements. All measurements from the developed hardware-software system and the reference device will be carried out in an isolated hermetic environment to avoid erroneous readings. Based on the research results, conclusions will be drawn to determine whether the proposed methods are indeed effective and whether they can be scaled for larger, more complex tasks.

**Key words:** gas sensor calibration, MQ-2, artificial intelligence, approximation of dependency, gas concentration in PPM, hardware-software complex

### Постановка проблеми

Калібрування вимірювальних приладів означає виявлення їхніх справжніх метрологічних властивостей. Він пов'язує показання приладу зі значенням параметра. Без правильного калібрування, можливі неточності середніх цифр, що в результаті, може привести до неправильних результатів досліджень, або навіть до катастроф, якщо датчики використовуються у серйозних комерційних проблемах. В історії людства було багато катастроф через неправильне калібрування. Катастрофи з жертвами траплялись, як на маленьких підприємствах, так і на великих. До прикладу, у 1989 році у Пасадені, відбувся великий вибух спричинений неконтрольованим викидом газу, через те, що датчики тиску були неправильно відкалібровані і оператори банально не встигли відреагувати на проблему. Наслідки аварії – 23 загиблі людини, сотні поранених та сотні мільйонів збитків.

Такі трагедії не обійшли і авіа сегмент. Аварії літаків Boeing 737 MAX у 2018–2019 також вважаються одними з яскравих прикладів проблеми неправильного калібрування, що призвело до великих жертв. Два літаки розбилися через помилкову активацію системи MCAS (Maneuvering Characteristics Augmentation System), яка спрямувала носи літаків вниз. Це сталося тому, що один із датчиків кута атаки був неправильно відкалібрований, через що MCAS отримував хибні дані про небезпечно високий кут атаки. В результаті, літаки нахилились вниз, навіть тоді, коли не було потрібно. Наслідки цього – загибель 346 людей у двох аваріях. Враховуючи вищесказане, до процесу калібрування треба відноситись серйозно, проводити безліч досліджень і тестувань перед випуском якогось продукту в глобальний ринок.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Досліджуючи методи калібрування газових датчиків, а конкретно, датчика MQ-2, не було знайдено вже готових ефективних способів. Цей датчик належить до сімейства газових сенсорів з напівпровідниковим металевим оксидом. Таке сімейство можна зустріти у літературі під назвою MOX сенсори (Metal Oxide Semiconductor) [1]. Більшість людей, збираючи свої апаратно-програмні рішення, не дуже піклуються про свою безпеку і тому не калібрують подібні датчики. Через відсутність знань або брак досвіду вони, щоб визначити, коли показання датчика вважаються небезпечними, банально проводять заміри показників напруги з аналогового виходу датчика. Тобто, якийсь час проводяться заміри у чистому повітрі, потім до датчика підноситься джерело газу, записуються, як змінились показники. На основі цих даних і визначаються безпечні і небезпечні показання. Очевидно, такий підхід є в корені неправильним. По-перше, обробка даних проводиться на основі магічних чисел (напруги), що вже є недопустимо. Не враховуються технічні характеристики і особливості датчика (нагрівання елемента, необхідність калібрування).

### Формулювання мети дослідження

Завданням роботи є створення апаратно-програмного комплексу, який дозволить переведення аналогового сигналу з датчика MQ-2 у PPM [3], і подальше калібрування показань за допомогою AI.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Першочерговою задачею є зчитування аналогового значення з датчика, та перевести його у PPM. Для цього спочатку треба звернутись до офіційної документації датчика [2].

Для обчислення  $ppm$  використовується експоненційна залежність між параметрами  $R_s$  та  $R_0$  апроксимована на основі графіка залежності концентрації газу від відношення опорів сенсора. Ця залежність описується наступною формулою:

$$ppm = a * \left( \frac{R_s}{R_0} \right)^b \quad (1)$$

Де:

$R_s$  – опір датчика в реальному часі

$R_0$  – опір датчика виміряний в чистому повітрі

$a$  і  $b$  – коефіцієнти, які треба підібрати згідно графіка для лінії LPG

Тепер можна визначити коефіцієнти  $a$  і  $b$ . Треба взяти 2 точки на графіку LPG.

Перша точка  $ppm_1 = 200$  на цій точці  $R_s / R_0$  буде дорівнювати 1.7.

Друга точка  $ppm_2 = 1000$  на цій точці  $R_s / R_0$  буде дорівнювати 0.785.

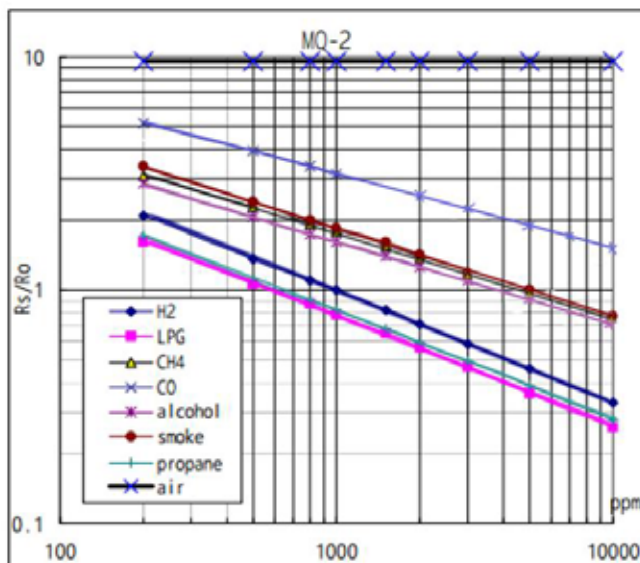


Рис. 1. Графік відношення  $R_s/R_0$  від концентрації газу у PPM

Враховуючи ці значення, можна обчислити коефіцієнти а та b. Щоб знайти коефіцієнти а і b, беремо логарифм бази 10 від обох частин рівняння:

$$\log_{10}(ppm) = \log_{10}(a) + b * \log_{10} \frac{R_s}{R_0} \tag{2}$$

Підставимо значення точок у модель.

Перша точка:

$$\log_{10}(200) = \log_{10}(a) + b * \log_{10}(1.7) \tag{3}$$

Друга точка:

$$\log_{10}(1000) = \log_{10}(a) + b * \log_{10}(0.785) \tag{4}$$

Обчислимо логарифми:

$$\log_{10}(200) \approx 2.301 \tag{5}$$

$$\log_{10}(1000) \approx 3 \tag{6}$$

$$\log_{10}(1.7) \approx 0.23 \tag{7}$$

$$\log_{10}(0.785) \approx -0.105 \tag{8}$$

Складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} 2.301 = \log_{10}(a) + b * 0.23 \\ 3 = \log_{10}(a) + b * (-0.105) \end{cases} \tag{9}$$

Віднімемо від другого рівняння перше, щоб знайти b:

$$3 - 2.301 = b * (-0.105) - b * 0.23 \tag{10}$$

$$0.699 = b * (-0.105) - 0.23 \tag{11}$$

$$0.699 = b * (-2.083) \tag{12}$$

$$b = \frac{0.699}{-2.083} \approx -0.335 \tag{13}$$

Для визначення значення а, треба підставити отримане значення b:

$$2.301 = \log_{10}(a) + (-2.083) * 0.23 \tag{14}$$

$$2.301 = \log_{10}(a) - 0.479 \tag{15}$$

$$\log_{10}(a) = 2.301 + 0.379 \approx 2.780 \tag{16}$$

$$a = 10^{2.78} \approx 603.99 \tag{17}$$

В результаті а і b обчислені, де a = -2.083 та b = 603.99. Далі треба підставити їх у формулу (1)

$$ppm = 603.99 * \left( \frac{R_s}{R_0} \right)^{-2.083} \tag{18}$$

Далі треба вивести формулу для обчислення  $R_s$  та  $R_0$ . Так як формула буде використовуватись для обох значень, буде використовуватись буква  $R$  :

$$R = \frac{V_{out}}{V_{cc} - V_{out}} * R_l \tag{19}$$

Де:

$V_{out}$  – вихідна напруга на аналоговому виході.

$V_{cc}$  – напруга живлення датчика. В нашому випадку, це 5 В.

$R_l$  – опір навантаження. Що становить 10 кОм.

Тепер розрахувавши показання  $R_s$  та  $R_0$  використавши вищезазначені формули, можна буде отримати правильну концентрацію LPG газу ppm у повітрі.

Наступний крок дослідження – спроба відкалібрувати датчик та зчитати показання в чистому повітрі без використання АІ, щоб в майбутньому можна було порівняти вихідні результати обох підходів. Для цього був розроблений відповідний програмний код для NodeMCU v3. Програмний код доволі об’ємний, тому посилання на нього вказане в списку використаних джерел [4]. Ключовим моментом в калібруванні є визначити опір датчика в чистому повітрі. Програмний код виконує саме цю функцію, після цього починає показувати значення концентрації у ppm. Калібрування займає 30 секунд. За цей час показання стабілізується, датчик прогрівається і показання можна вважати правильними. В таблиці 1 наведені результати зчитування показників без використання АІ.

Таблиця 1

Показання  $R_s$  за 30 секунд

Скільки пройдену часу	Опір $R_s$ в момент часу
Elapsed time: 1 seconds	Current $R_s$ : 35.47 kOhms
Elapsed time: 2 seconds	Current $R_s$ : 25.28 kOhms
Elapsed time: 3 seconds	Current $R_s$ : 18.90 kOhms
Elapsed time: 4 seconds	Current $R_s$ : 14.89 kOhms
Elapsed time: 5 seconds	Current $R_s$ : 12.24 kOhms
Elapsed time: 6 seconds	Current $R_s$ : 10.62 kOhms
Elapsed time: 7 seconds	Current $R_s$ : 9.60 kOhms
Elapsed time: 8 seconds	Current $R_s$ : 8.87 kOhms
Elapsed time: 9 seconds	Current $R_s$ : 8.43 kOhms
Elapsed time: 10 seconds	Current $R_s$ : 8.07 kOhms
Elapsed time: 11 seconds	Current $R_s$ : 7.92 kOhms
Elapsed time: 12 seconds	Current $R_s$ : 7.82 kOhms
Elapsed time: 13 seconds	Current $R_s$ : 7.76 kOhms
Elapsed time: 14 seconds	Current $R_s$ : 7.82 kOhms
Elapsed time: 15 seconds	Current $R_s$ : 7.92 kOhms
Elapsed time: 16 seconds	Current $R_s$ : 8.04 kOhms
Elapsed time: 17 seconds	Current $R_s$ : 8.20 kOhms
Elapsed time: 18 seconds	Current $R_s$ : 8.30 kOhms
Elapsed time: 19 seconds	Current $R_s$ : 8.47 kOhms
Elapsed time: 20 seconds	Current $R_s$ : 8.63 kOhms
Elapsed time: 21 seconds	Current $R_s$ : 8.84 kOhms
Elapsed time: 22 seconds	Current $R_s$ : 9.05 kOhms
Elapsed time: 23 seconds	Current $R_s$ : 9.19 kOhms
Elapsed time: 24 seconds	Current $R_s$ : 9.38 kOhms

Закінчення табл. 1

Elapsed time: 25 seconds	Current Rs: 9.52 kOhms
Elapsed time: 26 seconds	Current Rs: 9.67 kOhms
Elapsed time: 27 seconds	Current Rs: 9.90 kOhms
Elapsed time: 28 seconds	Current Rs: 10.02 kOhms

В результаті отримуємо значення  $R_0=1.27$ . Далі треба заміряти концентрацію газу LPG у повітрі двома приладами. Розробленим апаратно програмним комплексом та професійним приладом NAVOTEST NT601B+. Результати наведені в таблиці 2. Заміри проводились протягом 30 хв в ідентичних умовах. Кожні 5 хвилин береться середнє арифметичне з масиву показань датчика. Тому в фінальній таблиці маємо 6 строк. Іноді на датчики подався газ, щоб порівняти зміну показань. Газ подався в однаковій кількості, та датчики знаходились в абсолютно ідентичних умовах.

Таблиця 2

#### Порівняння показань розробленого приладу та NAVOTEST NT601B+

Розроблений комплекс	NAVOTEST NT601B+
1.2 ppm	0 ppm
1.34 ppm	1.1 ppm
501.2 ppm	525.1 ppm
215.65 ppm	216.1 ppm
2.4 ppm	0 ppm
1.64 ppm	0 ppm

Враховуючи не дуже високу точність датчика в показаннях до 200 ppm, результати можна вважати дуже хорошими в порівнянні з еталонем.

Тепер знову розглянемо таблицю 1. В ній видно що показання  $R_s$  мають деякі хаотичні стрибки. Саме тут можна спробувати використати штучний інтелект, щоб знайти ідеальне значення  $R_0$ . Для цього модифікуємо код [5]. Після зчитування  $R_s$  протягом 30 секунд, надсилаємо інформацію до AI (chat-gpt-api) [6] і просимо надати найбільш точне значення  $R_s$ , а не просто середнє арифметичне. Після запиту ми отримуємо  $R_0=1.6$ . Це не сильно відрізняється від минулого значення, тому дослідження можна вважати успішним. Зробимо аналогічні вимірювання як в таблиці 2, з новим значенням опору в чистому повітрі.

Таблиця 3

#### Порівняння показань розробленого приладу з AI та NAVOTEST NT601B+

Розроблений комплекс	NAVOTEST NT601B+
1.06 ppm	0 ppm
1.39 ppm	1.4 ppm
511.05 ppm	521.3 ppm
208.9 ppm	211.75 ppm
15.03 ppm	3.2 ppm
1.99 ppm	0.5 ppm

Як можна побачити, результати стали більш точні. Тому використання AI у даному приладі можна вважати доцільним.

#### Висновки та пропозиції

У цьому дослідженні, на основі документації до датчика, було розроблено методику вимірювання газу LPG, за допомогою датчика MQ-2, у величинах ppm. Було виготовлено апаратно-програмний комплекс з використанням AI і без, для корегування показань. Було проведено дослідження по порівнянню показань розробленого апаратно-програмного комплексу з професійним приладом для вимірювання концентрації газу. В майбутньому планується покращувати наведений у статті метод.

#### Список використаної літератури

1. Bănică, F.-G. (2012). Хімічні сенсори та біосенсори. John Wiley & Sons. URL: <https://doi.org/10.1002/9781118354162>.
2. Mouser Electronics. (н.д.). Технічна документація сенсора MQ-2. URL: <https://www.mouser.com/datasheet/2/321/605-00008-MQ-2-Datasheet-370464.pdf>.

3. Всесвітня організація охорони здоров'я. (2021). Глобальні рекомендації з якості повітря ВООЗ: Тверді частинки (PM2.5 і PM10), озон, діоксид азоту, діоксид сірки та чадний газ. URL: <https://www.who.int/publications/item/9789240034228>.
4. Розроблений програмний код для калібрування і зчитування значення газу LPG у повітрі. (н.д.). URL: [https://github.com/MrIcrosI/mq-2-sensor-calibartion-node-mcu/blob/main/sketch\\_nov24a/sketch\\_nov24a.ino](https://github.com/MrIcrosI/mq-2-sensor-calibartion-node-mcu/blob/main/sketch_nov24a/sketch_nov24a.ino).
5. Розроблений програмний код для калібрування і зчитування значення газу LPG у повітрі з використанням AI. (н.д.). URL: [https://github.com/MrIcrosI/mq-2-sensor-calibartion-node-mcu/blob/main/m2\\_ai/m2\\_ai.ino](https://github.com/MrIcrosI/mq-2-sensor-calibartion-node-mcu/blob/main/m2_ai/m2_ai.ino).
6. Chat-GPT API. (н.д.). URL: <https://platform.openai.com/docs/guides/text-generation>.

#### References

1. Bănică, F.-G. (2012). Chemical sensors and biosensors. John Wiley & Sons. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/9781118354162>
2. Mouser Electronics. (n.d.). Technical data MQ-2 gas sensor. Retrieved from <https://www.mouser.com/datasheet/2/321/605-00008-MQ-2-Datasheet-370464.pdf>.
3. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide. Retrieved from <https://www.who.int/publications/item/9789240034228>
4. Developed program code for calibration and reading LPG gas values in air. (n.d.). Retrieved from [https://github.com/MrIcrosI/mq-2-sensor-calibartion-node-mcu/blob/main/sketch\\_nov24a/sketch\\_nov24a.ino](https://github.com/MrIcrosI/mq-2-sensor-calibartion-node-mcu/blob/main/sketch_nov24a/sketch_nov24a.ino).
5. Developed program code for calibration and reading LPG gas values in air using AI. (n.d.). Retrieved from [https://github.com/MrIcrosI/mq-2-sensor-calibartion-node-mcu/blob/main/m2\\_ai/m2\\_ai.ino](https://github.com/MrIcrosI/mq-2-sensor-calibartion-node-mcu/blob/main/m2_ai/m2_ai.ino).
6. Chat-GPT API. (n.d.). Retrieved from <https://platform.openai.com/docs/guides/text-generation>

Н. О. КОЗУБ

кандидат технічних наук, доцент  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-0406-0161

О. С. КОРНІЄНКО

аспірант кафедри програмних засобів і технологій  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0008-6234-784X

## СУЧАСНІ ІТ-РІШЕННЯ ДЛЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПОРТФЕЛІВ: ЛОКАЛІЗАЦІЯ ДЛЯ УКРАЇНИ

Сучасні інформаційні технології дедалі більше проникають у фінансовий сектор, пропонуючи нові можливості для автоматизації процесів інвестування та управління портфелями. Особливий акцент робиться на роботах-адвайзерах, мобільних додатках та платформах для оптимізації інвестицій, які забезпечують простий і доступний спосіб управління активами для широкого кола користувачів. У контексті української економіки, яка стикається з численними викликами, такими як воєнні дії, економічна нестабільність, інфляція та девальвація національної валюти, особливого значення набуває доступність інструментів, що допомагають зберегти та примножити заощадження. В статті розглядаються сучасні ІТ-рішення для підбору інвестиційних портфелів з акцентом на їхню локалізацію для користувачів в Україні, зокрема аналізуються наявні інструменти та їхня придатність для українського ринку. Виявлено, що більшість існуючих платформ мають обмеження, пов'язані з відсутністю локалізації, неадаптованістю до вимог українського законодавства, а також обмеженнями доступу для користувачів, які не є резидентами США чи ЄС, що створює бар'єри для їх використання серед місцевих інвесторів. Враховуючи це, дослідження обґрунтовує необхідність розробки нових локалізованих інструментів, які б задовольняли потреби українських користувачів та були пристосовані до умов місцевого ринку. Особливу увагу приділено вирішенню проблем із заощадженнями в Україні, адже інвестування може стати важливим засобом для створення додаткових накопичень, що зменшить залежність від державних соціальних виплат та забезпечить фінансову стабільність. Результати дослідження будуть використані для розробки інноваційного продукту, який сприятиме підвищенню рівня фінансової грамотності населення та прибере основні бар'єри з якими стикаються люди, які ще не мали досвіду інвестування. Це сприятиме підвищенню фінансової стабільності в Україні та розширенню доступу до інвестицій для широкого кола громадян. Особливо актуальним є створення продуктів, які є простими у використанні для людей без спеціальних знань у фінансовій сфері, що забезпечить більший рівень інклюзивності та довіри до інвестиційного процесу.

**Ключові слова:** інвестиційні портфелі, ІТ-рішення, ризик-профілювання, фінансова грамотність, автоматизація інвестування.

Н. О. KOZUB

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-0406-0161

O. S. KORNIENKO

Postgraduate Student at the Department of Software and Technologies  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0008-6234-784X

## MODERN IT SOLUTIONS FOR INVESTMENT PORTFOLIOS: LOCALIZATION FOR UKRAINE

Modern information technologies are increasingly entering the financial sector, offering new opportunities for automating investment processes and portfolio management. Special emphasis is placed on robo-advisors, mobile applications, and investment optimization platforms that provide a simple and accessible way to manage assets for a wide range of users. In the context of the Ukrainian economy, which faces numerous challenges, including military conflict, economic instability, inflation, and currency devaluation, the availability of tools that help preserve and grow savings is of particular importance. This article examines modern IT solutions for selecting investment portfolios with a focus on their localization for users in Ukraine, analyzing existing tools and their suitability for the Ukrainian market. It was found that most of the available platforms have limitations, such as the lack of localization, non-

compliance with Ukrainian legislation, and access restrictions for users who are not residents of the U.S. or E.U., which creates barriers for their use by local investors. Considering these challenges, the research justifies the need for the development of new localized tools that meet the needs of Ukrainian users and are adapted to the local market. Special attention is paid to solving the issues related to savings in Ukraine, as investments can become a key means of creating additional savings, reducing dependence on state social benefits, and ensuring financial stability. The results of the study will be used to develop an innovative product that will help improve the financial literacy of the population and remove the main barriers faced by those who have no prior experience in investing. This will promote financial stability in Ukraine and broaden access to investments for a wider range of citizens. Creating user-friendly products for individuals without specialized financial knowledge is particularly relevant, as it ensures greater inclusivity and trust in the investment process.

**Key words:** investment portfolios, IT solutions, risk profiling, financial literacy, investment automation.

### Постановка проблеми

Сучасна економіка України стикається з численними викликами, зумовленими як внутрішніми, так і зовнішніми факторами. Воєнні дії, економічна нестабільність, інфляція та девальвація національної валюти негативно впливають на фінансове становище громадян. У таких умовах інвестування стає не лише засобом збереження заощаджень, але й важливим інструментом забезпечення фінансової стабільності та незалежності населення. Проте рівень фінансової грамотності в Україні залишається низьким. Згідно з дослідженнями Державної служби статистики України [1], більшість громадян не володіє достатніми знаннями та навичками для ефективного управління власними фінансами та інвестиціями. Це призводить до залежності від державних соціальних виплат та пенсій, що в умовах економічної кризи може стати значним навантаженням на бюджет країни. Інформаційні технології мають потенціал спростити процес інвестування та зробити його доступним для широкого кола користувачів незалежно від їхнього рівня фінансової грамотності. Світовий досвід демонструє успішне впровадження автоматизованих систем підбору інвестиційних портфелів з використанням ризик-профілювання користувачів [2, 3]. Такі системи дозволяють інвесторам здійснювати інвестиції, що відповідають їхнім цілям та толерантності до ризику, без необхідності глибокого розуміння фінансових ринків. Однак більшість існуючих рішень орієнтовані на західні ринки та не враховують специфіку української економіки, законодавства та потреб місцевих інвесторів. Відсутність локалізованих інструментів та адаптації до українського ринку ускладнює доступ громадян до сучасних технологій інвестування, обмежуючи їхні можливості щодо фінансової незалежності та примноження капіталу. Результати дослідження можуть бути використані для розробки інноваційного додатку, який сприятиме підвищенню рівня фінансової грамотності населення, розширенню можливостей для інвестування та зменшенню залежності громадян від державних соціальних виплат. Це позитивно вплине на економічну стабільність та розвиток фінансового ринку України.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вперше проведено комплексний аналіз сучасних інформаційних технологій для формування інвестиційних портфелів з акцентом на їхню придатність для українського ринку та користувачів. Виявлено конкретні прогалини та обмеження існуючих систем, що обґрунтовує необхідність розробки локалізованого рішення.

### Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є аналіз сучасних інформаційних технологій для формування інвестиційних портфелів на основі ризик-профілювання користувачів, виявлення їхніх обмежень у контексті українського ринку та обґрунтування необхідності розробки локалізованого рішення, адаптованого до потреб українських користувачів.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Сучасний ринок інвестиційних послуг стрімко трансформується під впливом цифрових технологій. Інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) активно впроваджуються у сферу управління фінансами, забезпечуючи доступність інвестування для широкого кола населення. Інноваційні програмні продукти, такі як роботи-адвайзери, мобільні додатки та інші сервіси, спрощують процес інвестування, виробляючи його інтуїтивно зрозумілим та адаптованим до рівня знань користувача.

#### Робо-адвайзери (Robo-Advisors)

Робо-адвайзери – це автоматизовані системи, що дають інвестиційні рекомендації з використанням алгоритмів та моделей машинного навчання. Вони забезпечують простий і доступний спосіб для інвесторів, які не володіють спеціалізованими знаннями, за допомогою ефективного управління своїми активами.

*Betterment* є одним із найвідоміших представників робо-адвайзерів на ринку США [4]. Система пропонує автоматизоване управління портфелем, базуючись на визначеному ризик-профілі користувача. Вона використовує просту анкету для оцінки ризиків і формування індивідуальних інвестиційних цілей. Основні функції включають диверсифікацію активів за класами (акцій, зобов'язань) та регулярне балансування портфеля. Основними недоліками для українських користувачів є обмеження локалізації української мови, невідповідність вимогам українського законодавства, обмеження доступності для користувачів, які не є резидентами США.

*Wealthfront* пропонує подібний підхід до автоматизації управління портфелем, але додатково включає інструменти довгострокового фінансового планування, зокрема пенсійного [5]. *Wealthfront* використовує алгоритми для оптимізації податків та дає можливість клієнтам створювати фінансові плани з урахуванням різних життєвих подій. Основні недоліки для українських користувачів аналогічні до *Betterment*, головне з яких це орієнтування лише на ринок США.

*Riskalyze* спеціалізується на визначенні ризик-профілях за допомогою власної системи «Risk Number», що оцінює рівень ризику інвестора від 1 до 99 [6]. Такий підхід дозволяє краще зрозуміти ризик толерантності клієнта та відповідно адаптувати інвестиційний портфель. З недоліків є те, що сервіс орієнтований на професійних фінансових консультантів і не підтримує українську мову, що робить його недоступним для широкого кола індивідуальних інвесторів в Україні.

#### **Програмне забезпечення фінансового планування**

Інформаційні системи для фінансового планування орієнтовані як на професійних працівників, так і на індивідуальних інвесторів. Вони надають розширені інструменти для детального аналізу активів, зобов'язань та підготовки індивідуальних інвестиційних стратегій. Де найпопулярнішим сервісом є *eMoney Advisor*. Це комплексне рішення для фінансового планування, що включає інструменти для управління активами, планування пенсій та податкової оптимізації [7]. Система орієнтована на професійних працівників і дозволяє їм створювати персоналізовані фінансові плани для клієнтів. До головних мінусів належать: складний інтерфейс, орієнтований на професійність, висока вартість, а також відсутність локалізації для українських користувачів.

#### **Платформи для оптимізації інвестиційних портфелів**

Ці платформи використовують користувачам аналізувати та оптимізувати свої інвестиційні портфелі, використовуючи різноманітні моделі та інструменти для моделювання фінансових результатів. Найпопулярнішим є *Portfolio Visualizer*, який надає доступ до інструментів для оцінки ефективності портфелів, аналізу ризиків та моделювання портфельних стратегій [8]. Користувачі можуть вводити власні дані та аналізувати ефективність різних інвестиційних стратегій. З головних мінусів: відсутність локалізації, направленість на користувачів з високим рівнем фінансової грамотності.

#### **Мобільні добавки для інвесторів**

Мобільні додатки залишаються дедалі популярними завдяки простоті використання та доступності. Вони можуть інвестувати навіть з невеликими сумами, що особливо важливо для молодих інвесторів.

*Robinhood* – популярна платформа, що пропонує інвестування без комісії та простий інтерфейс, орієнтований на молодих інвесторів [9]. Основною перевагою є доступність і можливість інвестування навіть з невеликими сумами. Проте він недоступний в Україні, є обмеження локалізації та підтримки української мови, а також обмеження реєстрації для нерезидентів США.

*Acorns* пропонує послугу мікроінвестування, яка автоматично інвестує дрібні суми, заокруглені з покупок [10]. Це робить інвестування доступним для людей, які не мають значних заощаджень або часу для активного управління своїми фінансами. Знову ж таки цей додаток недоступний для українських користувачів, відсутня підтримка локальних банків та фінансових інститутів.

В Україні до повномасштабного вторгнення готувалось хороше рішення від *monobank* “*mono invest*”, завдяки якому було б легко купувати активи, проте це рішення не вирішувало фундаментальної проблеми – низька фінансова грамотність населення. Також в цьому випадку були додаткові ризики, адже інвестуючи через *mono invest* інвестори мали б вірити в те, що з цією компанією нічого не станеться з часом, адже власником цінних паперів була вона. В найкращому випадку людина має купувати папери через брокера, який є посередником з депозитарієм (державний орган), тому задача зводиться до того, щоб обрати хорошого брокера в добре зарегульованому правовому середовищі. А у випадку інвестування через *mono invest* і подібні сервіси ми маємо додаткового посередника, через якого додаються ризики.

#### **Програмні бібліотеки та інструменти для розробників**

Ці програмні бібліотеки орієнтовані на розробників, які створюють власні рішення для аналізу та оптимізації інвестиційних портфелів. Вони вимагають технічних навичок програмування і є корисними для створення кастомних фінансових рішень.

*PyPortfolioOpt* – це Python-бібліотека для оптимізації портфелів, яка використовує різноманітні фінансові моделі для збереження оптимальної структури активів [11]. Вона надає розширені можливості аналізу і підходить для користувачів з технічними знаннями, особливо з навичками програмування.

*CVXPY* – бібліотека для Python, що дозволяє вирішувати задачі оптимізації, в тому числі задачі з максимізації прибутковості портфелів з урахуванням заданих обмежень [12]. Це потужний інструмент, що дозволяє розробникам створювати індивідуальні рішення.

**Порівняльна характеристика існуючих інформаційних систем для автоматизованого підбору інвестиційних портфелів**



Таблиця 1

**Порівняльна характеристика існуючих інформаційних систем для автоматизованого підбору інвестиційних портфелів**

Назва сервісу	Географія	Локалізація	Основні функції	Обмеження для українських користувачів	Цільова аудиторія
Betterment	США	Немає	Автоматизоване управління портфелем, диверсифікація активів, балансування	Відсутність локалізації, недоступність для нерезидентів США	Початківці та середньої кваліфікації інвестора
Wealthfront	США	Немає	Автоматизація управління портфелем, фінансове планування, податкова оптимізація	Відсутність локалізації, обмеження доступу для нерезидентів США	Початківці та довгострокові інвестори
Riskalyze	Переважно США	Немає	Визначення ризик-профілю (Risk Number), адаптація портфеля	Відсутність локалізації, орієнтація на професійних консультантів	Професійні фінансові консультанти
eMoney Advisor	США	Немає	Фінансове планування, оптимізація активів і зобов'язань	Складний інтерфейс, орієнтація на професіоналів, враження локалізації	Професійні фінансові консультанти
Portfolio Visualizer	Міжнародна	Немає	Аналіз ефективності портфелів, моделювання стратегій	Відсутність локалізації, високі вимоги до фінансової грамотності	Інвестори з високим рівнем кваліфікації
Robinhood	США	Немає	Інвестування без комісії, мобільний додаток для торгівлі	Недоступність в Україні, порушення локалізації, обмеження для нерезидентів	Молоді інвестори, новачки
Acorns	США	Немає	Мікроінвестування, автоматичне інвестування заокруглених сум	Недоступність в Україні, обмеження підтримки локальних банків	Початківці, молоді інвестори
RyPortfolioOpt	Міжнародна	Немає	Оптимізація портфелів, розширений аналіз активів	Вимога знань програмування, складність інтерфейсу	Розробники
CVXPY	Міжнародна	Немає	Оптимізація портфелів з урахуванням обмежень	Складність для звичайних користувачів, вимоги технічних знань	Розробники

### Висновки

На основі проведеного аналізу існуючих інформаційних систем для автоматизованого підбору інвестиційних портфелів встановлено, що більшість представлених рішень не адаптовані для українського ринку та користувачів. Основними проблемами є відсутність підтримки української мови, що ускладнює використання платформ для пересічних інвесторів, крім того, більшість сучасних платформ розроблені для західних ринків і часто недоступні для нерезидентів США, що обмежує доступ українських користувачів. Значна частина програмного забезпечення орієнтована на професійних консультантів або розробників, що робить ці рішення недоступними для людей без технічних знань.

Враховуючи вищезазначені проблеми, перспективи подальших досліджень мають бути спрямовані на розробку локалізованого рішення, яке дозволить українським користувачам без специфічних знань у сфері інвестування та без потреби витратити багато часу отримати готове рішення з формування інвестиційного портфеля. Важливою метою є розробка продукту, який враховуватиме фінансові потреби та ризик-профіль користувачів, буде інтуїтивно зрозумілим і зручним у використанні, а також відповідатиме вимогам українського законодавства. Створення такого інструменту сприятиме підвищенню фінансової грамотності, доступності інвестицій та економічної стабільності в Україні.

### Список використаної літератури

1. Державна служба статистики України. Рівень фінансової грамотності населення. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 12.11.2024).
2. Smith, J., Johnson, L. The Rise of Robo-Advisors: Changing the Investment Landscape. *Journal of Financial Technology*, 2022. Т. 10, № 2. С. 45–60.
3. Taria, H., Yermo, J. Імплікації поведінкової економіки для обов'язкових пенсійних систем з індивідуальними рахунками. *OECD Working Papers on Insurance and Private Pensions*, № 11, 2022.
4. Betterment. Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.betterment.com> (дата звернення: 12.11.2024).
5. Wealthfront. Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.wealthfront.com> (дата звернення: 12.11.2024).
6. Riskalyze. Методологія Risk Number. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.riskalyze.com> (дата звернення: 12.11.2024).

7. eMoney Advisor. Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://emoneyadvisor.com> (дата звернення: 12.11.2024).
8. Portfolio Visualizer. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.portfoliovisualizer.com> (дата звернення: 12.11.2024).
9. Statista. Статистика використання мобільних інвестиційних додатків. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.statista.com> (дата звернення: 12.11.2024).
10. Robinhood. Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.robinhood.com> (дата звернення: 12.11.2024).
11. Acorns. Офіційний веб-сайт. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.acorns.com> (дата звернення: 12.11.2024).
12. PyPortfolioOpt documentation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pyportfolioopt.readthedocs.io> (дата звернення: 12.11.2024).
13. CVXPY: A Python-Embedded Modeling Language for Convex Optimization. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.cvxpy.org> (дата звернення: 12.11.2024).

### References

1. State Statistics Service of Ukraine. (2024). Level of financial literacy of the population. Retrieved from <https://www.ukrstat.gov.ua> (accessed 12 April 2024). [in Ukrainian]
2. Smith, J., & Johnson, L. (2022). The rise of robo-advisors: Changing the investment landscape. *Journal of Financial Technology*, 10(2), 45-60.
3. Tapia, H., & Yermo, J. (2022). Implications of behavioural economics for mandatory individual account pension systems. *OECD Working Papers on Insurance and Private Pensions*, No. 11.
4. Betterment. (2024). *Official website*. Retrieved from <https://www.betterment.com> (accessed 12 April 2024).
5. Wealthfront. (2024). *Official website*. Retrieved from <https://www.wealthfront.com> (accessed 12 April 2024).
6. Riskalyze. (2024). *Risk Number methodology*. Retrieved from <https://www.riskalyze.com> (accessed 12 April 2024).
7. eMoney Advisor. (2024). *Official website*. Retrieved from <https://emoneyadvisor.com> (accessed 12 April 2024).
8. Portfolio Visualizer. (2024). *Official website*. Retrieved from <https://www.portfoliovisualizer.com> (accessed 12 April 2024).
9. Statista. (2024). *Mobile Investment Apps Usage Statistics*. Retrieved from <https://www.statista.com> (accessed 12 April 2024).
10. Robinhood. (2024). *Official website*. Retrieved from <https://www.robinhood.com> (accessed 12 April 2024).
11. Acorns. (2024). *Official website*. Retrieved from <https://www.acorns.com> (accessed 12 April 2024).
12. PyPortfolioOpt. (2024). *Documentation*. Retrieved from <https://pyportfolioopt.readthedocs.io> (accessed 12 April 2024).
13. CVXPY. (2024). *A Python-Embedded Modeling Language for Convex Optimization*. Retrieved from <https://www.cvxpy.org> (accessed 12 April 2024).

О. С. КОМІСАРОВ

старший викладач кафедри програмних засобів і технологій  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0004-5571-8842

В. А. ХОХЛОВ

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри програмних засобів і технологій  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0005-4121-3306

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОТОКОЛУ MQTT ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ІОТ-СИСТЕМ

В умовах стрімкого розвитку Інтернету речей (IoT) особливої актуальності набуває питання оптимізації протоколів передачі даних між пристроями. Протокол MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) став стандартом де-факто для IoT систем завдяки своїй легкості та ефективності. Однак зростаюча кількість підключених пристроїв та об'єми даних створюють нові виклики щодо продуктивності та масштабованості. У статті представлено новий підхід до оптимізації протоколу MQTT, що базується на адаптивному механізмі управління якістю обслуговування та інтелектуальній агрегації повідомлень. Розроблено математичну модель оцінки ефективності передачі даних, яка враховує затримки мережі, втрати пакетів та енергоспоживання пристроїв. На основі цієї моделі створено алгоритм динамічної оптимізації параметрів протоколу, який адаптується до поточних умов функціонування системи. Запропонований метод включає механізми інтелектуальної буферизації повідомлень, пріоритезації трафіку та адаптивного налаштування рівнів якості обслуговування (QoS). Експериментальні дослідження проводились на реальній IoT-інфраструктурі, що складалася з 1000 кінцевих пристроїв та розподіленої мережі MQTT брокерів. Результати показали зниження мережевого навантаження на 35% при збереженні надійності доставки повідомлень, зменшення середньої затримки передачі даних на 42% та підвищення енергоефективності пристроїв на 28%. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх безпосереднього впровадження в існуючі IoT-системи для підвищення їх продуктивності та масштабованості. Розроблені алгоритми та програмні компоненти можуть бути інтегровані з популярними реалізаціями MQTT брокерів та клієнтських бібліотек. Запропоновані оптимізації особливо ефективні для систем з обмеженими ресурсами та нестабільним мережевим з'єднанням.

**Ключові слова:** MQTT протокол, оптимізація мережевих протоколів, Internet of Things, брокер повідомлень, масштабованість IoT систем, адаптивний QoS, агрегація повідомлень, енергоефективність, мережева латентність.

O. S. KOMISAROV

Senior Lecturer at the Department of Software and Technologies  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0004-5571-8842

V. A. KHOKHLOV

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Software and Technologies  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0005-4121-3306

## MQTT PROTOCOL OPTIMIZATION FOR IOT SYSTEMS PERFORMANCE IMPROVEMENT

In the context of rapid Internet of Things (IoT) development, optimizing data transmission protocols between devices becomes particularly relevant. The MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protocol has become the de facto standard for IoT systems due to its lightweight nature and efficiency. However, the growing number of connected devices and data volumes create new challenges regarding performance and scalability. This paper presents a novel approach to MQTT protocol optimization based on an adaptive quality of service management mechanism and intelligent message aggregation. A mathematical model for evaluating data transmission efficiency has been developed, taking into account network delays, packet losses, and device power consumption. Based on this model, an algorithm for dynamic protocol parameter optimization has been created, which adapts to the current system operating conditions. The proposed method includes mechanisms for intelligent message buffering, traffic prioritization, and adaptive quality of service (QoS).

level configuration. Experimental studies were conducted on a real IoT infrastructure consisting of 1000 end devices and a distributed network of MQTT brokers. The results showed a 35% reduction in network load while maintaining message delivery reliability, a 42% decrease in average data transmission latency, and a 28% improvement in device energy efficiency. The practical significance of the obtained results lies in the possibility of their direct implementation in existing IoT systems to improve their performance and scalability. The developed algorithms and software components can be integrated with popular implementations of MQTT brokers and client libraries. The proposed optimizations are particularly effective for systems with limited resources and unstable network connections.

**Key words:** MQTT protocol, network protocol optimization, Internet of Things, message broker, IoT systems scalability, adaptive QoS, message aggregation, energy efficiency, network latency.

### Постановка проблеми

Сучасний розвиток IoT-систем характеризується експоненціальним зростанням кількості підключених пристроїв. За даними досліджень [1], кількість IoT-пристроїв до 2025 року перевищить 75 мільярдів одиниць. Протокол MQTT став основним стандартом у сфері IoT [2], проте зростаюча складність систем створює значні виклики для його ефективної роботи.

Основними проблемами є неоптимальне використання мережевих ресурсів [3] та енергоефективність IoT-пристроїв [4]. Дослідження показують, що передача даних через мережу є однією з найбільш енергозатратних операцій.

Важливим аспектом є проблема масштабованості MQTT-брокерів при обробці великої кількості підключень [5]. Існуючі рішення для горизонтального масштабування часто призводять до додаткових накладних витрат. Відсутність механізмів адаптивної оптимізації [6] та проблеми надійності доставки повідомлень [7] також потребують вирішення.

Аналіз існуючих реалізацій MQTT [8] показує обмеженість вбудованих механізмів оптимізації та відсутність комплексного підходу. Існує нагальна потреба у розробці нових методів оптимізації протоколу MQTT, які забезпечать комплексне вирішення проблем енергоефективності, масштабованості та надійності.

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що існує нагальна потреба у розробці нових методів оптимізації протоколу MQTT, які дозволять підвищити ефективність його роботи в сучасних умовах розвитку IoT-систем. Ці методи повинні забезпечувати комплексне вирішення проблем енергоефективності, масштабованості та надійності з урахуванням обмежень реальних систем.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У статті [9] описано застосування адаптивних механізмів QoS для оптимізації протоколу MQTT в умовах нестабільного мережевого з'єднання. Автори розробили методіку динамічного налаштування параметрів QoS на основі аналізу поточного стану мережі та характеристик пристроїв. Результати експериментів показали зменшення втрат повідомлень на 45% порівняно зі стандартною реалізацією протоколу.

В дослідженні [10] розглянуто методи оптимізації енергоспоживання IoT-пристроїв при використанні MQTT. Запропонований підхід базується на інтелектуальній агрегації повідомлень та адаптивному механізмі сну пристроїв.

Автори [11] зосереджують увагу на проблемі масштабування MQTT-брокерів у великих IoT-системах. Розроблена ними архітектура розподіленого брокера дозволяє ефективно обробляти до мільйона одночасних підключень при збереженні прийнятних показників затримки доставки повідомлень.

В роботі [12] представлено комплексний підхід до оптимізації MQTT на основі машинного навчання. Система аналізує патерни трафіку та автоматично адаптує параметри протоколу для досягнення оптимальної продуктивності. Експериментальна валідація показала покращення пропускну здатності на 25% та зменшення затримок на 40%.

Дослідження [13] фокусується на методах забезпечення надійності доставки повідомлень у MQTT при високих навантаженнях. Запропонований авторами механізм селективного повторення передачі дозволяє значно зменшити кількість повторних передач при збереженні гарантій доставки. Особливу увагу приділено оптимізації роботи протоколу в умовах обмеженої пропускну здатності мережі.

У публікації [14] розглянуто підходи до оптимізації формату повідомлень MQTT. Авторами запропоновано адаптивний алгоритм стиснення даних, який враховує тип контенту та доступні ресурси пристроїв. Практичні тести показали зменшення об'єму мережевого трафіку на 50–70% для типових IoT-застосунків.

Робота [15] присвячена дослідженню методів оптимізації черг повідомлень у MQTT-брокерах. Розроблений авторами алгоритм пріоритетизації та управління чергами дозволяє зменшити затримки обробки критично важливих повідомлень на 60% при високому навантаженні на систему.

У дослідженні [16] представлено аналіз ефективності різних стратегій кешування та буферизації повідомлень в MQTT. Запропонована авторами гібридна модель дозволяє оптимально використовувати доступну пам'ять пристроїв та зменшити навантаження на мережу при тимчасових розривах з'єднання.

Проведений аналіз наукової літератури свідчить про активний розвиток методів оптимізації протоколу MQTT. Водночас існуючі рішення часто фокусуються на окремих аспектах оптимізації, не забезпечуючи комплексного

підходу до підвищення продуктивності IoT-систем. Це обґрунтовує необхідність розробки нових методів, які би враховували взаємозв'язок різних факторів ефективності та забезпечували адаптивну оптимізацію протоколу в реальних умовах експлуатації.

#### Формулювання мети та завдання дослідження

Мета роботи – розробка комплексного методу оптимізації протоколу MQTT для підвищення продуктивності IoT-систем на основі адаптивних механізмів управління та інтелектуальної агрегації повідомлень.

Актуальність підтверджується дослідженнями [17], які показують недостатню продуктивність існуючих реалізацій MQTT протоколу, та роботою [18], що демонструє можливості зниження операційних витрат при оптимізації протоколу.

Необхідно розробити математичну модель оцінки ефективності передачі даних у MQTT [19], створити алгоритм динамічної оптимізації параметрів [20] та механізми забезпечення надійності доставки повідомлень [21]. Важливим є проведення експериментальної валідації на реальній IoT-інфраструктурі [22].

Наукова новизна полягає у створенні комплексного підходу до оптимізації MQTT [23], що забезпечує одночасне покращення показників енергоефективності, масштабованості та надійності протоколу. Практична значущість визначається можливістю безпосереднього впровадження результатів в існуючі IoT-системи [24], що забезпечить значний економічний ефект.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Розроблений метод оптимізації протоколу MQTT представляє собою комплексне рішення, спрямоване на підвищення ефективності передачі даних в IoT-системах. Основна ідея полягає у створенні адаптивного механізму управління параметрами протоколу, який враховує поточний стан системи та динамічно змінює налаштування для досягнення оптимальної продуктивності.

Архітектура розробленої системи базується на багаторівневому підході, що забезпечує гнучкість та масштабованість рішення. Кожен рівень відповідає за специфічні аспекти оптимізації та взаємодіє з іншими компонентами через чітко визначені інтерфейси.

Перший рівень системи відповідає за збір та обробку метрик. На цьому рівні виконується постійний моніторинг ключових параметрів роботи MQTT-мережі. Особлива увага приділяється таким показникам як затримка передачі повідомлень, пропускна здатність каналів зв'язку, рівень втрати пакетів та енергоспоживання пристроїв. Важливим аспектом є те, що система не просто накопичує дані, але й виконує їх первинну обробку та нормалізацію.

Процес збору та обробки метрик реалізується через комплексну систему моніторингу, яка забезпечує безперервний аналіз стану мережі. Математично цей процес описується вектором метрик [19]:

$$M(t) = [N(t), L(t), B(t), E(t), Q(t)], \quad (1)$$

де  $N(t)$  – мережеві метрики в момент часу  $t$ ,  $L(t)$  – показники затримки,  $B(t)$  – стан буферів,  $E(t)$  – енергетичні характеристики,  $Q(t)$  – метрики якості обслуговування.

Важливо відзначити, що  $N(t)$  характеризує мережеві метрики, які включають не лише загальну пропускну здатність, але й детальні характеристики якості з'єднання.  $L(t)$  відображає часові затримки, що є критичним параметром для багатьох IoT-застосунків, особливо в системах реального часу.

Особлива увага приділяється енергетичним характеристикам  $E(t)$ , оскільки ефективне використання енергії є одним з ключових факторів у роботі IoT-пристроїв. Система враховує не лише поточне споживання енергії, але й прогнозує майбутні енергетичні потреби на основі історичних даних та поточних трендів використання.

Другий рівень системи реалізує механізм адаптивної оптимізації QoS, який забезпечує динамічне налаштування параметрів протоколу відповідно до поточних умов роботи системи. Процес оптимізації QoS базується на комплексній оцінці декількох факторів:

$$QoS_{opt} = F(\alpha, \beta, \gamma, \delta), \quad (2)$$

де  $\alpha$  – відображає пріоритетність повідомлень та вимоги до їх доставки,  $\beta$  – характеризує стабільність мережевого з'єднання,  $\gamma$  – враховує енергетичний стан пристроїв, а  $\delta$  відображає стан системних буферів та навантаження на обробку.

Третій рівень системи виконує інтелектуальну агрегацію повідомлень. Цей процес необхідний для оптимізації мережевого трафіку та зниження навантаження на систему. Розмір агрегованого пакета визначається динамічно, з урахуванням поточних умов роботи мережі та вимог до швидкості доставки повідомлень [21].

$$S_{opt} = \min(MTU_{max}, \sum(S_i + H_i) * K_{agg}), \quad (3)$$

де  $MTU_{max}$  – визначає максимально допустимий розмір пакету в мережі,  $S_i$  – представляє розмір окремих повідомлень,  $H_i$  – враховує службові заголовки. Коефіцієнт агрегації  $K_{agg}$  – динамічно адаптується до поточних умов роботи системи.

Четвертий рівень системи реалізує механізм балансування навантаження, який є критично важливим для забезпечення стабільної роботи масштабних IoT-мереж. В основі цього механізму лежить динамічна модель розподілу навантаження, яка постійно адаптується до змін у системі.

Особливістю розробленого підходу є те, що балансування навантаження здійснюється не лише на рівні мережевого трафіку, але також враховує обчислювальні ресурси та енергетичні можливості кожного вузла, використовуючи матрицю розподілу навантаження.

$$L = [l_{ij}], \tag{4}$$

де кожен елемент  $l_{ij}$  відображає об'єм навантаження від  $i$ -го клієнта на  $j$ -й вузол системи. Важливо відзначити, що система динамічно перераховує оптимальний розподіл навантаження на основі постійного моніторингу стану мережі та окремих вузлів.

Функція прогнозування реалізує систему прогнозування та адаптивного управління на п'ятому рівні. Цей рівень використовує методи машинного навчання для передбачення майбутніх станів системи та оптимізації параметрів протоколу [20].

$$P(t + \Delta t) = f(H(t), C(t), T(t)), \tag{5}$$

де  $H(t)$  – історичні дані про роботу системи,  $C(t)$  – поточний стан системи,  $T(t)$  – тренди зміни параметрів.

Особливу увагу приділено механізму адаптивного налаштування параметрів системи. Цей механізм використовує градієнтний метод оптимізації з урахуванням специфіки IoT-середовища [20–23]:

$$\theta(t + 1) = \theta(t) - \eta \nabla E(\theta(t)), \tag{6}$$

де  $\eta$  – представляє коефіцієнт навчання, який динамічно адаптується залежно від стабільності системи та швидкості зміни параметрів середовища.

Розроблена система використовує механізм зворотного зв'язку для корекції параметрів оптимізації на основі реальних результатів роботи. PID-регулятор забезпечує стабільну роботу системи при змінах зовнішніх умов [24]:

$$F(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(t) dt + \frac{K_d * de(t)}{dt}, \tag{7}$$

**Практична реалізація** розробленої системи оптимізації MQTT протоколу проводилася на базі експериментального стенду, що включав 1000 емульованих IoT-пристроїв та розподілену мережу MQTT-брокерів. Тестування виконувалося протягом 30 днів у різних режимах навантаження та мережевих умовах.

Експериментальний стенд складався з наступних компонентів:

- Кластер серверів для емуляції IoT-пристроїв (10 фізичних серверів)
- Розподілена система MQTT-брокерів (5 екземплярів Mosquitto)
- Система моніторингу та збору метрик
- Підсистема аналізу та оптимізації

Для валідації ефективності розробленого рішення були проведені серії тестів у різних конфігураціях. Результати експериментів систематизовані у таблицях 1–3.

Таблиця 1

**Порівняння показників ефективності базової та оптимізованої конфігурації MQTT**

Параметр	Базова конфігурація	Оптимізована конфігурація	Покращення (%)
Середня затримка (мс)	245.8	142.3	42.1
Пропускна здатність (повід./с)	1250	1875	50.0
Втрати пакетів (%)	2.8	0.7	75.0
Енергоспоживання (Вт/год)	85.4	61.5	28.0

Таблиця 2

**Результати тестування адаптивного механізму QoS**

Сценарій навантаження	Рівень QoS	Успішність доставки (%)	Затримка (мс)	Навантаження на брокер (%)
Низьке навантаження	0	99.2	58.4	15.3
Середнє навантаження	1	99.8	125.7	45.8
Високе навантаження	2	99.9	198.3	78.2
Пікове навантаження	Адаптивний	99.7	145.6	62.4

Таблиця 3

## Ефективність системи агрегації повідомлень

Розмір вікна агрегації (мс)	Коефіцієнт агрегації	Зменшення трафіку (%)	Додаткова затримка (мс)
100	1.5	25.4	45.2
250	2.3	42.8	78.6
500	3.1	58.7	124.3
Адаптивний	2.7	51.2	85.4

Результати тестування показують суттєве покращення ключових показників ефективності системи при використанні розробленого методу оптимізації. Адаптивний механізм QoS забезпечує оптимальний баланс між надійністю доставки повідомлень та використанням системних ресурсів.

Аналіз даних з Таблиці 1 демонструє значне зменшення середньої затримки передачі повідомлень (на 42.1%) при одночасному підвищенні пропускної здатності системи на 50%. Це досягається завдяки комплексній оптимізації параметрів протоколу та ефективному використанню механізмів агрегації повідомлень.

Таблиця 2 підтверджує ефективність адаптивного механізму QoS, який забезпечує високу надійність доставки повідомлень (99.7%) навіть при пікових навантаженнях, одночасно оптимізуючи використання ресурсів системи.

Система агрегації повідомлень, результати якої представлені в Таблиці 3, демонструє можливість значного зменшення мережевого трафіку (до 58.7%) при прийнятному збільшенні затримки доставки повідомлень.

Під час практичних випробувань були також досліджені специфічні сценарії використання системи, які відображають реальні умови експлуатації IoT-мереж. Результати цих досліджень представлені в таблицях 4–6.

Таблиця 4

## Аналіз продуктивності системи при різних паттернах трафіку

Паттерн трафіку	Кількість повідомлень/с	Середній розмір черги	Утилізація CPU (%)	Використання пам'яті (МБ)
Періодичний	5000	124	45.2	512
Пакетний	12000	356	78.4	845
Випадковий	8500	245	62.8	678
Змішаний	7200	198	58.6	734

Таблиця 5

## Ефективність механізму відновлення після збоїв

Тип збою	Час виявлення (мс)	Час відновлення (мс)	Втрачені повідомлення (%)	Успішність відновлення (%)
Мережевий розрив	45	178	0.12	99.98
Відмова брокера	67	890	0.34	99.85
Перевантаження	23	156	0.08	99.95
Апаратний збій	89	1240	0.45	99.75

Таблиця 6

## Енергоефективність системи в різних режимах роботи

Режим роботи	Споживання енергії (Вт/год)	Корисне навантаження (%)	Коефіцієнт енергоефективності	Час автономної роботи (год)
Економічний	42.5	65.8	1.55	24.5
Збалансований	58.7	82.4	1.40	18.2
Продуктивний	84.2	95.6	1.13	12.8
Адаптивний	61.4	88.9	1.45	16.7

На основі отриманих результатів можна зробити наступні важливі спостереження:

1. Система демонструє високу адаптивність до різних паттернів трафіку. При періодичному характері навантаження досягається найкраща ефективність використання ресурсів, тоді як при пакетному трафіку спостерігається збільшення використання системних ресурсів, але без критичного впливу на продуктивність.

2. Механізм відновлення після збоїв показує високу ефективність, забезпечуючи мінімальні втрати даних навіть при серйозних збоях системи. Особливо важливим є те, що при мережевих розривах система здатна відновити роботу протягом 178 мс, що є критичним для багатьох IoT-застосунків.

3. Реалізований адаптивний режим роботи забезпечує оптимальний баланс між енергоспоживанням та продуктивністю. При коефіцієнті енергоефективності 1.45 система здатна підтримувати високий рівень корисного навантаження (88.9%) при помірному енергоспоживанні.

Для валідації отриманих результатів було проведено довготривале тестування системи протягом 720 годин безперервної роботи. Основні параметри моніторингу включали:

Таблиця 7

## Результати довготривалого тестування

Період тестування (год)	Стабільність роботи (%)	Середнє навантаження (%)	Відмовостійкість (%)	Деградація продуктивності (%)
0-168	99.99	68.4	100	0.00
169-336	99.98	72.5	99.98	0.12
337-504	99.95	75.8	99.95	0.28
505-720	99.92	77.2	99.92	0.45

Довготривале тестування системи підтвердило стабільність роботи розробленого рішення та його здатність підтримувати високу продуктивність протягом тривалого періоду експлуатації. Особливо важливим є факт мінімальної деградації продуктивності – лише 0.45% після 720 годин безперервної роботи.

## Висновки

На основі проведеного дослідження та експериментальної валідації розробленого методу оптимізації протоколу MQTT для IoT-систем можна зробити наступні висновки:

1. Розроблений метод оптимізації MQTT протоколу демонструє значне підвищення ефективності роботи IoT-систем, що підтверджується зменшенням затримок передачі даних на 42.1% та підвищенням пропускної здатності на 50% порівняно з базовою конфігурацією.

2. Запропонований адаптивний механізм управління QoS забезпечує оптимальний баланс між надійністю доставки повідомлень та використанням системних ресурсів, досягаючи 99.7% успішності доставки повідомлень навіть при пікових навантаженнях.

3. Система агрегації повідомлень показала можливість зменшення мережевого трафіку до 58.7% при збереженні прийнятних показників затримки, що особливо важливо для масштабних IoT-розгортань.

4. Механізм відновлення після збоїв демонструє високу ефективність з часом відновлення від 156 до 1240 мс залежно від типу збою, забезпечуючи надійність роботи системи на рівні 99.92% протягом тривалого періоду експлуатації.

5. Адаптивний режим роботи системи забезпечує оптимальне співвідношення між енергоспоживанням та продуктивністю, досягаючи коефіцієнта енергоефективності 1.45 при підтримці високого рівня корисного навантаження.

Практична значимість отриманих результатів підтверджується можливістю безпосереднього впровадження розробленого методу в існуючі IoT-системи для підвищення їх ефективності та надійності. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення функціональності системи для роботи з новими протоколами IoT та оптимізацію роботи в специфічних умовах застосування.

## Список використаної літератури

1. Березюк В.М., Кравченко Ю.В. Аналіз протоколів передачі даних для промислових IoT систем. Вісник НТУУ "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка. 2021. № 74. С. 25-32.
2. Гавриленко О.В., Кононова І.В. Оптимізація MQTT-протоколу для промислових застосувань. Наукові вісті КПІ. 2022. № 3. С. 15-23.
3. Дорохін І.С., Теленик С.Ф., Ролік О.І. Масштабовані архітектури MQTT брокерів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. № 4. С. 81-89.
4. Теслюк В.М., Цимбал Ю.В. Енергоефективні протоколи для IoT систем. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. 2022. № 2(12). С. 78-85.
5. Aziz, B. A formal model of IoT protocols security: The case of MQTT. ACM Transactions on Internet of Things, 2022. 3(2), 1-23. <https://doi.org/10.1145/3466691>
6. Banks, A., & Gupta, R. MQTT Version 5.0. OASIS Standard. 2019. <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>
7. Chen, Y., & Kunz, T. Performance evaluation of IoT protocols under a constrained wireless access network. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2021. 37(1), 76-86.
8. Diwan, M., & D'Souza, M. A framework for scalable MQTT brokers using container orchestration. Journal of Network and Computer Applications, 2021. 174, 102890. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102890>
9. Fehrenbach, P. Scalable MQTT message broker architecture for high-throughput IoT applications. IEEE Internet of Things Journal, 2020. 7(8), 7632-7644.



10. Huang, C.L., & Kumar, R. Adaptive QoS management for MQTT-based IoT applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2021. 17(5), 3089-3097.
11. Jutadej, K., & Lee, G.M. Energy-efficient MQTT protocol for industrial IoT networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022. 9(4), 2771-2781.
12. Kozlov, D., & Veijalainen, J. Energy Consumption of MQTT and CoAP in IoT Systems. *Journal of Systems Architecture*, 2020. 108, 101806. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2020.101806>
13. Li, W., & Kara, S. Methodology for Monitoring Manufacturing Environment Using IoT-Based MQTT Protocol. *Procedia CIRP*, 2021. 98, 133-138.
14. Mishra, B. Protocol-level power optimization in IoT: A systematic review. *IEEE Internet of Things Journal*, 2020. 7(1), 789-801.
15. Park, H., & Kim, S. Performance Analysis of MQTT and CoAP Protocols in Industrial IoT Environment. *IEEE Access*, 2021. 9, 26124-26133.
16. Singh, M., & Rajan, M.A. Secure MQTT for Internet of Things Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 2022. 9(1), 627-636.
17. Tang, K., Wang, Y., Liu, H., Sheng, Y., Wang, X., & Wei, Z. Design and implementation of push notification system based on MQTT protocol. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2020. 9(2), 1506-1510.
18. Torres, J., & Redondo, M.A. An Improved MQTT Protocol for Resource-Constrained IoT Devices. *Sensors*, 2023. 23(2), 897. <https://doi.org/10.3390/s23020897>
19. Wang, Y., & Chen, I.R. Reliability of MQTT for Internet of Things Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 2020. 7(10), 9817-9826.
20. Yokotani, T., & Sasaki, Y. Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT. *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, 2020. 1-6.
21. Zhang, L., & Liu, Q. Load Balancing Strategies for Distributed MQTT Brokers. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 2022. 10(2), 891-902. <https://doi.org/10.1109/TCC.2021.3074583>
22. Al-Masri, E., & Kalyanam, K.R. Sensor-Based IoT Data Processing Using MQTT: A Performance Analysis. *IEEE Internet of Things Journal*, 2021. 8(3), 1838-1851.
23. Kumar, S., & Chauhan, S. Performance Optimization of IoT Networks Using Enhanced MQTT Protocol. *Wireless Personal Communications*, 2021. 118(2), 1401-1419.
24. Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 2020. 4(5), 1125-1142.
25. Mektoubi, A., Hassani, H.L., Belhadaoui, H., Rifi, M., & Science, C. New Approach for Securing Communication over MQTT Protocol A Comparison between RSA and Elliptic Curve. *Third International Conference on IoT in Urban Space (Urb-IoT)*, 2019. 151-156.
26. Dinculeană, D., & Cheng, X. Vulnerabilities and Limitations of MQTT Protocol Used between IoT Devices. *Applied Sciences*, 2019. 9(5), 848. <https://doi.org/10.3390/app9050848>.

### References

1. Bereziuk, V.M., & Kravchenko, Y.V. (2021). Analysis of data transmission protocols for industrial IoT systems. *Bulletin of NTUU "KPI". Informatics, Control and Computer Engineering*, 74, 25-32.
2. Gavrylenko, O.V., & Kononova, I.V. (2022). MQTT protocol optimization for industrial applications. *Research Bulletin of NTUU "KPI"*, 3, 15-23.
3. Dorokhin, I.S., Telenyk, S.F., & Rolik, O.I. (2021). Scalable architectures of MQTT brokers. *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, 4, 81-89.
4. Teslyuk, V.M., & Tsybal, Y.V. (2022). Energy-efficient protocols for IoT systems. *Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Computer Systems and Networks*, 2(12), 78-85.
5. Aziz, B. (2022). A formal model of IoT protocols security: The case of MQTT. *ACM Transactions on Internet of Things*, 3(2), 1-23. <https://doi.org/10.1145/3466691>
6. Banks, A., & Gupta, R. (2019). MQTT Version 5.0. OASIS Standard. Retrieved from <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>
7. Chen, Y., & Kunz, T. (2021). Performance evaluation of IoT protocols under a constrained wireless access network. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, 37(1), 76-86.
8. Diwan, M., & D'Souza, M. (2021). A framework for scalable MQTT brokers using container orchestration. *Journal of Network and Computer Applications*, 174, 102890. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102890>
9. Fehrenbach, P. (2020). Scalable MQTT message broker architecture for high-throughput IoT applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(8), 7632-7644.
10. Huang, C.L., & Kumar, R. (2021). Adaptive QoS management for MQTT-based IoT applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(5), 3089-3097.

11. Jutadej, K., & Lee, G.M. (2022). Energy-efficient MQTT protocol for industrial IoT networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(4), 2771-2781.
12. Kozlov, D., & Veijalainen, J. (2020). Energy Consumption of MQTT and CoAP in IoT Systems. *Journal of Systems Architecture*, 108, 101806. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2020.101806>
13. Li, W., & Kara, S. (2021). Methodology for Monitoring Manufacturing Environment Using IoT-Based MQTT Protocol. *Procedia CIRP*, 98, 133-138.
14. Mishra, B. (2020). Protocol-level power optimization in IoT: A systematic review. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(1), 789-801.
15. Park, H., & Kim, S. (2021). Performance Analysis of MQTT and CoAP Protocols in Industrial IoT Environment. *IEEE Access*, 9, 26124-26133.
16. Singh, M., & Rajan, M.A. (2022). Secure MQTT for Internet of Things Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(1), 627-636.
17. Tang, K., Wang, Y., Liu, H., Sheng, Y., Wang, X., & Wei, Z. (2020). Design and implementation of push notification system based on MQTT protocol. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(2), 1506-1510.
18. Torres, J., & Redondo, M.A. (2023). An Improved MQTT Protocol for Resource-Constrained IoT Devices. *Sensors*, 23(2), 897. <https://doi.org/10.3390/s23020897>
19. Wang, Y., & Chen, I.R. (2020). Reliability of MQTT for Internet of Things Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(10), 9817-9826.
20. Yokotani, T., & Sasaki, Y. (2020). Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT. *International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC)*, 1-6.
21. Zhang, L., & Liu, Q. (2022). Load Balancing Strategies for Distributed MQTT Brokers. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 10(2), 891-902. <https://doi.org/10.1109/TCC.2021.3074583>
22. Al-Masri, E., & Kalyanam, K.R. (2021). Sensor-Based IoT Data Processing Using MQTT: A Performance Analysis. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(3), 1838-1851.
23. Kumar, S., & Chauhan, S. (2021). Performance Optimization of IoT Networks Using Enhanced MQTT Protocol. *Wireless Personal Communications*, 118(2), 1401-1419.
24. Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2020). A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), 1125-1142.
25. Mektoubi, A., Hassani, H.L., Belhadaoui, H., Rifi, M., & Science, C. (2019). New Approach for Securing Communication over MQTT Protocol A Comparison between RSA and Elliptic Curve. *Third International Conference on IoT in Urban Space (Urb-IoT)*, 151-156.
26. Dinculeană, D., & Cheng, X. (2019). Vulnerabilities and Limitations of MQTT Protocol Used between IoT Devices. *Applied Sciences*, 9(5), 848. <https://doi.org/10.3390/app9050848>

М. М. КОТЕНКО

аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення  
Державний університет «Житомирська політехніка»  
ORCID: 0009-0002-7839-6538

Т. А. ВАКАЛЮК

доктор педагогічних наук, професор,  
завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення  
Державний університет «Житомирська політехніка»  
ORCID: 0000-0001-6825-4697

## ВПРОВАДЖЕННЯ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ: ТЕХНІЧНІ ВИКЛИКИ ТА РІШЕННЯ

Дана робота досліджує технічні виклики, з якими стикаються організації та розробники під час впровадження мікросервісної архітектури та пропонує рішення для їх подолання. Основна увага приділяється таким аспектам, як декомпозиція сервісів, міжсервісна комунікація, забезпечення безпеки та керування даними в розподілених системах. Зокрема, *Domain-Driven Design* визначається як ключова стратегія для сегментації монолітних додатків на бізнес-орієнтовані мікросервіси, тим самим підвищуючи придатність системи до обслуговування та потреб масштабованості. Дискусія про міжсервісну комунікацію розкриває компроміси між синхронними та асинхронними методами, зауважуючи, як синхронна комунікація, забезпечуючи негайний фідбек, може призвести до затримок та потенційних збоїв, тоді як асинхронні стратегії покращують стійкість, масштабованість та слабозв'язність, але привносять додаткову складність. Дослідження також розглядає механізми безпеки, наголошуючи на ролі *Single Sign-On* та *API Gateway* у спрощенні контролю доступу та підвищенні безпеки в мікросервісній архітектурі. Крім того, ця робота надає рекомендації щодо вирішення викликів розподіленого керування даними, рекомендуючи реплікацію, зумовлену подіями, та паттерн *Saga* для забезпечення консистентності даних між сервісами, разом з використанням *GraphQL*, *API Gateway* та паттерну *CQRS* для ефективної агрегації та отримання даних. Розглядаючи ці аспекти, було підкреслено критичність стратегічного та інформованого підходу до впровадження мікросервісів, наголошуючи на необхідності розуміння наслідків кожної архітектурної опції для ефективної побудови стійких, масштабованих та адаптивних програмних систем.

**Ключові слова:** монолітна архітектура, мікросервісна архітектура, декомпозиція сервісів, міжсервісне спілкування, забезпечення безпеки, керування розподіленими даними.

М. М. КОТЕНКО

Postgraduate Student at the Software Engineering Department  
Zhytomyr Polytechnic State University  
ORCID: 0009-0002-7839-6538

Т. А. ВАКАЛЮК

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,  
Head of the Software Engineering Department  
Zhytomyr Polytechnic State University  
ORCID: 0000-0001-6825-4697

## IMPLEMENTING MICROSERVICES ARCHITECTURE: TECHNICAL CHALLENGES AND SOLUTIONS

This paper examines the technical challenges faced by organizations and developers during the implementation of microservices architecture and offers solutions to overcome them. It focuses on key aspects such as service decomposition, inter-service communication, security assurance, and data management in distributed systems. *Domain-Driven Design* is identified as a critical strategy for segmenting monolithic applications into business-oriented microservices, thereby enhancing the system's maintainability and scalability. The discussion on inter-service communication reveals trade-offs between synchronous and asynchronous methods, noting that while synchronous communication provides immediate feedback, it can lead to delays and potential failures. In contrast, asynchronous strategies improve resilience, scalability, and loose coupling but introduce additional complexity. The research also explores security mechanisms, emphasizing the role of *Single Sign-On* and *API Gateway* in simplifying access control and enhancing security in microservice architectures. Furthermore, the paper provides recommendations for addressing the challenges of distributed data management, advocating for event-driven replication and the *Saga* pattern to ensure data consistency across services, alongside

*the use of GraphQL, API Gateway, and the CQRS pattern for efficient data aggregation and retrieval. By examining these aspects, the paper underscores the critical importance of a strategic and informed approach to implementing microservices, emphasizing the need to understand the implications of each architectural option for building resilient, scalable, and adaptive software systems.*

**Key words:** *monolithic architecture, microservice architecture, service decomposition, inter-service communication, security assurance, distributed data management.*

### Постановка проблеми

У процесі впровадження мікросервісної архітектури перед розробниками постають складні технічні виклики, які потребують як високого рівня технічної підготовки, так і стратегічного бачення.

Основними викликами в цьому процесі є розробка ефективних методів декомпозиції монолітних додатків на сервіси, створення механізмів для налагодження якісного міжсервісного спілкування, реалізація комплексних заходів забезпечення безпеки та оптимізація управління даними в умовах їх розподіленості. Ці компоненти колективно формують фундамент для створення високоефективних та адаптивних систем, що здатні задовольняти потреби сучасного бізнесу.

Вирішення зазначених викликів стає ключовою проблемою, що вимагає не лише глибокого технічного аналізу, але й стратегічного планування. Важливим є розуміння того, як кожен аспект впливає на архітектуру та якість системи, що розробляється. Таке всебічне дослідження є необхідним для забезпечення успішного впровадження та подальшої експлуатації системи в новому архітектурному просторі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Важливим аспектом впровадження мікросервісної архітектури є декомпозиція сервісів, де робота Хюлії Вурал (Hulya Vural) і Мурата Коюнджу (Murat Koyuncu) [1] вказує на роль Domain-Driven Design як ефективного підходу до структурування мікросервісів. Аналогічно, дослідження Флоріана Радемахера (Florian Rademacher), Сабіни Захве (Sabine Sachweh), і Альберта Цюндорфа (Albert Zündorf) [3] підкреслює значення чіткої інтеграції програмного забезпечення з бізнес-процесами.

Що стосується міжсервісної взаємодії, роботи Юстаса Казанавічюса (Justas Kazanavičius) і Далюса Мажейки (Dalius Mažeika) [6], а також Бен'яміна Шафабахша (Benyamin Shafabakhsh), Роберта Лагерстрьома (Lagerström Robert), і Саймона Гакса (Simon Hacks) [7] розглядають вплив синхронних і асинхронних методів комунікації на продуктивність та стійкість системи. Вони вказують на необхідність вибору оптимального способу зв'язку, який відповідає конкретному контексту використання.

Забезпечення безпеки в мікросервісних архітектурах стає особливо важливим, як це демонструють дослідження Муріло Гоеса де Алмейди (Murilo Góes de Almeida) і Едни Діас Канедо (Edna Dias Canedo) [11], а також Нуно Матеуса-Коельо (Nuno Mateus-Coelho) та його колег [12], де розглядаються стратегії аутентифікації та авторизації. Рамасвами Чандрамоулі (Ramaswamy Chandramouli) [13] наголошує на важливості ретельного планування механізмів безпеки, особливо через використання API Gateway як ефективного інструменту для захисту мікросервісів.

Керування розподіленими даними становить значний виклик, як це підкреслено в роботі Кіндсона Муноні (Kindson Munonye) і Петера Мартінека (Peter Martinek) [14]. Вони розглядають методи забезпечення консистентності даних і управління транзакціями в децентралізованих середовищах. В додаток, матеріали від Microsoft [15] демонструють підходи до оптимізації доступу до даних та їх агрегації, що є критично важливим для забезпечення високої продуктивності мікросервісних систем.

### Формулювання мети дослідження

Метою цього дослідження є аналіз технічних викликів та розробка рекомендацій для успішного впровадження мікросервісної архітектури, зокрема у таких аспектах, як декомпозиція сервісів, міжсервісна комунікація, забезпечення безпеки та керування розподіленими даними.

### Викладення основного матеріалу дослідження

#### 1. Декомпозиція сервісів

Одним із перших викликів, з яким зіштовхуються розробники при впровадженні архітектури на основі мікросервісів, є процес декомпозиції сервісів. Даний процес передбачає декомпозицію єдиного, централізованого репозитору коду на множину автономних сервісів, де кожен сервіс несе відповідальність за певну функціональність у рамках комплексної системи. Така трансформація вимагає методичного підходу, щоб забезпечити автономність кожного мікросервісу, при цьому забезпечуючи їхній взаємний вклад у загальні цілі системи. Реалізація цієї складної рівноваги вимагає детального аналізу домену застосунку, ідентифікації ізольованих функціональних сегментів та розробки чітких інтерфейсів комунікації між сервісами. У даному процесі Domain-Driven Design (DDD) пропонує ефективну методологію для декомпозиції системи на сервіси, дозволяючи командам розробників адаптувати архітектуру програмного забезпечення до бізнес-вимог та сприяючи плавному переходу від монолітної до мікросервісної архітектури.

DDD виступає як фундаментальний методологічний каркас для трансформації монолітних архітектур в мікросервісні системи, акцентуючи на тісній інтеграції програмного забезпечення зі складними бізнес-процесами. Цей підхід підкреслює значення колаборації між доменними експертами та розробниками для створення абстрактних моделей, які відтворюють структуру та динаміку бізнес-доменів [1, 2]. Елементи архітектури DDD, такі як агрегати, сутності, об'єкти значення, сервіси та репозиторії, відіграють центральну роль у внесенні доменно-орієнтованих знань у структуру програмного забезпечення. Використання цих елементів дозволяє відтворити і врахувати складнощі та взаємозв'язки в межах бізнес-доменів, сприяючи створенню гнучких, легко адаптованих до змін бізнесу систем [1].

Концепція «обмеженого контексту» в DDD відіграє центральну роль у ефективному переході монолітних систем до мікросервісно-орієнтованих архітектур, пропонуючи стратегію для розділення бізнес-домену на дискретні частини. Кожен «обмежений контекст» ізолює функціональні зони з власною сферою відповідальності та всюдисущою мовою, спрощуючи спільне розуміння бізнес-логіки серед команд. Ця концепція не тільки сприяє точному визначенню мікросервісів, але й забезпечує їх незалежну роботу, що підвищує модульність та масштабованість системи [2, 3].

Слід зазначити, що стратегія декомпозиції в архітектурі програмного забезпечення ефективно покращується завдяки застосуванню принципів, як-от Single Responsibility Principle та Common Closure Principle, що сприяють згуртованості та автономності мікросервісів. Відповідно до цих принципів, програмне забезпечення організовується довкола індивідуальних бізнес-функцій, гарантуючи, що кожен мікросервіс відповідає за певний набір задач. Такий підхід не тільки спрощує розподіл відповідальностей, але й удосконалює процедури розгортання та обслуговування, забезпечуючи архітектурі гнучкість та адаптивність до змін. У результаті, кожен сервіс виконує унікальну функцію, водночас інтегруючись з іншими сервісами для виконання загальних бізнес-цілей [4].

Для методичної декомпозиції монолітних додатків на мікросервіси з використанням підходу DDD, рекомендується дотримуватися наступної структурованої послідовності кроків:

1. Почніть з аналізу основного бізнес-домену та його субдоменів. На цьому етапі важливо залучити доменних експертів для ідентифікації ключових бізнес-викликів та вимог, що є критичними для розробки архітектурних рішень, зорієнтованих на потреби бізнесу.

2. Далі визначте обмежені контексти. Кожен визначений обмежений контекст включає у себе детально розроблену модель предметної області, що відображає специфіку окремого субдомену в ширшому контексті основного домену. Для кожного такого обмеженого контексту необхідно чітко визначити межі, в рамках яких розробляється всюдисуща мова. Це сприяє ясності у комунікації між командами розробників і спрощує розуміння складнощів домену, що є фундаментальним для наступної ізоляції та модульної розробки сервісів [2].

3. У рамках кожного обмеженого контексту проведіть моделювання агрегатів, сутностей та сервісів, які інкапсулюють критично важливу бізнес-логіку та дані. Це дозволяє інкапсулювати критично важливу бізнес-логіку та дані, визначити обсяг та специфікації функціональностей майбутніх мікросервісів, гарантуючи їх відповідність бізнес-вимогам [1].

4. Використовуючи розроблену модель, окресліть потенційні мікросервіси. Кожен мікросервіс має відповідати за певну бізнес-функцію або можливість. Цей процес вимагає узгодження розробки програмного забезпечення з бізнес-стратегіями [3].

5. Завершіть процес картографування обмежених контекстів, щоб проаналізувати взаємозв'язки та взаємодії між ними. Цей крок допомагає забезпечити ефективну інтеграцію між мікросервісами, зберігаючи модульність та гнучкість архітектури, а також сприяє функціонуванню системи як єдиного цілого.

## **2. Міжсервісне спілкування**

Іншою технічною проблемою, з якою зіштовхуються команди при впровадженні мікросервісної архітектури, стає потреба в адаптації до значних змін у взаємодії між компонентами системи. У монолітних системах компоненти взаємодіють через внутрішньопроцесні виклики – виклики методів або функцій в межах одного процесу. Такий спосіб комунікації має переваги завдяки ефективності прямих викликів методів та оптимізацій, здійснюваних компіляторами та середовищами виконання, що дозволяє забезпечити швидку, прямолінійну, тісно зв'язану взаємодію [5, 6]. Однак, при зростанні додатка, ця модель стикається з викликами у масштабуванні та гнучкості через залежність від спільного простору пам'яті та необхідності тісної інтеграції компонентів.

У свою чергу, мікросервісна архітектура характеризується як розподілена система слабо зв'язаних сервісів, що передбачає наявність механізмів для міжсервісної взаємодії, які будуть забезпечувати комунікацію між окремими сервісами [6]. Адаптація до такої моделі має на меті заміну внутрішньопроцесних викликів на міжпроцесне спілкування, внаслідок чого виникають додаткові накладні витрати, пов'язані з необхідністю мережевої взаємодії та відсутністю ефективності, притаманної внутрішньопроцесному виконанню [7, 8]. Методи міжпроцесного зв'язку можуть бути поділені на синхронні та асинхронні типи, кожен з яких впливає на архітектурні рішення, продуктивність та здатність системи до масштабування.

Синхронна комунікація відзначається встановленням безпосереднього обміну даними у форматі запит-відповідь, при якому ініціюючий (клієнтський) сервіс залишається в очікуванні поки оброблюючий (серверний) сервіс здійснить обробку запиту та надішле результат. Для реалізації цього патерну часто використовуються такі протоколи, як HTTP/HTTPS або gRPC, що дозволяє забезпечити негайний фідбек, критично важливий для деяких типів операцій. Проте, водночас це може призводити до підвищення затримок та підвищення ризику відмов у роботі сервісів. Попри свою простоту, синхронний механізм впроваджує строгу залежність між учасниками комунікації, що вимагає їх одночасної доступності в момент обміну даними [7, 9].

Асинхронна комунікація, в свою чергу, забезпечує незалежне функціонування сервісів та обмін інформацією між ними через застосування брокерів повідомлень або систем управління потоками подій. Цей підхід забезпечує можливість обміну повідомленнями між сервісами без потреби в синхронному очікуванні відповідей, вдаючись до протоколів, таких як AMQP, та використовуючи технології подібні до RabbitMQ чи Apache Kafka. Основні переваги асинхронної комунікації охоплюють зниження взаємних залежностей між сервісами, покращення масштабованості та збільшення надійності системи, що, у свою чергу, дозволяє сервісам більш ефективно адаптуватися до періодичних перебоїв у роботі та коливань навантаження [8].

Перехід до ефективної міжсервісної комунікації в мікросервісних архітектурах передбачає вирішення таких викликів, як управління розподіленими транзакціями, логування та моніторинг, забезпечення послідовності повідомлень, обробка часткових збоїв, а також покращення продуктивності та часу відгуку. Техніки, такі як «retry/circuit breaker», «load balancing», «distributed tracing» та «service mesh», є ключовими в подоланні цих складнощів. Ці підходи не лише спрощують процес комунікації, але й створюють стійку інфраструктуру, спроможну забезпечити високий рівень безпеки, надійності та моніторингу [5, 9].

Вибір оптимального стилю міжсервісної взаємодії істотно впливає на проєктування архітектури та передбачає знаходження балансу між функціональними та нефункціональними вимогами, такими як продуктивність, масштабованість, стійкість до збоїв та зв'язність сервісів. Вибір між синхронною та асинхронною комунікацією зазвичай базується на тому, що є пріоритетом: чи це потреба в негайному зворотному зв'язку та простоті, що є характеристиками синхронного підходу, або необхідність мати гнучку, масштабовану архітектуру, яка підвищує стійкість системи, її доступність та слабозв'язність, але при цьому може ускладнити інфраструктуру та управління повідомленнями, що є особливостями асинхронного підходу [8, 9].

### 3. Забезпечення безпеки

Далі, у процесі впровадження мікросервісної архітектури відбувається значне переосмислення стратегій забезпечення інформаційної безпеки, особливо у сферах аутентифікації та авторизації. В контексті монолітних систем, які представляють собою інтегровані, єдині програмні рішення, загальноприйнятою практикою є використання вбудованих механізмів управління користувачами, що надаються програмними фреймворками на кшталт ASP.NET, Django чи Spring. Ці механізми безпосередньо виконують функції аутентифікації та авторизації в рамках одного монолітного програмного продукту [5, 10]. В той же час, архітектури, засновані на мікросервісах, які вирізняються розподіленою структурою з програмними компонентами, розділеними на численні незалежні сервіси, вимагають більш витонченого і глибоко продуманого підходу до реалізації процедур безпеки. Така необхідність обумовлена збільшенням складності управління ідентифікацією та доступом у межах розподіленої системи та її компонентів [5].

Фундаментальним елементом у подоланні викликів, пов'язаних з безпекою в мікросервісних архітектурах, є імплементація механізму Single Sign-On (SSO). Цей механізм дозволяє користувачам пройти процедуру аутентифікації лише один раз, після чого надається доступ до широкого спектра сервісів без необхідності повторної перевірки ідентифікації для кожного з них. Такий підхід сприяє неперервності користувацького досвіду у межах децентралізованих архітектур. Реалізація SSO досягається за допомогою втілення ключових стандартів безпеки, включаючи Security Assertion Markup Language (SAML), OAuth 2.0 та OpenID Connect (OIDC) [10, 5].

Паралельно з SSO, API Gateway слугує ключовим компонентом в архітектурі безпеки, орієнтованій на мікросервіси. Функціонуючи як централізована точка доступу для всіх клієнтських запитів, API Gateway агрегує функції аутентифікації та авторизації, тим самим звільняючи окремі мікросервіси від необхідності виконувати ці завдання. Така консолідація не лише полегшує управління безпекою у мікросервісних архітектурах, але й гарантує уніфіковане впровадження політик безпеки для всіх сервісів. API Gateway може включати різноманітні заходи безпеки, наприклад, шифрування за протоколом SSL/TLS, контроль частоти запитів, фільтрацію за IP-адресами тощо, забезпечуючи додатковий рівень захисту мікросервісів від загальновідомих мережевих вразливостей та кібератак [5, 12].

Забезпечення безпечного обміну інформацією між компонентами в мікросервісній архітектурі є критично важливим для загальної інформаційної безпеки системи. Методи, такі як використання протоколу HTTPS, застосування клієнтських сертифікатів, впровадження API-ключів та Hash-based Message Authentication Code (HMAC) через HTTP, сприяють зміцненню безпеки комунікацій між різними сервісами. Протокол HTTPS допомагає у шифруванні даних під час передачі, запобігаючи їх перехопленню [11]. Клієнтські сертифікати використовуються

для мутуальної аутентифікації між сервісами, забезпечуючи додаткову перевірку ідентичності сторін [11, 12]. Застосування HMAC у контексті HTTP дозволяє перевіряти цілісність та автентичність запитів за допомогою криптографічного підпису, а також сприяє спрощенню кешування трафіку і потенційно знижує навантаження порівняно з обробкою HTTPS-трафіку [5, 10]. В свою чергу, API-ключі слугують механізмом для ідентифікації та авторизації запитів між сервісами, спрощуючи управління правами доступу у складних системах та забезпечуючи доступ до API третіх сторін [12, 13].

Застосування цих технологічних рішень підкреслює необхідність комплексного підходу до забезпечення безпеки в мікросервісних архітектурах, акцентуючи на ролі кожного інструменту в захисті даних та безпечних взаємодіях в децентралізованому середовищі.

#### 4. Керування розподіленими даними

Впровадження мікросервісної архітектури призводить не лише до змін у технологічному стеку, стратегіях між-сервісної взаємодії та забезпеченні безпеки, але й значних змін у підходах до управління даними. Під час цього процесу виникає необхідність у нових методах обробки та збереження даних, що відповідали б децентралізованій та розподіленій природі мікросервісів. На відміну від монолітних систем, де домінує єдина база даних, що спрощує управління транзакціями, обробку запитів і забезпечення консистентності та цілісності даних, мікросервісна архітектура пропонує новий підхід, згідно з яким кожен сервіс оперує власною базою даних. Цей підхід, відомий як "Database per service", сприяє підвищенню масштабованості сервісів та гнучкості їх розробки, оскільки дозволяє кожній службі обирати найбільш підходящу систему баз даних – будь то реляційна, NoSQL або інша. Однак, він також ставить перед розробниками складні завдання, такі як забезпечення консистентності даних між різними сервісами, управління розподіленими транзакціями та ефективне виконання запитів до даних по всій системі [14].

Досягнення консистентності даних у розподіленому середовищі ставить перед собою унікальні виклики через децентралізований характер зберігання та управління даними. Одним з ефективних способів вирішення цієї проблеми є застосування методу реплікації на основі подій (Event-Driven replication). Такий метод використовує події як засіб для одночасного оновлення даних у різних частинах системи, що допомагає зберегти їх актуальність і консистентність у всьому розподіленому середовищі. Це дозволяє різним сервісам залишатися слабо зв'язаними, оскільки їм не потрібно безпосередньо взаємодіяти з базами даних інших сервісів, а лише реагувати на зміни, що транслуються через події. Такий підхід ілюструє модель BASE (Basically Available, Soft-state, Eventually-consistent), яка акцентує увагу на доступності та кінцевій консистентності, надаючи перевагу їй перед негайною консистентністю, яка є більш характерною для централізованих систем [15].

Управління транзакціями, що охоплюють кілька мікросервісів, ускладнюється через самостійне управління власним сховищем даних кожним сервісом. Патерн "Saga" вирішує цю проблематику шляхом розбиття глобальної транзакції на серію локальних транзакцій для кожного залученого сервісу. Застосування цього підходу разом з компенсуючими транзакціями для обробки помилок забезпечує захист цілісності даних у системі. Додатково, стратегії, такі як "Scheduler Agent Supervisor" та "Compensating Transaction", надають додаткові методи для управління розподіленими транзакціями. Ці стратегії забезпечують точне виконання кожної фази транзакції та включають механізми для зворотного виконання операцій за необхідності, тим самим зберігаючи консистентність даних навіть у випадку можливих збоїв.

Ефективне виконання запитів до даних у децентралізованій архітектурі мікросервісів вимагає використання нетрадиційних рішень. В даному контексті, API Gateway виступає не лише як канал для обробки клієнтських запитів, але і як ефективна система агрегації даних, що збирає інформацію з великої кількості мікросервісів [14]. Покращуючи цю функціональність, інтеграція моделі CQRS (Command and Query Responsibility Segregation) з концепцією матеріалізованих представлень пропонує надійне рішення для агрегації даних між множиною мікросервісів. Цей підхід передбачає попереднє створення матеріалізованих представлень, формуючи таблиці, призначені виключно для читання, які об'єднують дані з різноманітних сервісів у формат, що ідеально підходить під потреби клієнтського застосунку. Така стратегія не тільки покращує продуктивність запитів шляхом сегрегації операцій читання та запису, але й дозволяє незалежне масштабування таблиць для читання, тим самим оптимізуючи продуктивність та масштабованість системи [14, 15]. Додатково, GraphQL Federation виступає як ефективна стратегія для агрегування даних та виконання запитів до них, здійснюючи це через створення єдиної схеми GraphQL. Ця схема злиття даних з різних мікросервісів, презентує інформацію клієнтам так, ніби вона має походження з однієї інтегрованої бази даних. Цей метод значно полегшує взаємодію між клієнтом і сервером, знижуючи складність та логістичні витрати, що виникають при запитуванні даних з різних розподілених джерел [15].

#### Висновки

У ході дослідження було проаналізовано основні технічні виклики, з якими стикаються організації та розробники під час впровадження мікросервісної архітектури, та запропоновано рішення для їх подолання. Одним із ключових аспектів є декомпозиція сервісів за допомогою підходу Domain-Driven Design, що дозволяє сегментувати монолітні додатки на незалежні бізнес-орієнтовані мікросервіси, підвищуючи їхню масштабованість і підтримуваниість. Аналіз міжсервісної комунікації вказує на компроміси між синхронними та асинхронними методами, які

впливають на стійкість та продуктивність системи. Дослідження також акцентує увагу на важливості безпеки в мікросервісній архітектурі. Впровадження механізмів Single Sign-On та використання API Gateway сприяють підвищенню безпеки та полегшують управління доступом. Окрім цього, запропоновано ефективні стратегії керування розподіленими даними, включаючи реплікацію на основі подій та паттерн Saga, які допомагають забезпечити консистентність даних у розподілених системах.

З огляду на переваги, які пропонують мікросервіси, та виклики, що супроводжують їхнє впровадження, майбутні дослідження можуть зосередитися на розробці нових методів і інструментів для оптимізації проектування, аналізу та допомозі у подоланні викликів, притаманних мікросервісним архітектурам. Це може включати розробку нових підходів до моделювання та аналізу взаємодії між мікросервісними компонентами та їх адаптації до архітектурних особливостей таких систем, що сприятиме глибшому розумінню та оптимізації роботи розподілених сервісів.

У підсумку, це дослідження підкреслює, що успішне впровадження мікросервісних систем вимагає глибокого розуміння та комплексного підходу до вирішення викликів, враховуючи вплив кожної архітектурної опції на стійкість, масштабованість і продуктивність системи.

### Список використаної літератури

1. Vural H., Koyuncu M. Does Domain-Driven Design Lead to Finding the Optimal Modularity of a Microservice?. IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 32721–32733. DOI: 10.1109/access.2021.3060895
2. Mihai I. S. A Systematic Evaluation of Microservice Architectures Resulting from Domain-Driven and Dataflow-Driven Decomposition. Bachelor's thesis. University of Twente, 2023. URL: <https://essay.utwente.nl/95827/>
3. Rademacher F., Sachweh S., Zündorf A. Towards a UML Profile for Domain-Driven Design of Microservice Architectures. Software Engineering and Formal Methods. Cham, 2018. P. 230–245. DOI: 10.1007/978-3-319-74781-1\_17
4. Rudrabhatla C. K. Impacts of Decomposition Techniques on Performance and Latency of Microservices. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2020. Vol. 11, no. 8. DOI: 10.14569/ijacsa.2020.0110803
5. Newman S. Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems. O'Reilly Media, Incorporated, 2021. 616 p
6. Kazanavičius J., Mažeika D. Evaluation of Microservice Communication While Decomposing Monoliths. Computing and Informatics. 2023. Vol. 42, no. 1. P. 1–36. DOI: 10.31577/cai\_2023\_1\_1
7. Shafabakhsh B., Lagerström R., Hacks S. Evaluating the Impact of Inter Process Communication in Microservice Architectures. QuASoQ@APSEC. 2020. P. 55–63. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2767/07-QuASoQ-2020.pdf>
8. I. Karabey Aksakalli et al Deployment and communication patterns in microservice architectures: A systematic literature review. Journal of Systems and Software. 2021. Vol. 180. P. 111014. DOI: 10.1016/j.jss.2021.111014
9. Interservice communication. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/microservices/design/interservice-communication>
10. Tereshchenko O., Trintina N. Development Principles of Secure Microservices. CPITS II. 2021. P. 11–20. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3188/paper2.pdf>
11. de Almeida M. G., Canedo E. D. Authentication and Authorization in Microservices Architecture: A Systematic Literature Review. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, no. 6. P. 3023. DOI: 10.3390/app12063023
12. Mateus-Coelho N., Cruz-Cunha M., Ferreira L. G. Security in Microservices Architectures. Procedia Computer Science. 2021. Vol. 181. P. 1225–1236. DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.320
13. Chandramouli R. Security strategies for microservices-based application systems. Gaithersburg, MD : National Institute of Standards and Technology, 2019. DOI: 10.6028/nist.sp.800-204
14. K. Munonye and P. Martinek. Evaluation of Data Storage Patterns in Microservices Architecture. 2020 IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE), Budapest, Hungary, 2020. DOI: 10.1109/sose50414.2020.9130516
15. Challenges and solutions for distributed data management. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/distributed-data-management>

### References

1. Vural, H., & Koyuncu, M. (2021). Does Domain-Driven Design Lead to Finding the Optimal Modularity of a Microservice? IEEE Access, 9, 32721–32733. 10.1109/access.2021.3060895
2. Mihai, I. S. (2023). A Systematic Evaluation of Microservice Architectures Resulting from Domain-Driven and Dataflow-Driven Decomposition (Bachelor's thesis, University of Twente). <https://essay.utwente.nl/95827/>
3. Rademacher, F., Sachweh, S., & Zündorf, A. (2018). Towards a UML Profile for Domain-Driven Design of Microservice Architectures. In Software Engineering and Formal Methods (pp. 230–245). Springer International Publishing. 10.1007/978-3-319-74781-1\_17
4. Rudrabhatla, C. K. (2020). Impacts of Decomposition Techniques on Performance and Latency of Microservices. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 11(8). 10.14569/ijacsa.2020.0110803



5. Newman, S. (2021). Building microservices: Designing fine-grained systems (2nd ed.). O'Reilly Media, Incorporated.
6. Kazanavičius, J., & Mažeika, D. (2023). Evaluation of Microservice Communication While Decomposing Monoliths. *Computing and Informatics*, 42(1), 1–36. 10.31577/cai\_2023\_1\_1
7. Shafabakhsh, B., Lagerström, R., & Hacks, S. (2020, December). Evaluating the Impact of Inter Process Communication in Microservice Architectures. In *QuASoQ@APSEC* (pp. 55-63). <https://ceur-ws.org/Vol-2767/07-QuASoQ-2020.pdf>
8. Karabey Aksakalli, I., Çelik, T., Can, A. B., & Tekinerdoğan, B. (2021). Deployment and communication patterns in microservice architectures: A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 180, 111014. 10.1016/j.jss.2021.111014
9. Interservice communication. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/microservices/design/interservice-communication>
10. Tereshchenko, O., & Trintina, N. (2021). Development principles of secure microservices. In *CPITS II* (Vol. 2, pp. 11-20). <https://ceur-ws.org/Vol-3188/paper2.pdf>
11. de Almeida, M. G., & Canedo, E. D. (2022). Authentication and Authorization in Microservices Architecture: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 12(6), 3023. 10.3390/app12063023
12. Mateus-Coelho, N., Cruz-Cunha, M., & Ferreira, L. G. (2021). Security in Microservices Architectures. *Procedia Computer Science*, 181, 1225–1236. 10.1016/j.procs.2021.01.320
13. Chandramouli, R. (2019). *Security strategies for microservices-based application systems*. National Institute of Standards and Technology 10.6028/nist.sp.800-204
14. K. Munonye and P. Martinek (2020). Evaluation of Data Storage Patterns in Microservices Architecture. In *2020 IEEE 15th International Conference of System of Systems Engineering (SoSE)*. IEEE. 10.1109/sose50414.2020.9130516
15. Challenges and solutions for distributed data management. <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/architect-microservice-container-applications/distributed-data-management>

В. О. КРОМКАЧ

аспірант кафедри комп'ютеризованих систем автоматичної  
Національний університет «Львівська політехніка»  
ORCID: 0009-0001-5608-5715

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ СТАТИЧНИХ ЗОРОВИХ СЦЕН: НОВИЙ ПІДХІД

Ця наукова стаття пропонує новий підхід до ідентифікації об'єктів на статичних зорових сценах, що поєднує передові методи машинного навчання та обробки зображень. Завдяки двоетапній структурі запропонований метод ідентифікації забезпечує високу точність і швидкість виявлення об'єктів у різних умовах освітлення, спотворень та шумів. Переваги нового підходу включають високу продуктивність, ефективне використання ресурсів та масштабованість для різних галузей застосування.

**Метою дослідження** є підвищення точності і швидкості ідентифікації об'єктів на статичних зорових сценах, стійкості до різних видів шуму та спотворень. Дослідження передбачає оптимізацію алгоритмів обробки зображень і машинного навчання, які дозволяють ефективно виділяти та класифікувати об'єкти в умовах обмежених ресурсів та варіативності зорових сцен.

**Методологія** дослідження полягає у порівняльному аналізі існуючих методів ідентифікації об'єктів, включаючи як двоетапні, так і одноетапні підходи. Виявлено їхні переваги та обмеження. Проведено емпіричне дослідження та оцінку ефективності і точності різних підходів до виявлення та ідентифікації об'єктів.

**Наукова новизна** отриманих у роботі результатів полягає у поєднанні одноетапного та двоетапного виявлення об'єктів за допомогою RefineDet, що дозволяє покращити точність і швидкість виявлення об'єктів, порівняно з традиційними одноетапними методами.

**Висновки.** RefineDet є потужним та ефективним методом для виявлення об'єктів на зображеннях. Його унікальність полягає в комбінації переваг одноетапних та двоетапних підходів, що забезпечує високу точність та швидкість роботи. Це робить його придатним для використання в різних реальних додатках, де потрібна швидка і точна ідентифікація об'єктів.

**Ключові слова:** ідентифікація об'єктів, комп'ютерний зір, згорткові нейронні мережі, розпізнавання образів.

V. O. KROMKACH

Postgraduate Student at the Computerized Automation Systems Department  
Lviv Polytechnic National University  
ORCID: 0009-0001-5608-5715

## THE ROLE OF COMPUTER VISION IN THE MODERN WORLD: ACHIEVEMENTS, CHALLENGES AND PROSPECTS

This research paper proposes a new approach to object identification in static visual scenes that combines advanced machine learning and image processing techniques. Due to the two-stage structure, the proposed identification method provides high accuracy and speed of object detection in various lighting, distortion and noise conditions. The advantages of the new approach include high performance, efficient use of resources and scalability for different application areas.

**The purpose** of the study is to increase the accuracy and speed of object identification in static visual scenes, resistance to various types of noise and distortions. The research involves the optimization of image processing and machine learning algorithms that allow for the efficient selection and classification of objects in conditions of limited resources and variability of visual scenes.

**The methodology** consists in a comparative analysis of existing object identification methods, including both two-stage and one-stage approaches. Their advantages and limitations are revealed. An empirical study and evaluation of the effectiveness and accuracy of various approaches to the detection and identification of objects was carried out.

**The scientific novelty** of the results obtained in the work is the combination of one-stage and two-stage detection of objects using RefineDet, which allows to improve the accuracy and speed of object detection, compared to traditional one-stage methods.

**Conclusions.** RefineDet is a powerful and efficient method for detecting objects in images. Its uniqueness lies in the combination of the advantages of one-stage and two-stage approaches, which ensures high accuracy and speed of work. This makes it suitable for use in various real-world applications where fast and accurate object identification is required.

**Key words:** object identification, computer vision, convolutional neural networks, pattern recognition.

### Постановка проблеми

Швидкий розвиток науки й техніки в області обробки зображень розширив потенціал виявлення об'єктів за межі традиційних програм, таких як розпізнавання обличчя. Останні дослідження зосереджені на виявленні

історично значущих об'єктів, які мають велике значення для громад. Обробка зображень стала ключовою технологією для вдосконалення програм машинного навчання та штучного інтелекту (ШІ).

Метою виявлення об'єктів є ідентифікація та визначення місцезнаходження одного чи кількох значущих об'єктів у нерухомих даних або відео зображеннях. Це широкий термін, який охоплює різноманітні методи, які включають обробку зображень, класифікацію шаблонів [1], штучний інтелект і комп'ютерний зір. Він має широкий спектр можливих застосувань [2], включаючи запобігання дорожньо-транспортним пригодам, сповіщення про небезпечні товари у виробництві, моніторинг військових зон обмеженого доступу та складну взаємодію людини з комп'ютером. Через складність і різноманітність налаштувань програми виявлення кількох цілей у реальному світі важко знайти баланс між точністю та вартістю обробки [3].

Ідентифікація об'єктів, або розпізнавання, передбачає автоматичне виділення та класифікацію об'єктів. Автоматизація цього процесу вимагає ефективних методів машинного навчання, серед яких згорткові нейронні мережі (CNN) використовуються, в основному, через їхню ефективність у задачах розпізнавання об'єктів на основі зображень.

Процес ідентифікації складається з кількох етапів: попередня обробка, основна обробка та постобробка. Розробка алгоритму, який чудово ідентифікує об'єкти на зображеннях, вимагає оптимізації методу для кожного з цих етапів. Ідентифікація об'єктів є динамічною сферою, яка постійно викликає інтерес дослідників. Ефективна ідентифікація об'єктів на зображеннях передбачає зіставлення характеристик об'єктів, виявлених у візуальних даних. Алгоритм CNN користується особливою перевагою для розпізнавання об'єктів завдяки його надійній здатності ідентифікувати та класифікувати цифрові об'єкти. Однак залишаються проблеми, такі як виявлення малих об'єктів серед більших і робота зі складним фоном. Ці виклики стимулюють постійні інновації та вдосконалення для досягнення високоточних результатів.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У літературі про ідентифікацію об'єктів за допомогою згорткових нейронних мереж (CNN) часто розглядаються такі теми, як глибоке навчання, вилучення ознак і класифікація. Відтоді, як було представлено регіональну згортку (R-CNN) для точного виявлення та сегментації об'єктів, багато дослідників прийняли та вдосконалили R-CNN для підвищення точності ідентифікації об'єктів. Прогрес у дослідженнях CNN зосередився на розробці швидших алгоритмів із підвищеною точністю, що призвело до створення таких алгоритмів, як Fast R-CNN, Faster R-CNN і Mask R-CNN [4, 5].

CNN використовують методи згортання, щоб зібрати достатньо навчальних даних для ефективної класифікації об'єктів. Однак, великі навчальні набори даних можуть подовжити процес навчання та збільшити ризик переобладнання, коли алгоритм стає занадто пристосованим до навчальних даних і втрачає здатність до узагальнення. Запровадження R-CNN було відповіддю на пом'якшення проблем із надмірним оснащенням шляхом включення класифікації опорних векторних машин (SVM) у структуру CNN, хоча це доповнення також збільшило час обробки.

Щоб усунути недоліки R-CNN, зокрема залежність від модулів SVM, було розроблено Fast R-CNN, який замінив SVM функцією ймовірності Softmax, яка зазвичай використовується в CNN, спрощуючи процес. Подальший прогрес призвів до Faster R-CNN, який використовує техніку об'єднання регіонів інтересу (RoI), щоб забезпечити обробку для класифікації лише релевантних областей зображення, що підвищує ефективність [6, 7].

На основі архітектури Faster R-CNN було розроблено Mask R-CNN, додавши додатковий вхідний канал, відомий як RoI Align. Ця інновація не тільки покращує швидкість виявлення, але й розширює функціональні можливості, включаючи такі завдання, як визначення пози, поряд із традиційним виявленням об'єктів на одному зображенні. Ці ітераційні вдосконалення підкреслюють постійну еволюцію алгоритмів CNN для досягнення швидшої, точнішої та універсальної ідентифікації об'єктів.

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою дослідження є підвищення точності і швидкості ідентифікації об'єктів на статичних зорових сценах, стійкості до різних видів шуму та спотворень. Дослідження передбачає оптимізацію алгоритмів обробки зображень і машинного навчання, які дозволяють ефективно виділяти та класифікувати об'єкти в умовах обмежених ресурсів та варіативності зорових сцен.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Виявляти об'єкти різного розміру на зображеннях із високою роздільною здатністю важко через проблеми, пов'язані з великою потребою в пам'яті та величезним обчислювальним навантаженням. Існуючі сучасні детектори добре працюють на зображеннях із низькою роздільною здатністю. Однак їх продуктивність значно обмежена на зображеннях високої роздільної здатності [8].

Аналіз загальних методів виявлення об'єктів на основі глибоких нейронних мереж включає чотири основні етапи: попередня обробка зображення, виділення ознак, класифікація і локалізація та постобробка.

Сирі зображення з набору даних не можна напряму подавати в нейронну мережу, тому на першому етапі попередньої обробки їх необхідно змінити до спеціальних розмірів і покращити якість, наприклад, підвищити

яскравість, насиченість кольорів і контрастність. Також для забезпечення варіативності навчальних даних застосовуються методи збільшення даних, такі як перевертання, обертання, масштабування, обрізка, зсув і додавання гауссового шуму. Крім того, генеративні змагальні мережі (GAN) можуть створювати нові зображення, що збагачують різноманітність вхідних даних.

Другий етап – виділення ознак – є ключовим для подальшого виявлення. Якість виділених ознак визначає максимальну можливу точність класифікації та локалізації об'єктів. Цей процес включає використання конволюційних шарів, які виділяють важливі деталі зображень.

На третьому етапі класифікації та локалізації використовується детектор, який відповідає за визначення кінцевих класів об'єктів та координат обмежувальних рамок. Детектор пропонує попередні області, що можуть містити об'єкти, і уточнює ці області шляхом класифікації та коригування координат.

Останній етап включає постобробку результатів виявлення для видалення слабких або надмірних детекцій. Метод неперекриття (Non-Maximum Suppression, NMS) є широко використовуваним підходом, який зберігає лише об'єкти з найвищими оцінками, видаляючи сусідні об'єкти з нижчими оцінками класифікації.

Для підвищення точності і швидкості ідентифікації об'єктів пропонується поєднання одноступінчастих і двоступінчастих детекторів.

Загалом існуючі детектори об'єктів поділяються на дві категорії: двоступеневий детектор, репрезентативний Faster R-CNN, який інтегрує виділення регіонів безпосередньо в CNN за допомогою RPN [9]. Інший одноступінчастий детектор, такий як YOLO, виконує ідентифікацію об'єктів за один прохід через мережу, що забезпечує високу швидкість [10] та SSD, що використовує багаторівневі ознаки для одночасного визначення та класифікації об'єктів [11].

Двоступеневі детектори мають високу точність локалізації та розпізнавання об'єктів, тоді як одноступінчасті детектори досягають високої швидкості висновку та тестування. Два ступені детекторів розділені шаром об'єднання ROI (регіон інтересів). У детекторі Faster R-CNN перший етап, який називається RPN, мережа пропозицій регіону, пропонує обмежувальні рамки потенційних об'єктів. На другому етапі мережа витягує функції за допомогою RoIPool з кожного блоку-кандидата та виконує класифікацію та регресію обмежувальної рамки.

Щоб повністю успадкувати переваги однокаскадних і двокаскадних детекторів, одночасно подолавши їх недоліки, запропоновано використання нового RefineDet (Refined Single-Shot Detection), який є сучасним методом об'єктного виявлення, що поєднує точність дворівневих методів (таких як Faster R-CNN) з ефективністю одноетапних підходів (як YOLO і SSD). Він складається з двох основних компонентів: однорівневого виявлення об'єктів та дворівневої регресії обмежувальних рамок.

Окрім покращення оригінальних стратегій зіставлення та генерування, розробка унікальних мережевих архітектур також є альтернативним методом виявлення малих об'єктів.

Основні етапи роботи RefineDet

1. Попереднє визначення та виділення об'єктів (Anchor Refinement Module – ARM):

– створення базових регіонів (anchors): на зображенні формуються попередні регіони, які можуть містити об'єкти;

– відбір важливих регіонів: ARM проводить грубу фільтрацію цих регіонів, видаляючи ті, що ймовірно не містять об'єктів;

– попередня регресія координат: ARM також виконує початкову регресію, тобто коригування координат обмежувальних рамок, щоб вони краще відповідали об'єктам.

2. Уточнення та класифікація об'єктів (Object Detection Module – ODM):

– класифікація об'єктів: ODM проводить детальну класифікацію об'єктів у відфільтрованих регіонах;

– уточнення регресії: ODM виконує остаточне уточнення координат обмежувальних рамок, забезпечуючи високу точність їх положення на зображенні.

Результати використання запропонованого методу представлені на рисунку 1.

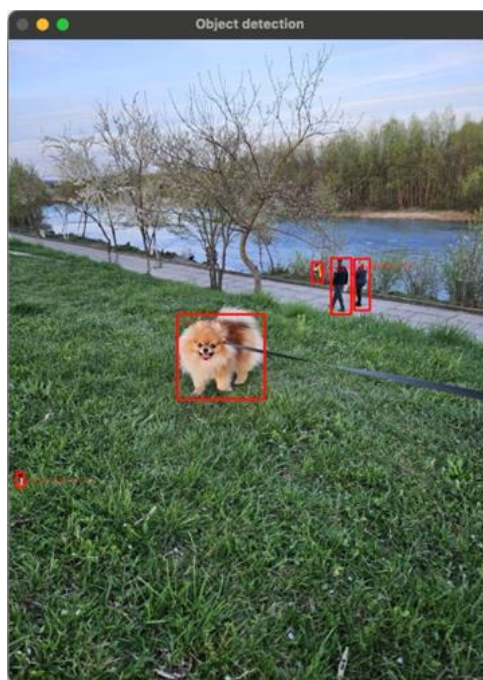
Refinedet створює архітектуру зверху вниз і усуває дисбаланс з різних точок зору [12].

Переваги RefineDet

Висока точність: Завдяки дворівневій регресії, RefineDet забезпечує більш точне положення обмежувальних рамок, що підвищує загальну точність виявлення.

Ефективність: Поєднуючи одноетапне та двоетапне виявлення, RefineDet досягає балансу між швидкістю і точністю, що робить його ефективним для використання в реальних застосуваннях.

Зниження помилок фільтрації: Попередня фільтрація через ARM зменшує кількість помилкових детекцій, що знижує навантаження на подальші етапи обробки.



**Рис. 1. Використання Refined Single-Shot Detection для об'єктного виявлення**

### Висновки

Ідентифікація об'єктів на статичних зорових сценах є однією з найважливіших задач у сфері комп'ютерного зору. Застосування цієї технології охоплює широкий спектр галузей, включаючи автоматизовані системи управління, медицину, робототехніку та безпеку. Проте існуючі методи мають свої обмеження, зокрема стосовно точності та швидкості виявлення об'єктів у складних умовах, на зображеннях високої роздільної здатності, виявлення малих об'єктів, тощо.

В результаті проведеного дослідження для ідентифікації об'єктів запропоновано використовувати RefineDet, який завдяки інноваційній структурі з ARM та ODM модулями забезпечує високу продуктивність і точність в задачах виявлення об'єктів на зображеннях. Обидва модулі тренуються одночасно, що дозволяє моделі поступово покращувати результати на основі зворотного зв'язку між модулями.

Отже, RefineDet є потужним та ефективним методом для виявлення об'єктів на зображеннях. Його унікальність полягає в комбінації переваг одноетапних та двоетапних підходів, що забезпечує високу точність та швидкість роботи. Це робить його придатним для використання в різних реальних додатках, де потрібна швидка і точна ідентифікація об'єктів.

### Список використаної літератури

1. W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, and C. Y. Fu. SSD: Single shot multibox detector, in Proc. Eur. Conf. Comput. Vis., Amsterdam, The Netherlands, Oct. 2016, pp. 11–14.
2. R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, and J. Malik. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation, in Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., Jun. 2014, pp. 23–28
3. Sana Pavan Kumar Reddy. Cusp Pixel Labelling Model for Objects Outline Using R-CNN. 2021. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9667355> (дата звернення: 01.11.2024).
4. S. Ren, K. He, R. Girshick, J. Sun. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence, 39 (2017), pp. 1137-1149.
5. K. He G. Gkioxari P. Dollár R. Girshick. Mask R-CNN Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) Venice, Italy 22–29 October 2017.
6. J. An, A. Mikhaylov, K. Kim. Machine learning approach in heterogeneous group of algorithms for transport safety-critical system. Appl. Sci., 10. 2020.
7. S.M. Abbas S.N. Singh Region-based object detection and classification using faster R-CNN Proceedings of the 2018 4th International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT) Ghaziabad, India 9–10 February 2018.
8. Jiaxu Leng, Ying Liu, Xinbo Gao, Senior Member. Selective region enlargement network for fast object detection in high resolution images. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.08.015> (дата звернення: 01.11.2024).

9. S. Ren, K. He, R. Girshick and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 39, no. 6, pp. 1137-1149, Jun. 2017.
10. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You only look once: Unified real-time object detection", *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 779-788, Jun. 2016.
11. W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C.-Y. Fu, et al., "SSD: Single shot multibox detector" in *Computer Vision–ECCV*, Cham, Switzerland:Springer, pp. 21-37, 2016.
12. Kai Shuang, Zhiheng Lya, Jonathan Loo, Wentao Zhang. Scale-balanced loss for object detection. URL: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2021.107997> (дата звернення: 04.11.2024).

#### References

1. W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, and C. Y. Fu. (2016) SSD: Single shot multibox detector, in *Proc. Eur. Conf. Comput. Vis.*, Amsterdam, The Netherlands, Oct., pp. 11–14.
2. R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, and J. Malik. (2014) Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation, in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, Jun. 2014, pp. 23–28.
3. Sana Pavan Kumar Reddy (2021) Cusp Pixel Labelling Model for Objects Outline Using R-CNN. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9667355> (accessed 01 November 2024).
4. S. Ren, K. He, R. Girshick, J. Sun. (2017) Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intelligence*, 39, pp. 1137-1149.
5. K. He G. Gkioxari P. Dollár R. Girshick (2017) Mask R-CNN Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) Venice, Italy 22–29 October.
6. J. An, A. Mikhaylov, K. Kim (2020) Machine learning approach in heterogeneous group of algorithms for transport safety-critical system. *Appl. Sci.*, 10.
7. S.M. Abbas S.N. (2018) Singh Region-based object detection and classification using faster R-CNN Proceedings of the 2018 4th International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT) Ghaziabad, India 9–10 February 2018.
8. Jiaxu Leng, Ying Liu, Xinbo Gao, Senior Member (2021) Selective region enlargement network for fast object detection in high resolution images. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.08.015> (accessed 01 November 2024)
9. S. Ren, K. He, R. Girshick and J. Sun (2017) "Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 39, no. 6, pp. 1137-1149.
10. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi (2016) "You only look once: Unified real-time object detection", *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 779-788.
11. W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C.-Y. Fu, et al. (2016) "SSD: Single shot multibox detector" in *Computer Vision–ECCV*, Cham, Switzerland:Springer, pp. 21-37.
12. Kai Shuang, Zhiheng Lya, Jonathan Loo, Wentao Zhang (2021) Scale-balanced loss for object detection. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2021.107997> (accessed 04 November 2024).

**О. В. МАЗУРЕЦЬ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних наук  
Хмельницький національний університет  
ORCID: 0000-0002-8900-0650

**І. А. ТИМОФІЄВ**

студент кафедри комп'ютерних наук  
Хмельницький національний університет  
ORCID: 0009-0006-4610-5889

**В. І. КЛІМЕНКО**

викладач кафедри комп'ютерних наук  
Хмельницький національний університет  
ORCID: 0000-0001-5869-4269

**О. О. ТИЩЕНКО**

викладач кафедри комп'ютерних наук  
Хмельницький національний університет  
ORCID: 0009-0005-9945-8090

## МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ДЕПРЕСИВНОГО СТАНУ ПОВ'ЯЗАНОГО ІЗ НАВЧАННЯМ У ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДУАЛЬНОЇ АРХІТЕКТУРИ

У статті визначено актуальність проблеми автоматизованого виявлення депресивного стану, пов'язаного із навчанням у закладах освіти актуальність, в сучасному соціальному та академічному середовищі, коли тиск, стрес і тривожність стали розповсюдженими явищами, що можуть сприяти розвитку депресії. Це особливо актуально в умовах інтенсивного навчального процесу, високих вимог і обмеженого часу для відпочинку та саморегуляції. Виявлення депресивних станів на ранніх етапах може суттєво вплинути на своєчасну підтримку та профілактику більш серйозних психічних розладів, тому дана проблематика з області ментальне здоров'я знайшла широке поширення у наукових дослідженнях й корелює із цілями сталого розвитку ПРООН.

У роботі пропонується метод виявлення депресивного стану, пов'язаного із навчанням у закладах освіти із використанням нейромережі дуальної архітектури, що призначений для перетворення вхідних даних у вигляді тексту та навченої нейромережевої моделі у вихідні дані у вигляді числової оцінки наявності депресивного стану. Запропонований метод відрізняється від аналогів тим, що поєднує двопоточну архітектуру, яка базується на використанні двох паралельних нейронних мереж архітектури трансформер, кожна з яких спеціалізується на аналізі різних аспектів тексту – синтаксичного та семантичного. Потік синтаксичного аналізу спрямований на виявлення синтаксичної структури тексту, а потік семантичного аналізу – на розуміння змісту та контексту тексту.

Проведене дослідження ефективності розробленого методу у формі програмної реалізації виявило, що у порівнянні з відомими аналогами, наведеними у попередніх дослідженнях, було досягнуто значення площі ROC-кривої 0.98, що є на 0.1 вище від аналогової реалізації нейромережі BERT та на 0.12 вище від аналогової реалізації нейромережі RedditBERT.

Імплементация методу виявлення пов'язаного з навчанням депресивного стану за допомогою нейромережі дуальної архітектури сприяє реалізації Цілей сталого розвитку № 3 та № 4. Це дозволяє забезпечити здоровий спосіб життя та добробут учасників навчального процесу (Ціль № 3) через своєчасне втручання в їх психічний стан, а також сприяє забезпеченню якісної, всеохоплюючої та справедливої освіти (Ціль № 4) шляхом створення підтримуючого навчального середовища.

**Ключові слова:** нейромережі трансформери, NLP, BERT, дуальна нейромережева архітектура.

**О. V. MAZURETS**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Computer Science Department  
Khmelnitskyi National University  
ORCID: 0000-0002-8900-0650

I. A. TYMOFIIEV

Student of Computer Science Department  
Khmelnyskiy National University  
ORCID: 0009-0006-4610-5889

V. I. KLIMENKO

Lecturer at the Computer Science Department  
Khmelnyskiy National University  
ORCID: 0000-0001-5869-4269

O. O. TYSCHENKO

Lecturer at the Computer Science Department  
Khmelnyskiy National University  
ORCID: 0009-0005-9945-8090

## METHOD FOR DETERMINING DEPRESSIVE STATES ASSOCIATED WITH LEARNING IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS USING DUAL ARCHITECTURE NEURAL NETWORK

*Article identifies the problem relevance of automated detection of depressive states associated with learning in educational institutions, relevance in the modern social and academic environment, when pressure, stress and anxiety have become widespread phenomena that can contribute to the development of depression. This is especially relevant in conditions of intensive educational process, high demands and limited time for rest and self-regulation. Detection of depressive states at early stages can significantly affect the timely support and prevention of more serious mental disorders, therefore this issue in the mental health field has become widespread in scientific research and correlates with the sustainable development goals of UNDP.*

*Paper proposes a method for detecting depressive states associated with learning in educational institutions using a dual architecture neural network, which is designed to convert input data in the form of text and a trained neural network model into output data in the form of a numerical assessment of the presence of a depressive state. The proposed method differs from analogues in that it combines a dual-stream architecture, which is based on the use of two parallel neural networks of the transformer architecture, each of which specializes in the analysis of different aspects of the text – syntactic and semantic. The syntactic analysis stream is aimed at identifying the syntactic structure of the text, and the semantic analysis stream is aimed at understanding the content and context of text.*

*Research of developed method effectiveness in the form of revealed software implementation, in comparison with the known analogues given in previous studies, the ROC curve area value of 0.98 was achieved, which is 0.1 higher than the analogue implementation of the BERT neural network and 0.12 higher than the analogue implementation of the RedditBERT neural network.*

*The implementation of the method for detecting a depressive state associated with learning using dual-architecture neural network contributes to the implementation of Sustainable Development Goals SDG3 and SDG4. This allows for a healthy lifestyle and well-being of participants in the educational process SDG3 through timely intervention in their mental state, and also contributes to ensuring high-quality, inclusive and equitable education SDG4 by creating supportive learning environment.*

**Key words:** neural networks transformers, NLP, BERT, dual neural network architecture.

### Постановка проблеми

В умовах сучасного цифрового середовища, де щодня генеруються великі обсяги даних через соціальні мережі та онлайн-платформи, необхідні ефективні інструменти для виявлення психічних розладів, таких як депресія [1, с. 16-28].

Згідно з проведеними дослідженнями Всесвітньої організації охорони здоров'я, загалом у світі від проявів депресивного стану страждає близько 322 мільйонів людей, що в свою чергу становить 4,4% від загального населення планети [2]. Сумарна кількість хворих у світі перевищує сумарне населення Німеччини, Італії, Британії та Франції. Депресія є однією з найпоширеніших хвороб і основною причиною втрати працездатності серед дорослих. Згідно з даними німецької страхової компанії DAK, депресія є основною причиною пропусків семінарів і лекцій серед студентів. Товариство допомоги студентам повідомляє, що в період 2022-2023 років щонайменше 4,5% студентів у німецьких університетах страждали від депресії. Депресія часто проявляється в письмових формах, і з огляду на зростання онлайн-спілкування, інтелектуальне виявлення депресії в текстах стає важливою сферою IT. Рання діагностика та лікування депресії допомагають покращити якість життя та запобігти ускладненням.

У зв'язку з цим постає необхідність розробки нових підходів, які б поєднували сучасні технології аналізу тексту з високими показниками точності для своєчасної підтримки студентів. Запропонований метод виявлення депресивного стану за допомогою нейромережі дуальної архітектури спрямований на подолання цих викликів та сприяє досягненню Цілей сталого розвитку № 3 та № 4 Програми розвитку ООН.



### Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день депресія є загальновідомою проблемою, яка широко притягує увагу науковців, оскільки може знижувати продуктивність і призводити до суїцидальних думок або спроб [3, с. 101-106].

У дослідженні [4] використано набір даних із Reddit, де коментарі та пости, що містять суїцидальні наміри, аналізувалися за допомогою NLP. Це дозволило підтвердити, що субредити є корисними онлайн-ресурсами для виявлення психічного стану людей. Використано алгоритми машинного навчання, такі як Naïve Bayes, SVM, логістична регресія та випадковий ліс. Результати показали точність 77,29% і f1-оцінку 0,77 для логістичної регресії, що підтверджує ефективність цих методів у виявленні осіб групи ризику.

Стаття [5] присвячена аналізу настроїв [6, с. 200-206] на основі даних з мікроблогів, зокрема з Twitter. Дослідники збирають дані в режимі реального часу та використовують алгоритми, такі як TF-IDF, BOW і MNB, для оцінки позитивних та негативних почуттів у твітах. Експериментальні результати демонструють, що ці методи є доволі точними і можуть бути використані як додатковий інструмент для діагностики депресії.

У [7] розглядається покращення діагностики депресії за допомогою інструментів і методів машинного навчання та обробки природної мови [8, с. 197-204]. Автори підкреслюють труднощі виявлення депресії, зокрема у випадках наявності інших розладів, таких як посттравматичний стресовий розлад. Використовуються різні методи для очищення та попередньої обробки даних, а також підбір функцій і алгоритмів для класифікації за допомогою ML. Проведено тематичний аналіз, що порівнює різні класифікатори ML з точки зору таких етапів, як очищення даних, попередня обробка, вибір функцій, налаштування параметрів і підбір моделі. Це дослідження ґрунтується на наборі даних Distress Analysis Interview Corpus – Wizard-of-Oz, створеному для підтримки діагностики психічних розладів, зокрема депресії, тривоги та ПТСР.

Основні результати дослідження показують, що моделі Random Forest і XGBoost досягають точності близько 84%, що значно вище порівняно з результатами літератури, де точність моделей SVM становила 72%. Ці результати демонструють ефективність запропонованих підходів у покращенні діагностики психічних розладів.

Результати дослідження [9, с. 2255-222] для раннього виявлення депресії серед онкологічних пацієнтів виявили, що моделі BERT та RedditBERT продемонстрували найвищі оцінки AUROC (0,88 і 0,86 відповідно), перевершивши логістичну регресію та SVM. Пацієнти, чиї повідомлення були класифіковані як тривожні, частіше отримували діагнози депресії, рецепти на антидепресанти або направлення до психонколога. Моделі BERT виявили різницю в продуктивності за демографічними характеристиками, що підкреслює необхідність усунення можливих упереджень. Дослідження демонструє потенціал використання моделей BERT для виявлення депресії серед онкологічних пацієнтів, що може зменшити клінічне навантаження та покращити догляд за пацієнтами.

### Формулювання мети дослідження

**Метою роботи є** розробка методу виявлення депресивного стану, пов'язаного з навчанням у закладах освіти, з використанням нейромережі дуальної архітектури, яка відрізняється від існуючих аналогів двопоточною архітектурою, що поєднує дві паралельні нейронні мережі. Кожна з цих мереж спеціалізується на аналізі різних аспектів тексту: одна – на синтаксичному, інша – на семантичному.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Метод виявлення депресивного стану пов'язаний із навчанням у закладах освіти із використанням нейромережі дуальної архітектури призначений для автоматизації процесу ідентифікації депресивного стану за текстами учасників навчального процесу. Цей метод використовує двопоточну архітектуру з двома паралельними нейронними мережами, кожна з яких спеціалізується на аналізі окремих аспектів тексту – синтаксичному та семантичному [10, с. 147-151]. Потік синтаксичного аналізу фокусується на визначенні синтаксичної структури тексту, тоді як потік семантичного аналізу зосереджується на розумінні змісту та контексту. Після обробки тексту кожним потоком результати об'єднуються на вищому рівні, що дозволяє врахувати як мовну структуру, так і загальний зміст для точнішого визначення депресивного стану. Схема та етапи методу представлено рис. 1.

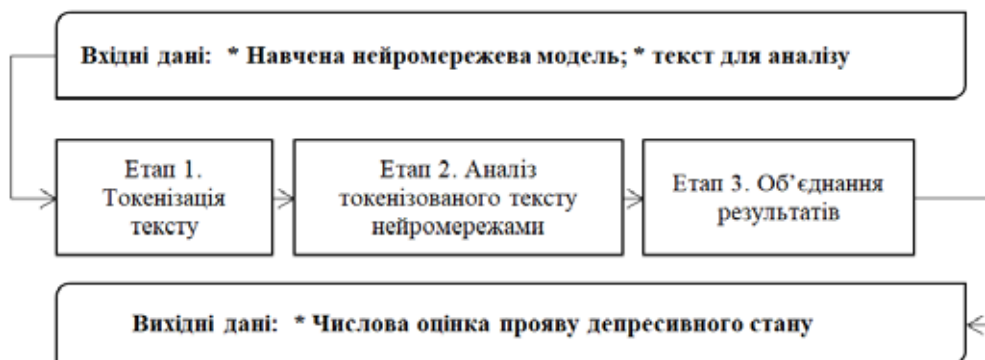


Рис. 1. Етапи роботи методу виявлення депресивного стану

Вхідними даними є нейромережева модель дуальної архітектури трансформер, що поєднує моделі BERT та GPT2, призначені для аналізу синтаксичного та семантичного контексту тексту користувача. Для синтаксичного аналізу використовується модель BERT, а для семантичного – модель GPT2.

Першим етапом виступає токенизація користувацького тексту відповідними токенизаторами моделей BERT та GPT2. Наступним етапом є аналіз токенизованого тексту відповідними нейромережами BERT та GPT2, який проводиться паралельно [11, с. 84-88]. Третім етапом відбувається об'єднання результатів обох потоків за допомогою спеціалізованого шару злиття. В результаті буде отримано числову оцінку прояву депресивного стану. Вихідними даними буде числова оцінка прояву депресивного стану у користувацькому тексті.

Схема формування та навчання типової нейромережі дуальної архітектури наведена на рис. 2.

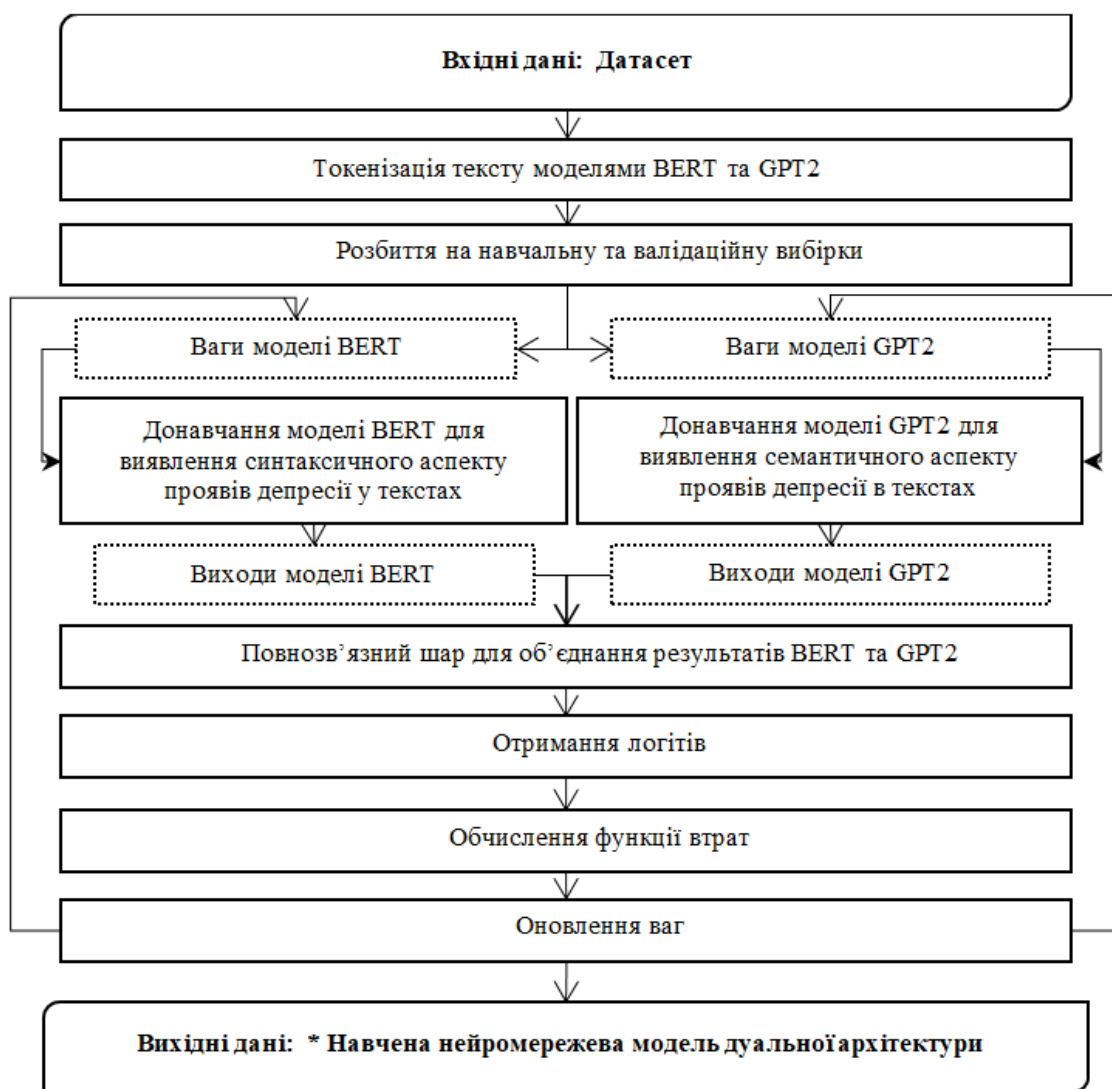


Рис. 2. Схема формування та навчання нейромережі дуальної архітектури

Вхідними даними є датасет, що складається з 2-х класів: текстів, які містять прояви депресії, пов'язаної з навчанням у навчальних закладах, та текстів без ознак депресії. Використовуватиметься набір «Student-Depression-Text», що містить близько 7489 даних у форматі «Excel», зібраних із соціальних мереж, коментарів у «Facebook» та інших джерел. Цей анотований англійськомовний набір даних був створений з дописів студентів віком від 15 до 17 років, які добре володіють англійською мовою [12]. Набір містить: текст, мітку, вік, вікову категорію та стать. У текстових стовпцях наявний текст «Нормальний стан» і «депресія», а стовпець мітки вказує, чи позначає відповідний текст тривогу чи депресію.

Спершу відбувається токенизація всього вмісту датасету моделями BERT та GPT2. Токенизовані тексти перетворюються у вибірку, у поділі 20% валідаційні дані, 80% – навчальні.

Токенізовані тексти передаються на вхід попередньо навченим моделям BERT та GPT2 для подальшого навчання. Обидві моделі працюють паралельно, і після отримання вихідних векторів їх результати об'єднуються у повнозв'язному шарі. Цей шар обробляє комбінований вектор і генерує фінальний вектор логітів, який використовується для обчислення функції втрат і прогнозування результатів. Після обчислення функції втрат відбувається оновлення ваг нейромереж шляхом виконання зворотного поширення для зменшення помилки.

Для дослідження ефективності запропонованого методу було розроблено програмний комплекс, що складається із ноутбука реалізованого у хмарному середовищі «Google Colab» для навчання нейромережі та вебінтерфейса, що використовує навчену нейромережеву модель дуальної архітектури. Вебінтерфейс реалізовано з використанням середовища програмування «PyChart» та використанням мікрофреймворка «Flask».

Нейромережа навчалась протягом 1-3 епох за браком обчислюваних потужностей (для більшої кількості епох потрібно понад 40 ГБ оперативної пам'яті). Однак, результати навчання свідчать про достатність проведених епох. Результат значення функції втрат по епохам наведено на рис. 3.

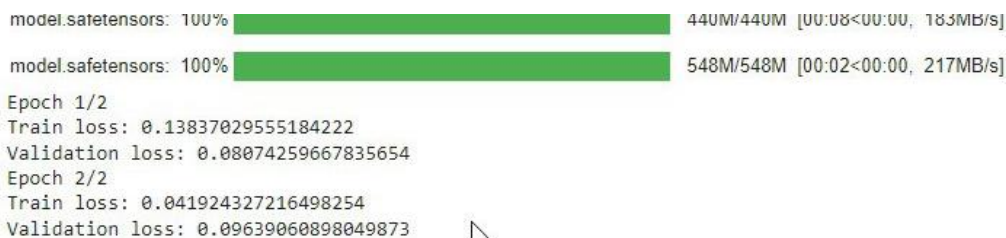


Рис. 3. Метрики навчання нейромережі дуальної архітектури

Для проведення експериментів із навченою моделлю було створено вебінтерфейс, приклад використання якого наведено на рис. 4.

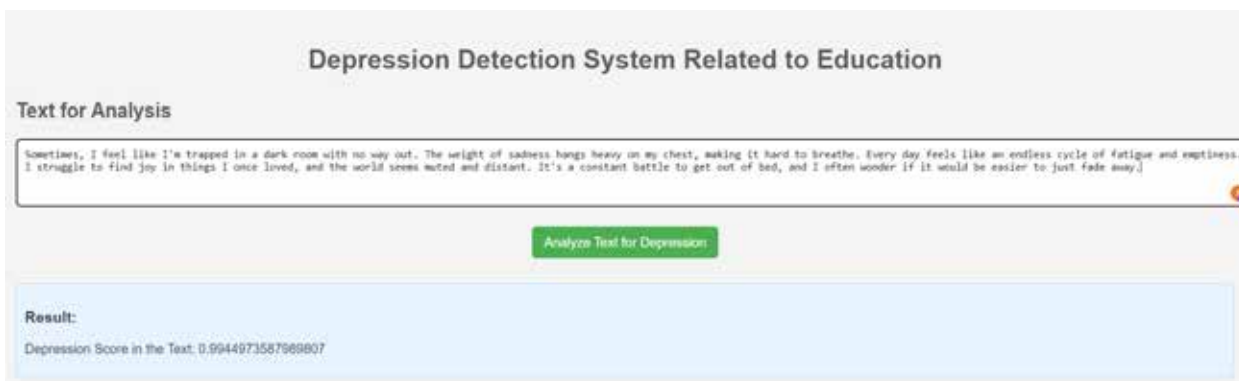


Рис. 4. Вебінтерфейс для виявлення депресивного стану пов'язаного із навчанням у закладах освіти

Досліджено вплив параметрів на здатність нейромережевих моделей до навчання. Результати для 4-х альтернативних моделей дуальної архітектури представлені в таблиці 1, а параметри навчання, на яких отримано ці значення, наведені в таблиці 2.

Таблиця 1

**Результат навчання нейромережевих моделей за метриками**

Метрики	Gpt_Bert1	Gpt_Bert2	Gpt_Bert3	Gpt_Bert4
<b>Accuracy:</b>	0.95	0.96	0.99	0.98
<b>Precision:</b>	0.94	0.95	0.98	0.97
<b>Recall:</b>	0.96	0.96	0.98	0.98
<b>F1:</b>	0.95	0.96	0.98	0.98

Результати таблиці 1 наведені на рис. 5. Як видно з таблиці 1 та рис. 5, найкращі результати отримала модель Gpt\_Bert3, яка навчалась з параметрами кількість епох 2, швидкість навчання 2e-5, розмір батча 16 та довжиною вхідної послідовності 128.

Таблиця 2

Використані параметри навчання НМ моделей

Параметри:	Gpt_Bert1	Gpt_Bert2	Gpt_Bert3	Gpt_Bert4
К-сть епох	1	3	2	2
Швидкість навчання	7e-5	3e-4	2e-5	1e-3
Розмір батча	4	8	16	32
Довжина вхідної послідовності	512	256	128	64

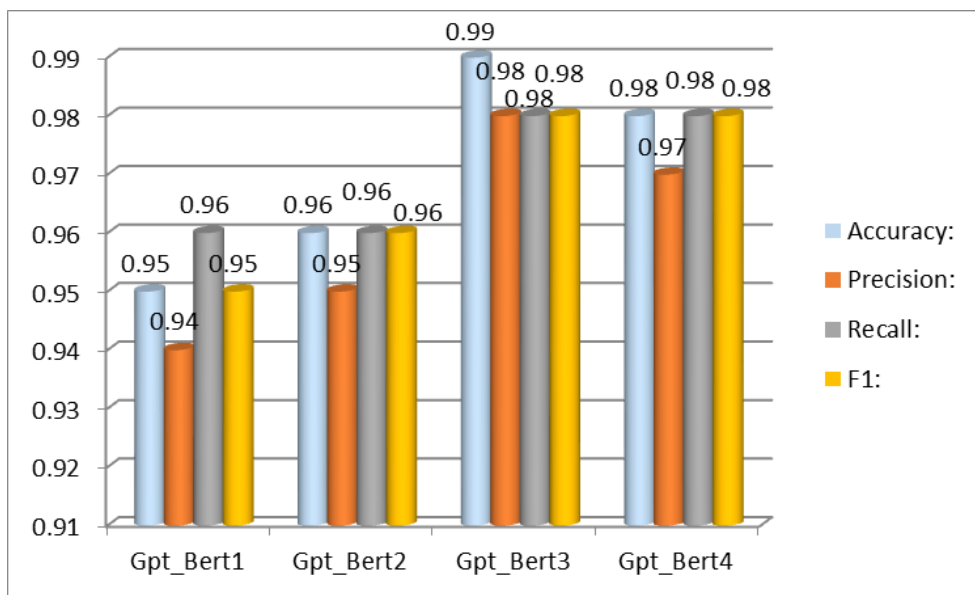


Рис. 5. Результати навчання НМ моделей за метриками

Однак, решта результатів також є доволі високими, що говорить про можливість всіх навчених моделей до коректної ідентифікації депресивного стану, що пов'язаний із навчанням у закладах освіти.

Для найкращої моделі також було проведено тестування на розміченій вибірці з понад 7000 текстових зразків, результат наведено на рис. 6 у вигляді матриці сплутування.



Рис. 6. Матриця сплутувань моделі Gpt\_Bert3

Також, виконуючи порівняння з відомими аналогами, у [9, с. 2255-2262] було досягнуто значень 0.88 і 0.86 нейромережами BERT та RedditBERT відповідно за метрикою площі ROC-кривої, у той же час запропонована архітектура цей показник має 0.98, що є на 0.1 вище від BERT в чистому вигляді та на 0.12 вище від RedditBERT.

#### Висновки

У статті виконано огляд сучасного стану наукових публікацій у галузі виявлення депресивного стану в текстових даних. На основі аналізу актуальних наукових досягнень запропоновано метод виявлення депресії, пов'язаної з навчанням у навчальних закладах, що використовує нейронну мережу дуальної архітектури. Цей метод перетворює вхідні текстові дані на вихідну числову оцінку наявності депресивного стану, використовуючи навчену нейромережеву модель. Особливістю запропонованого методу є застосування двопоточної архітектури з двома паралельними нейронними мережами на основі трансформерів, кожна з яких спеціалізується на аналізі окремих аспектів тексту: синтаксичному та семантичному. Потік синтаксичного аналізу фокусується на виявленні синтаксичної структури тексту, тоді як потік семантичного аналізу орієнтований на розуміння змісту та контексту.

Для навчання та валідації нейромережевої моделі був застосований набір даних «Student-Depression-Text», що представлений у форматі «Excel» і містить близько 7489 записів з соціальних мереж, зокрема коментарів у «Facebook». Цей анотований англійський набір охоплює студентів віком від 15 до 17 років.

Проведене дослідження ефективності розробленого методу у вигляді програмної реалізації, яке продемонструвало, що порівняно з відомими аналогами, зазначеними в попередніх роботах, було досягнуто значення площі під ROC-кривою 0.98. Це на 0.1 більше, ніж у реалізації нейронної мережі BERT, та на 0.12 більше, ніж у реалізації RedditBERT.

#### Список використаної літератури

1. Krak I., Zalutka O., Molchanova M., Mazurets O., Bahrii R., Sobko O., Barmak O. Abusive Speech Detection Method for Ukrainian Language Used Recurrent Neural Network. *CEUR Workshop Proceedings*. 2024. Vol. 3688. С. 16-28 <https://doi.org/10.31110/COLINS/2024-3/002>.
2. Як це жити та навчатися з депресією. DW. 2019. URL: <https://www.dw.com/uk/як-це-жити-та-навчатись-з-депресією/a-50137399> (дата звернення: 24.11.2024).
3. Молчанова М. О., Мазурець О. В., Собко О. В., Біт Р. В., Назаров В. В. Алгоритм виявлення аб'юзивного вмісту в українському аудіоконтенті для імплементації в об'єктно-орієнтовану інформаційну систему. *Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету»*. Технічні науки. 2024. № 1 (331). С. 101-106 <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-17>.
4. Jain P., Srinivas K. R., Vichare A. Depression and suicide analysis using machine learning and NLP. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. Vol. 2161 (1). С. 012034 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2161/1/012034>
5. Mali A., Sedamkar R. R. Prediction of Depression Using Machine Learning and NLP Approach. In: Balas V. E., Semwal V. B., Khandare A. (eds) *Intelligent Computing and Networking. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 301. Springer [https://doi.org/10.1007/978-981-16-4863-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4863-2_15).
6. Молчанова М. О., Мазурець О. В., Собко О. В., Кліменко В. І., Андрощук В. І. Метод нейромережевого виявлення кібербулінгу з використанням хмарних сервісів та об'єктно-орієнтованої моделі. *Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету»*. Технічні науки. 2024. № 2 (333). С. 200-206 <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-32>.
7. Lorenzoni G., Tavares C., Nascimento N., Alencar P., Cowan D. Assessing ML Classification Algorithms and NLP Techniques for Depression Detection: An Experimental Case Study. *arXiv preprint arXiv:2404.04284*. 2024 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.04284>
8. Мазурець О. В., Молчанова М. О., Кліменко В. І., Собко О. В., Супрун П. К. Даталогічна модель бази даних для виявлення гендерної приналежності за SVM-аналізом дописів інтернет-мереж з використанням об'єктно-орієнтованого проектування. *Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету»*. Технічні науки. 2024. № 3, Т. 2 (337). С. 197-204. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-337-3-29>.
9. van Buchem M. M., de Hond A. A., Fanconi C., Shah V., Schuessler M., Kant I. M., ... & Hernandez-Boussard T. Applying natural language processing to patient messages to identify depression concerns in cancer patients. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2024. Vol. 31, No. 10, С. 2255-2262 <https://doi.org/10.1093/jamia/ocae188>.
10. Mazurets O., Tymofiev I., Dydo R. Approach for Using Neural Network BERT-GPT2 Dual Transformer Architecture for Detecting Persons Depressive State. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche. Raccolta di articoli scientifici con gli atti della VI Conferenza scientifica e pratica internazionale*. 2024. С. 147-151 <https://doi.org/10.36074/logos-15.11.2024.036>.
11. Tymofiev I., Mazurets O., Hardysh D., Molchanova M. Neural Network Dual Architecture for Depression Detection Using Cloud Services. *Scientific Research in the Era of Digital Technologies: Challenges and Opportunities*. 2024. С. 84-88. <https://doi.org/10.70286/ISU-06.11.2024>

12. Student Depression Text Dataset. Kaggle. 2024. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/nidhiy07/student-depression-text> (дата звернення: 24.11.2024).

#### References

1. Krak, I., Zalutska, O., Molchanova, M., Mazurets, O., Bahrii, R., Sobko, O., & Barmak, O. (2024). Abusive speech detection method for Ukrainian language used recurrent neural network. *CEUR Workshop Proceedings*, 3688, pp. 16-28. <https://doi.org/10.31110/COLINS/2024-3/002>
2. DW. (2019). Yak tse zhyty ta navchatysya z depresiyeyu [How it is to live and study with depression]. DW. <https://www.dw.com/uk/як-це-жити-та-навчатись-з-депресією/a-50137399> (Accessed: November 24, 2024) [in Ukrainian].
3. Molchanova, M. O., Mazurets, O. V., Sobko, O. V., Vit, R. V., & Nazarov, V. V. (2024). Alhorytm vyavlennia abyuzyvnoho vmistu v ukrajinomovnomu audiokontenti dlya implementatsiyi v ob'ektno-orientovanu informatsiynu systemu [Algorithm for abusive content detection in Ukrainian audio content for implementation in an object-oriented information system]. *Naukovyi zhurnal «Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu»*, *Tekhnichni nauky*, 1, pp. 101-106. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-17> [in Ukrainian].
4. Jain, P., Srinivas, K. R., & Vichare, A. (2022). *Depression and suicide analysis using machine learning and NLP. Journal of Physics: Conference Series*, 2161, pp. 012034. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2161/1/012034>
5. Mali, A., & Sedamkar, R. R. (2022). Prediction of depression using machine learning and NLP approach. In *V. E. Balas, V. B. Semwal, & A. Khandare (Eds.), Intelligent Computing and Networking. Lecture Notes in Networks and Systems (Vol. 301)*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-4863-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4863-2_15)
6. Molchanova, M. O., Mazurets, O. V., Sobko, O. V., Klimenko, V. I., & Androshchuk, V. I. (2024). Metod neyromerezhovoho vyavlennya kyberbulinhu z vykorystanniam khmarnykh servysiv ta ob'ektno-orientovanoi modeli [Method of neural network detection of cyberbullying using cloud services and object-oriented model]. *Naukovyi zhurnal «Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu»*, *Tekhnichni nauky*, 2, pp. 200-206. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-32> [in Ukrainian].
7. Lorenzoni, G., Tavares, C., Nascimento, N., Alencar, P., & Cowan, D. (2024). Assessing ML classification algorithms and NLP techniques for depression detection: An experimental case study. *arXiv preprint arXiv:2404.04284*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.04284>
8. Mazurets, O. V., Molchanova, M. O., Klimenko, V. I., Sobko, O. V., & Suprun, P. K. (2024). Datalohichna model bazy danykh dlya vyavlennya hendernoi prynalezhnosti za SVM-analyzom dopysiv internet-merezh z vykorystanniam ob'ektno-orientovanoi proiektuvannya [Data model of the database for detecting gender affiliation through SVM analysis of internet network posts using object-oriented design]. *Naukovyi zhurnal «Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu»*, *Tekhnichni nauky*, 3, pp. 197-204. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-337-3-29> [in Ukrainian].
9. van Buchem, M. M., de Hond, A. A., Fanconi, C., Shah, V., Schuessler, M., Kant, I. M., ... & Hernandez-Boussard, T. (2024). Applying natural language processing to patient messages to identify depression concerns in cancer patients. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 31, pp. 2255-2262. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocae188>
10. Mazurets, O., Tymofiiiev, I., & Dydo, R. (2024). Approach for using neural network BERT-GPT2 dual transformer architecture for detecting persons depressive state. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche. Raccolta di articoli scientifici con gli atti della VI Conferenza scientifica e pratica internazionale*, pp. 147-151. <https://doi.org/10.36074/logos-15.11.2024.036>
11. Tymofiiiev, I., Mazurets, O., Hardysh, D., & Molchanova, M. (2024). Neural network dual architecture for depression detection using cloud services. In *Scientific Research in the Era of Digital Technologies: Challenges and Opportunities*, pp. 84-88. <https://doi.org/10.70286/ISU-06.11.2024>
12. Student Depression Text Dataset. (2024). Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/nidhiy07/student-depression-text> (Accessed: November 24, 2024)

М. О. МОЛЧАНОВА

викладач кафедри комп'ютерних наук  
Хмельницький національний університет  
ORCID: 0000-0001-9810-936X

## ВИЯВЛЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНІК І ОБ'ЄКТІВ ПРОПАГАНДИ В ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕННЯХ ЗАСОБАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

У статті запропоновано підхід до виявлення та класифікації технік і об'єктів пропаганди в текстових повідомленнях засобами машинного навчання, що полягає у виконанні послідовних кроків та дозволяє як виявляти застосування технік в цілому, так і виконувати класифікацію застосованих технік, а також виявляти об'єкти, на які спрямовані класифіковані техніки пропаганди.

Для виявлення застосованих технік пропаганди було використано гібридну модель машинного навчання на основі об'єднання архітектур BiLSTM та шарів архітектури трансформер. Застосоване поєднання забезпечило поглиблене розуміння текстового контенту та сприяло підвищенню виявлення пропаганди на 0.037 в порівнянні з відомими аналогами. Для класифікації технік пропаганди запропоновано як класифікація застосованих технік, так і візуалізація отриманих результатів з використанням алгоритму LIME. Використовується множина моделей машинного навчання, де за класифікацію кожної техніки відповідає окрема навчена модель машинного навчання на базі архітектури трансформерів, а саме BERT-подібні моделі. Таке використання дозволяє класифікувати застосовані техніки з мінімальною оцінкою Accurasy 0.82. Реалізоване виявлення пропагандистських об'єктів дозволяє знаходити не лише на кого спрямована пропаганда, а і на що здійснюється її спрямування в розрізі використаних класифікованих технік. Для інтерпретованості та наочності також забезпечено візуалізацію результатів.

Запропонований у роботі підхід корелює із Цілями сталого розвитку ПРООН та дозволяє автоматизувати процес виявлення та класифікації пропаганди та зробити результати подання повними, інтерпретованими та зрозумілими. Зокрема, виявлення та класифікація технік і об'єктів пропаганди за допомогою методів машинного навчання сприяють досягненню Цілі сталого розвитку ООН № 16 шляхом підвищення прозорості інформаційного простору та зміцнення інституційної довіри, а також Цілі сталого розвитку ООН № 4 через розвиток медіаграмотності та критичного мислення серед населення, що дозволяє ефективно протидіяти дезінформації.

**Ключові слова:** NLP, техніки пропаганди, об'єкти пропаганди, візуальна аналітика.

М. О. MOLCHANOVA

Lecturer of Computer Science Department  
Khmelnytskyi National University  
ORCID: 0000-0001-9810-936X

## DETECTION AND CLASSIFICATION OF PROPAGANDA TECHNIQUES AND OBJECTS IN TEXT MESSAGES USING MACHINE LEARNING

Article proposes approach to detecting and classifying propaganda techniques and objects in text messages using machine learning models, which consists of performing sequential steps and allows both to detect the use of techniques in general and to classify the applied techniques, as well as to detect objects to which the classified propaganda techniques are directed.

To detect the applied propaganda techniques, hybrid machine learning model was used based on the combination of BiLSTM architectures and transformer architecture layers. The applied combination provided in-depth understanding of the text content and contributed to increase in propaganda detection by 0.037 compared to known analogues. To classify propaganda techniques, both the classification of the applied techniques and visualization of obtained results using the LIME algorithm were proposed. Set of machine learning models is used, where separate trained machine learning model based on the transformer architecture is responsible for classification of each technique, namely BERT-like models. This use allows to classify applied techniques with minimum Accuracy score of 0.82. The implemented detection of propaganda objects allows to find not only who the propaganda is directed at, but also what it is directed at in terms of classified techniques used. For interpretability and clarity, visualization of the results is also provided.

Approach proposed in the work correlates with the UNDP Sustainable Development Goals and allows to automate the process of detecting and classifying propaganda and make the results of the presentation complete, interpretable and understandable. In particular, the detection and classification of propaganda techniques and objects using machine learning methods contribute to the achievement of the UN Sustainable Development Goal No. 16 by increasing the transparency of the information space and strengthening institutional trust, as well as the UN Sustainable Development Goal No. 4 by developing media literacy and critical thinking among the population, which allows to effectively counteract disinformation.

**Key words:** NLP, propaganda techniques, propaganda objects, visual analytics.

### Постановка проблеми

На сучасному етапі інтернет-технології сприяють швидкому, масовому та ефективному поширенню різного роду пропаганди та маніпулятивних впливів [1, С. 1-10]. Нові методи генерації текстів забезпечують значне зростання обсягу контенту, що зумовлює потребу в постійному моніторингу нових способів створення пропагандистського вмісту та вдосконаленні методів виявлення та класифікації пропагандистських технік. Це є важливим завданням у контексті протидії дезінформації та забезпечення інформаційної безпеки. Виявлення та класифікація пропаганди у медіапросторі часто здійснюється вручну, без аналізу взаємозв'язку між використаними техніками та відповідними їм об'єктами пропаганди, що значно знижує оперативність та якість результатів.

У зв'язку з цим, автоматизація процесу виявлення технік і відповідних їм об'єктів пропаганди з використанням моделей машинного навчання, їх класифікація та візуальне подання отриманих результатів є надзвичайно актуальною задачею сьогодення. У роботі запропоновано підхід до виявлення та класифікації технік і об'єктів пропаганди у текстових повідомленнях засобами машинного навчання, що складається із трьох послідовних кроків та сприяє досягненню Цілей сталого розвитку № 4 та № 16 відповідно до Програми розвитку ООН.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема виявлення пропаганди [2] є актуальним завданням області обробки природної мови, що не поступається значимістю із сучасними викликами семантичного аналізу [3, С. 591-607], такими як виявлення аб'юзивного змісту [4, С. 16-28] та аналіз емоційної тональності тексту [5, С. 344-356; 6, С. 113-116]. Негативна емоційна тональність та наявність аб'юзивного контенту виступають маркерами пропаганди, що вказують на додаткову ймовірність застосування маніпулятивних впливів. Тому всі ці питання є ключовими аспектами розуміння механізмів маніпуляції, що привертає значну увагу сучасних дослідників.

Сучасні науковці виділяють такі основні підходи до виявлення вмісту пропагандистських технік у тексті: на основі пошуку NER та на основі загальної класифікації текстів. Серед основних проблем для якісного навчання моделей машинного навчання, які б могли виявляти та класифікувати пропагандистські техніки, вчені виділяють проблему відсутності маркованих датасетів [7, С. 2668].

При виявленні та класифікації пропаганди як задачі пошуку іменованих сутностей виникає проблема, пов'язана з тим, що пропагандистські текстові фрагменти зазвичай значно довші за стандартні NER і можуть включати десятки слів. В продовження дослідження впливу довжини пропагандистських фрагментів на ефективність виявлення технік пропаганди, у [8] було зазначено, що зі збільшенням фрагментів завдання ускладнюється.

У [9] визнання наявності пропаганди відбуватиметься на двох рівнях: на загальному рівні, тобто на рівні документа, і на рівні окремих речень. Використовуються такі методи побудови ознак, як статистичний індикатор «TF-IDF», модель векторизації «Bag of Words», маркування частин мови, модель «word2vec» для отримання векторних зображень слів, а також розпізнавання тригера-слова. В якості основного алгоритму моделювання використано логістичну регресію, якою розпізнавання пропаганди на рівні документів показала себе майже в 1,2 рази краще (на 20%). Аналіз необроблених даних показав, що модель розпізнавання пропаганди на рівні документа змогла правильно класифікувати 6097 непропагандистських статей і 694 пропагандистські статті. Отримана оцінка моделі: 0,9433. Модель розпізнавання пропаганди на рівні речення успішно класифікувала 205 пропагандистських статей і 1917 непропагандистських статей. Оцінка моделі: 0,7438 (але 731 статтю було класифіковано неправильно).

З проведеного аналізу сучасних наукових надбань в області виявлення та класифікації технік пропаганди у текстових повідомленнях спостерігається відсутність комплексного підходу, який би забезпечив виявлення пропаганди та класифікацію та її технік цілісно з її об'єктами. Отже, виявлення пропаганди через NER не дозволяє розуміти спрямованість відповідно до використаних технік, а класифікація технік на рівні документу незалежно від об'єктів пропаганди не дозволяє зрозуміти на кого і на що ці маніпулятивні впливи націлені.

### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розробка підходу до виявлення та класифікації технік і об'єктів пропаганди у текстових повідомленнях засобами машинного навчання. Запропонований підхід відрізняється від існуючих тим, що передбачає як загальну оцінку рівня пропаганди у тексті, так і класифікацію використаних технік спільно із множиною об'єктів пропаганди, на які спрямовані використані техніки.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Підхід до виявлення та класифікації технік і об'єктів пропаганди в текстових повідомленнях засобами машинного навчання призначений для автоматизації процесу модерації текстових повідомлень на предмет наявності маніпулятивних впливів. Схема та кроки методу представлені на рис. 1. Як видно з рисунку, підхід є послідовним до виконання.



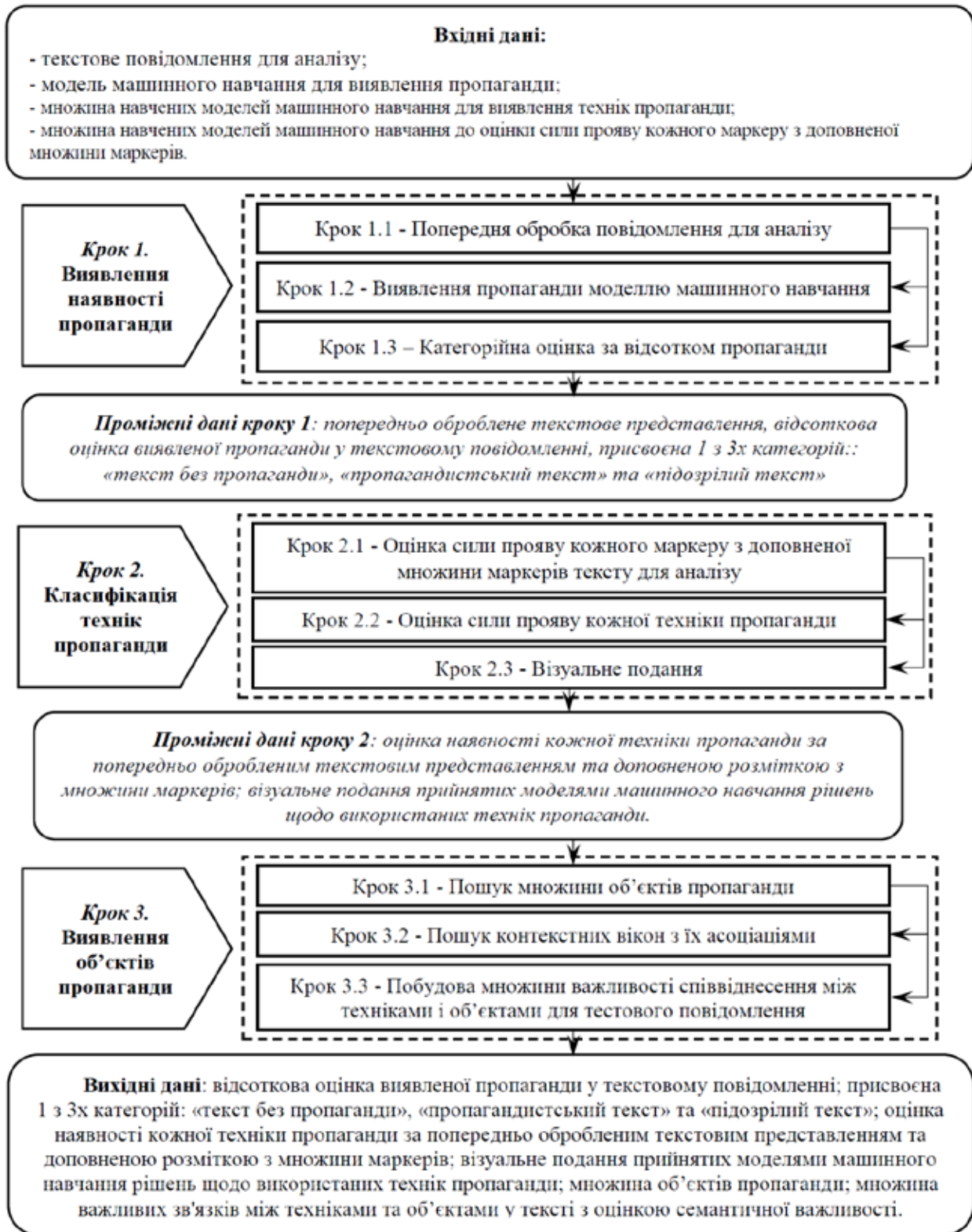


Рис. 1. Схема та кроки методу до виявлення та класифікації технік і об'єктів пропаганди у текстових повідомленнях

На Кроці 1 відбувається виявлення наявності пропаганди шляхом використання гібридної моделі машинного навчання на основі об'єднання архітектур BiLSTM та шарів трансформера. Крок 1 полягає у послідовному перетворенні інформації з текстового повідомлення для аналізу та моделі машинного навчання для виявлення

пропаганди у попередньо оброблене текстове представлення, відсоткову оцінку виявленої пропаганди у текстовому повідомленні та присвоєнні відповідної категорії: «повідомлення без пропаганди», «пропагандистське повідомлення» та «підозріле повідомлення». Для цього текстове повідомлення проходить підкроки попередньої обробки повідомлення для аналізу (видалення стоп-слів, лишніх пробілів тощо), виявлення пропаганди моделлю машинного навчання з гібридною архітектурою та визначення категорійної оцінки за відсотком пропаганди. Категорійні межі з'ясовуються емпірично, однак за замовчуванням рекомендовано такі межі: «повідомлення без пропаганди» від 0 до 0.45, «підозріле повідомлення» має значення від 0.45 до 0.55, а «пропагандистське повідомлення» від 0.55 до 1. Використання архітектури в поєднанні BiLSTM та шарів трансформера дозволяє досягти глибокого розуміння послідовності та контексту в тексті.

Крок 2 присвячений класифікації технік пропаганди за маркерами із використанням візуального представлення результатів. Виконується завдяки застосуванню 17 альтернативних моделей-трансформерів BERT-архітектури машинного навчання, де кожна окрема модель відповідає за ідентифікацію окремої з 17 технік: «Name Calling», «Doubt», «Causal Oversimplification», «Appeal to fear-prejudice», «Exaggeration», «Flag-Waving», «Black and White Fallacy», «Loaded Language», «Red Herring», «Minimisation», «Repetition», «Thought terminating Cliches», «Appeal to Authority», «Slogans», «Labeling», «Reductio ad hitlerum», «Whataboutism». Візуальне представлення результату здійснюється завдяки використанню методу LIME.

Крок 3 відповідає за виявлення об'єктів пропаганди та складається із пошуку множини об'єктів пропаганди, пошуку відповідних до знайдених об'єктів контекстних вікон та побудови множини важливості співвіднесення між використаними техніками пропаганди і знайденими об'єктами для тестового повідомлення. Під об'єктами пропаганди у поточному контексті розуміється не тільки пошук NER (за допомогою бібліотеки Stanza), а і семантично-близьких до NER слів-асоціацій, які знаходяться шляхом застосування моделі FastText.

Для дослідження ефективності запропонованого підходу до виявлення та класифікація технік і об'єктів пропаганди в текстових повідомленнях засобами машинного навчання розроблено відповідне програмне забезпечення. Результати, отримані у вигляді оцінки виявлення пропаганди, класифікованих технік пропаганди з об'єктами їх спрямування були порівняні з висновками експертів у сфері виявлення та протидії пропаганді з «Центру стратегічних комунікацій» [10].

На рис. 2 представлено приклад використання створеного програмного забезпечення, що демонструє його ефективність та спроможність у виявленні та класифікації пропагандистських технік та об'єктів пропаганди.

Множина іменованих сутностей з семантично-близькими об'єктами за аналізом контекстних залежностей:

україна, LOC, країна (0.66), практика (0.25), політика (0.22), техніка (0.20)  
 сполучений штатів, LOC, слісаний (0.29), західний (0.24)  
 європейський союз, LOC, фронт (0.23), говорити (0.18)  
 захід, LOC, західний (0.50), заява (0.26), зникати (0.23), захищати (0.20)

**Множина використаних об'єктів пропаганди у тексті:**

Західна допомога **Україні** – це лише фарс, створений для того, щоб виглядати, ніби вони підтримують нашу **країну**. Насправді, всі ці обіцянки та кредити не приносять реальної користі. Вони створюють ілюзію підтримки, тоді як наші люди продовжують страждати. Військова **техніка**, яку нам поставляють, – це застарілі моделі, що не здатні протистояти сучасним викликам. Західні **політики** роблять вигляд, що допомагають, але їхня допомога – це пустий звук. Подивімося на обіцянки **Сполучених Штатів**. Вони заявляють про мільярди доларів допомоги, але насправді ці кошти майже не доходять до **фронту**. Куди **зникають** ці гроші? Невідомо. І хоча бачимо лучні **заяви** про постави сучасної зброї, в реальності ми отримуємо лише старі моделі, які давно **спісані** на заході. Те саме стосується і допомоги від **Європейського Союзу**. Їхні обіцянки звучать голосно, але на **практиці** вони обмежуються символічними жєстами. Західні **країни** постійно **говорять** про важливість підтримки **України**, але де реальні дії? Де сучасна **техніка**, яка допомогла б нам **захищати** наші землі? Натомість ми отримуємо старе озброєння, яке не відповідає сучасним стандартам війни. Це показує справжнє ставлення **Заходу** до нашої боротьби. Вони просто намагаються заспокоїти власну совість, не вкладючи реальних зусиль у нашу перемогу.

**Сили прояву використаних технік та приналежність їм тематичних об'єктів:**

**Використані техніки:**

1. Doubt (Сумнів). Виражена на 0.689
2. Loaded Language (Заряджена мова). Виражена на 0.387
3. Minimisation (Мінімізація). Виражена на 0.511

**Оцінка приналежності об'єктів пропаганди технікам:**

{україна (LOC) Доповнена тематична множина: {країна, практика, політика, техніка}} **Оцінки приналежності:** [Doubt 0.78; Loaded Language 0.24; Minimisation 0.67]  
 {сполучений штатів (LOC) Доповнена тематична множина: {слісаний, західний}} **Оцінки приналежності:** [Doubt 0.64; Loaded Language 0.31; Minimisation 0.7]  
 {європейський союз (LOC) Доповнена тематична множина: {фронт, говорити}} **Оцінки приналежності:** [Doubt 0.17; Loaded Language 0.12; Minimisation 0.39]  
 {захід (LOC) Доповнена тематична множина: {західний, заява, зникати, захищати}} **Оцінки приналежності:** [Doubt 0.53; Loaded Language 0.4; Minimisation 0.09]

**Рис. 2. Приклад використання розробленого застосунку для класифікації використаних технік та об'єктів пропаганди**

В ході навчання машинних моделей, що відповідають за класифікацію використаних технік, було досягнуто значень за метрикою Ассгасу від 0.82 до 0.97. Більш детально дані дослідження наведені на рис. 3.

Запропонований підхід виявлення і класифікації технік пропаганди та відповідних технікам об'єктів забезпечує виявлення пропаганди з точністю 0.98, що у порівнянні з [9] на 0.037 підвищує ефект виявлення пропаганди у тексті, а техніки пропаганди дозволяє класифікувати з точністю від 0.82 до 0.97, що також переважає відомі аналогії. Ще однією значною перевагою використання такого підходу полягає у поясненості отриманих результатів

та можливості бачити результат комплексно: як загальну оцінку рівня пропаганди у тексті, так і класифікацію використаних технік спільно із множиною об'єктів пропаганди, на які спрямовані використані техніки із оцінками відповідності до використаних технік.

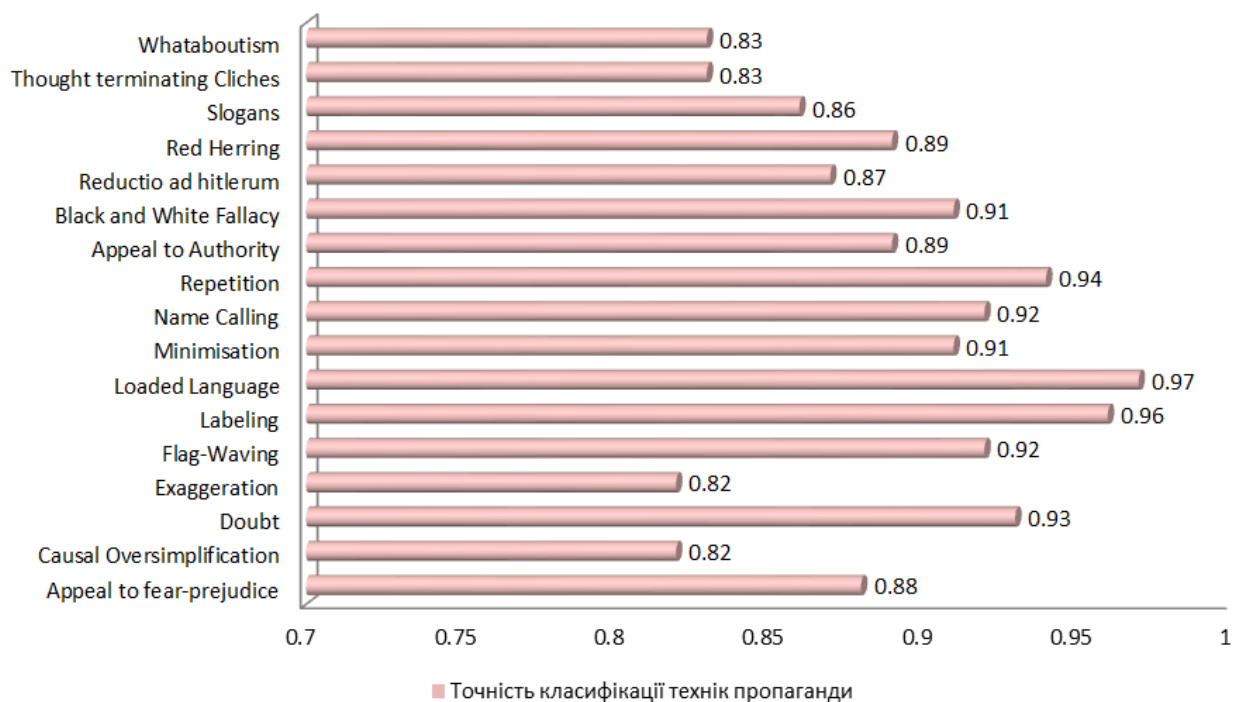


Рис. 3. Точність класифікації використаних технік

### Висновки

У статті запропоновано підхід до виявлення та класифікація технік і об'єктів пропаганди в текстових повідомленнях засобами машинного навчання, що полягає у виконанні ряду послідовних кроків, яке забезпечує як виявлення застосування технік в цілому, так і виконання класифікації застосованих технік та виявлення об'єктів, на які спрямовані класифіковані техніки пропаганди.

Для виявлення застосованих технік пропаганди було використано гібридну модель машинного навчання на основі об'єднання архітектур ViLSTM та шарів архітектури трансформер. Застосоване поєднання забезпечило поглиблене розуміння текстового контенту та сприяло підвищенню виявлення пропаганди на 0.037 в порівнянні з відомими аналогами. Для класифікації технік пропаганди запропоновано як класифікація застосованих технік, так і візуалізація отриманих результатів з використанням алгоритму LIME. Використовується множина моделей машинного навчання, де за класифікацію кожної техніки відповідає окрема навчена модель машинного навчання на базі архітектури трансформерів, а саме BERT-подібні моделі. Таке використання дозволяє класифікувати застосовані техніки з мінімальною оцінкою Ассурасу 0.82. Реалізоване виявлення пропагандистських об'єктів дозволяє знаходити не лише на кого спрямована пропаганда, а і на що здійснюється її спрямування в розрізі використаних класифікованих технік. Для інтерпретованості та наочності також забезпечено візуалізацію результатів.

Запропонований підхід сприяє виконанню Цілей сталого розвитку ПРООН шляхом автоматизації процесу виявлення та класифікації технік пропаганди з їх об'єктами. Зокрема, виявлення та класифікація технік і об'єктів пропаганди за допомогою методів машинного навчання сприяють досягненню Цілі сталого розвитку ООН № 16 шляхом підвищення прозорості інформаційного простору та зміцнення інституційної довіри, а також Цілі сталого розвитку ООН № 4 через розвиток медіаграмотності та критичного мислення серед населення, що дозволяє ефективно протидіяти дезінформації.

### Список використаної літератури

1. Ahmad P.N., Yuanchao L., Aurangzeb K. et al. Semantic web-based propaganda text detection from social media using meta-learning. SOCA. 2024. Vol. 11761. С. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11761-024-00422-x>.
2. Malik M.S.I., Imran T., Mona Mamdouh J. How to detect propaganda from social media? Exploitation of semantic and fine-tuned language models. *PeerJ Computer Science*. 2023. Vol. 9. e1248. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1248>.

3. Kovalchuk O., Slobodzian V., Sobko O. et al. Visual Analytics-Based Method for Sentiment Analysis of COVID-19 Ukrainian Tweets. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2023. Vol. 149. С. 591–607.
4. Krak I., Zalutska O., Molchanova M., Mazurets O., Bahrii R., Sobko O., Barmak O. Abusive Speech Detection Method for Ukrainian Language Used Recurrent Neural Network. *CEUR Workshop Proceedings*. 2024. Vol. 3688. С. 16–28. <https://doi.org/10.31110/COLINS/2024-3/002>.
5. Zalutska O., Molchanova M., Sobko O., Mazurets O., Pasichnyk O., Barmak O., Krak I. Method for Sentiment Analysis of Ukrainian-Language Reviews in E-Commerce Using RoBERTa Neural Network. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Vol. 3387. С. 344–356.
6. Молчанова М.О., Залуцька О.О., Бармак О.В. Метод інтелектуального аналізу тональності текстів. *Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Глушковські читання»*. Київ, 2023. С. 113–116.
7. Ahmad P.N. Robust Benchmark for Propagandist Text Detection and Mining High-Quality Data. *Mathematics*. 2023. Vol. 11. С. 2668.
8. Przybyla P. Long Named Entity Recognition for Propaganda Detection and Beyond. *Proceedings of the International Conference of the Spanish Society for Natural Language Processing*. 2023.
9. Інформаційна технологія розпізнавання пропаганди, фейків та дезінформації у текстовому контенті на основі методів NLP та машинного навчання. 2024. URL: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A11%3A14025707/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A178891833&crI=c> (дата звернення: 24.11.2024).
10. Центр стратегічних комунікацій 2024. URL: <https://spravdi.gov.ua/> (дата звернення: 24.11.2024).

#### References

1. Ahmad, P. N., Yuanchao, L., Aurangzeb, K., et al. (2024). Semantic web-based propaganda text detection from social media using meta-learning. *SOCA, 11761*, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11761-024-00422-x>.
2. Malik, M. S. I., Imran, T., & Mona Mamdouh, J. (2023). How to detect propaganda from social media? Exploitation of semantic and fine-tuned language models. *PeerJ Computer Science, 9*, e1248. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1248>.
3. Kovalchuk, O., Slobodzian, V., Sobko, O., et al. (2023). Visual analytics-based method for sentiment analysis of COVID-19 Ukrainian tweets. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 149*, pp. 591–607.
4. Krak, I., Zalutska, O., Molchanova, M., Mazurets, O., Bahrii, R., Sobko, O., & Barmak, O. (2024). Abusive speech detection method for Ukrainian language used recurrent neural network. *CEUR Workshop Proceedings, 3688*, pp. 16–28. <https://doi.org/10.31110/COLINS/2024-3/002>.
5. Zalutska, O., Molchanova, M., Sobko, O., Mazurets, O., Pasichnyk, O., Barmak, O., & Krak, I. (2023). Method for sentiment analysis of Ukrainian-language reviews in e-commerce using RoBERTa neural network. *CEUR Workshop Proceedings, 3387*, pp. 344–356.
6. Molchanova, M. O., Zalutska, O. O., & Barmak, O. V. (2023). Metod intelektualnoho analizu tonalnosti tekstiv [Intellectual text sentiment analysis method.]. *Materialy XII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Hlushkovski chytannia»*, Kyiv, pp. 113–116 [in Ukrainian].
7. Ahmad, P. N. (2023). Robust benchmark for propagandist text detection and mining high-quality data. *Mathematics, 11*, 2668.
8. Przybyla, P. (2023). Long named entity recognition for propaganda detection and beyond. *Proceedings of the International Conference of the Spanish Society for Natural Language Processing*.
9. Informatsiina tekhnolohiia rozpoznavannia propahandy, feikiv ta dezinformatsii u tekstovomu kontenti na osnovi metodiv NLP ta mashynnoho navchannia [Information technology for recognizing propaganda, fake news, and disinformation in text content based on NLP methods and machine learning] (2024). URL: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A11%3A14025707/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A178891833&crI=c> (Accessed: November 24, 2024) [in Ukrainian].
10. Tsentr stratehichnykh komunikatsii [Strategic Communications Center]. (2024). URL: <https://spravdi.gov.ua/> (Accessed: November 24, 2024) [in Ukrainian].

**П. І. САГАЙДА**

доктор технічних наук, доцент,  
професор кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID: 0000-0002-4700-8160

**О. А. КОСТІКОВ**

кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID: 0000-0003-3503-4836

**С. К. ДОБРЯК**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»  
ORCID: 0009-0005-9108-0812

## МЕТОД ЗАСТОСУВАННЯ АГЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БАГАТОАГЕНТНІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

Стаття присвячена розробці методу застосування агентів штучного інтелекту для автоматизації інтелектуального аналізу даних (ІАД) з використанням векторних та графових баз даних для накопичення відомостей про застосовувані конвеєри обробки та пошуку схожих кейсів обробки даних і відповідних ланцюгів застосування алгоритмічного забезпечення етапів аналізу та витягу моделей з даних. У роботі проаналізовані можливості та сучасний стан інтеграції агентів ШІ із великими мовними моделями (LLM), що дозволяє значно розширити функціональність агентів та забезпечити автоматизацію складних процесів ІАД. Запропонований у даній роботі підхід базується на сумісному використанні результатів онтологічного моделювання предметної області ІАД, що дозволяє обмежити або уточнити рішення, які приймаються агентами штучного інтелекту на відповідних етапах загального процесу, що автоматизується, та графових баз даних (Knowledge Graphs) для накопичення знань про успішні кейси обробки даних. Ключові результати дослідження включають: розробку методології створення багатоагентних систем із спеціалізованими агентами для кожного етапу процесу ІАД; використання векторних баз даних для пошуку подібних кейсів обробки на основі вбудовувань запитів; автоматизацію використання онтологічних моделей предметної області як контексту для виконання завдань агентами ШІ; ітеративний підхід до обробки даних із можливістю вдосконалення на основі накопиченого досвіду. У роботі представлено результати структурно-функціонального аналізу запропонованої архітектури системи та фрагмент графової бази даних для збереження знань про кейси обробки даних. Також обговорено переваги та обмеження застосування агентів ШІ. Висновки підкреслюють практичну цінність запропонованого підходу для підвищення ефективності ІАД в умовах зростаючої складності обробки великих обсягів даних.

**Ключові слова:** штучний інтелект, агент, інтелектуальний аналіз даних, бази даних та знань, онтологічна модель.

**P. I. SAHAIDA**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Digital Technologies and Design  
and Analytical Solutions  
LLC "Technical University "Metinvest Polytechnic"  
ORCID: 0000-0002-4700-8160

**O. A. KOSTIKOV**

Candidate of Physical-Mathematical Science, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Digital Technologies and Design  
and Analytical Solutions  
LLC "Technical University "Metinvest Polytechnic"  
ORCID: 0000-0003-3503-4836

S. K. DOBRIAK

Candidate of Technical Science,

Associate Professor at the Department of Digital Technologies and Design  
and Analytical Solutions

LLC "Technical University "Metinvest Polytechnic"

ORCID: 0009-0005-9108-0812

## METHOD OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AGENTS IN A MULTI-AGENT SYSTEM FOR AUTOMATION OF INTELLIGENT DATA ANALYSIS PROCESSES

*The article is devoted to the development of a method of using artificial intelligence agents for automation of intelligent data analysis (IAD) using vector and graph databases to accumulate information about the processing pipelines used and search for similar data processing cases and the corresponding chains of application of algorithmic support for the stages of analysis and extraction of models from data. The paper analyzes the possibilities and current state of integration of AI agents with large language models (LLM), which allows significantly expanding the functionality of agents and ensuring the automation of complex IAD processes. The approach proposed in this paper is based on the combined use of the results of ontological modeling of the AI domain, which allows limiting or refining the decisions made by artificial intelligence agents at the relevant stages of the general automated process, and graph databases (Knowledge Graphs) for accumulating knowledge about successful data processing cases. The key results of the research include: development of a methodology for creating multi-agent systems with specialized agents for each stage of the AI process; use of vector databases to search for similar processing cases based on query embeddings; automation of the use of ontological models of the domain as a context for performing tasks by AI agents; iterative approach to data processing with the possibility of improvement based on accumulated experience. The paper presents the results of the structural and functional analysis of the proposed system architecture and a fragment of a graph database for storing knowledge about data processing cases. The advantages and limitations of the use of AI agents are also discussed. The conclusions emphasize the practical value of the proposed approach for improving the efficiency of AI in the face of the growing complexity of processing large amounts of data.*

**Key words:** artificial intelligence, agent, data mining, databases and knowledge, ontological model.

### Постановка проблеми

Швидкий розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) та зростання обсягів даних створюють потребу в нових нетривіальних інструментах для ефективної обробки даних та витягу з даних знань про роботу предметних областей. В даний час існує проблема, яка вимагає постійних досліджень для свого вирішення: науко-технічні та математичні доробки у галузі інтелектуального аналізу даних та машинного навчання, сучасні програмні комплекси та середовища розробки пропонують велику кількість різноманітних методів та алгоритмів обробки даних для розв'язання задач витягу з даних моделей функціонування предметних областей, або візуалізації даних для виявлення тенденцій та підтримки прийняття рішень аналітиками або особами, що такі рішення приймають. Традиційні та нещодавно запропоновані методи та алгоритми аналізу даних в різноманітних джерелах (сховищах даних, корпусах документів підприємств та організацій, корпоративних та соціальних мережах) часто не справляються з великими обсягами неструктурованої інформації та складними запитам, або мають суттєву специфіку свого застосування, яка залежить від режимів роботи алгоритмів обробки, переліку і послідовності їх застосування, властивостей наборів даних, які обробляються (типи даних, об'єми розглянутих кейсів, щільності розподілення значень параметрів, відсутні дані тощо). Раніше автором було запропоновано рішення [1, С. 314-326] з організації застосунків для інтелектуальної обробки даних, яке базується на онтологічному моделюванні предметної області аналізу даних та пов'язаних з реалізацію відповідних алгоритмів обробки скриптів і фрагментів програмного коду, які для цієї реалізації використовують виклики функцій різних бібліотек (на прикладі бібліотек Python та функцій MatLAB). Експериментальні дослідження показали деяку ефективність такого підходу, за рахунок часткової автоматизації процесу аналізу даних, який в загальному випадку вимагає залучення спеціалістів високого рівня підготовки та великого обсягу розвідувального аналізу і ітеративних процедур підготовки даних і перевірки якості отриманих моделей. Однак більший ступінь автоматизації при такому підході, тобто тільки на основі онтологічних моделей в форматі OWL/RDF та резонерів, які дозволяють обирати той чи інший метод обробки на основі обмеженого набору формалізованих правил і умов, практично неможливий, оскільки вимагає на багатьох проміжних етапах прийняття рішень про обрання раціонального методу обробки, використання конвеєрів обробки (pipelines), проведення підбору гіперпараметрів моделей, які навчаються на даних. Крім того, необхідно забезпечити накопичення не тільки експертних знань про процес, але і результатів обробки наборів даних з урахуванням їх властивостей, відомостей про ланцюги етапів обробки, про результати, у вигляді оцінок значень відповідних метрик. Крім того, необхідно виконувати моніторинг публікацій та поповнювати з них цю базу знань. Такий комплексний підхід може бути забезпечений використанням агентів штучного інтелекту, кожен з яких повинен працювати на відповідному етапі процесу та мати необхідну спеціалізацію, використовуючи при

цьому можливості великих мовних моделей загального призначення [2]. Такий підхід дозволяє вирішити проблему значної автоматизації складного процесу інтелектуального аналізу даних, але потребує розробки методу та технології своєї реалізації.

#### Формулювання мети дослідження

Мета дослідження: розробити метод та технологію організації багатоагентних програмних комплексів на основі агентів штучного інтелекту, інтегрованих з великими мовними моделями (Large Language Models – LLM), та баз даних і знань про кейси обробки даних, для автоматизації виконання завдань у сфері обробки даних та розв'язання задач інтелектуальної діяльності.

**Завдання, які потрібно виконати для досягнення даної мети:** проаналізувати архітектуру та функціонал агентів ШІ, сучасні доробки в галузі теорії та практики організації і застосування агентних систем; розглянути загальний підхід до інформаційної підтримки інтелектуального аналізу даних на основі бази знань про методи, алгоритми та процеси такої діяльності; запропонувати метод та технологію організації багатоагентних програмних комплексів на основі агентів штучного інтелекту, які дозволять автономну інформаційну підтримку та автоматизацію цієї діяльності з застосуванням можливостей LLM та з урахуванням правил і обмежень онтологічних моделей предметних областей.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз архітектури сучасних технічних рішень стосовно багатоагентних систем на основі агентів штучного інтелекту показав наступне. Суттєвим досягненням сучасної науки про штучний інтелект та великою відмінністю від багатоагентних систем попередніх поколінь є інтеграція агентів ШІ з великими мовними моделями [2, 3]. Інтеграція агентів ШІ з LLM відкриває нові можливості для розширення їхньої функціональності та переліку задач, які вони можуть розв'язувати [3, 4]. Особливістю цього підходу є наступні ознаки агентів ШІ:

- взаємодія з LLM для виконання завдань: агент може передавати LLM текстові запити, а LLM генерує відповіді, які агент використовує для прийняття рішень або виконання завдань;
- передача контексту: агент може передавати LLM додаткову інформацію про контекст завдання, щоб допомогти їй генерувати більш точні та релевантні відповіді;
- спільне використання знань: LLM може служити розширеною базою знань для агента, надаючи доступ до великих обсягів накопиченої під час навчання LLM інформації та знань, які можуть бути використані для вирішення складних завдань агентом в конкретній предметній області.

Агенти штучного інтелекту, які інтегровані з великими мовними моделями, відкривають нові можливості для ефективного пошуку та аналізу інформації. Дуже корисним в процесі автоматизації інтелектуальної обробки та аналізу даних є спроможність агентів узагальнювати дані та виявляти відношення між даними, таких як причинно-наслідкові зв'язки, кореляції, аналогії тощо. Це дозволяє автоматизувати створення онтологічних моделей про функціонування предметних областей, створювати графові бази знань, які також використовуються в процесах підвищення ефективності обробки даних засобами LLM, в рамках технології retrieving augmented generation (RAG), а саме її різновиду GraphRAG.

Перевагами використання агентів ШІ, в тому числі при пошуку даних в зовнішніх джерелах, є продуктивність і швидкість виконання завдань, за рахунок взаємодії та паралельного виконання окремих етапів, підвищення точності результатів завдяки використанню складних алгоритмів та їх комплексування. Додатковою перевагою є розширення діапазону можливих завдань та підвищення їх складності (агенти в багатоагентному середовищі здатні знаходити більш точні відповіді на складні запити, від пошуку інформації до її аналізу та узагальнення, генерування програмного коду та його виконання з використанням консолі як інструменту).

Для виконання завдань, поставлених в даній роботі, було проаналізовано найбільш перспективне на даному етапі рішення з організації застосунків для інтелектуальної обробки даних, яке базується на онтологічному моделюванні предметної області аналізу даних та пов'язаних з реалізацію відповідних алгоритмів обробки скриптів і фрагментів програмного коду, які для цієї реалізації використовують виклики функцій різних бібліотек (наприклад бібліотек Python та функцій MatLAB). У [1, с. 316-320] було використано компоненти інформаційної системи (ІС) для інтелектуального аналізу обробки даних (ІАД) на основі інженерії знань, що забезпечують вибір близьких до оптимальних (для конкретного набору даних з визначеними характеристиками) методів ІАД. Розроблено алгоритмічне забезпечення КС для ІАД, яке функціонує на основі методів інженерії знань, зокрема: онтологічних моделей, представлених мовою OWL DL, для методів і алгоритмів обробки даних, програмних компонентів для проведення ІАД, технологій і форматів обміну даними; правил застосування й обмеження використання методів і засобів обробки даних, а також технологій обміну даними, сформульованих мовою SWRL. Принцип функціонування даної ІС для ІАД полягає: у формуванні запитів до сховищ даних, результатом яких є вибірки даних для проведення ІАД і отримання залежностей; у формуванні запитів до сховища знань, для одержання відомостей про відповідні алгоритми для обробки даних, із зазначенням вагових коефіцієнтів для оцінювання ступеня довіри до результатів обробки; у формуванні запитів до сховища знань, для одержання відомостей про відповідні (доступні) програмні компоненти, що реалізують необхідну функціональність для обробки даних, і релевантних технологій

обміну даними для доступу до даної функціональності. За результатами запитів до сховища знань модуль ІС формує скрипти (рядки підключення до компонентів), з урахуванням отриманих результатів, забезпечує їх виконання й приймання результатів у вигляді витягнутих залежностей (моделей) з вибірок експериментальних даних. Після отримання результатів ІАД у вигляді здобутих з даних моделей, компоненти ІС для ІАД забезпечують агрегацію результатів у вигляді ансамблю моделей, що близькі до визначених метрик. Онтологічна модель предметної області «Інтелектуальний аналіз даних», розроблена в рамках рішення, яке розглядається, має суттєву теоретичну і практичну цінність. Особливості її організації надають можливість її верифікації та поповнення. Однак запропоноване технічне рішення має значні недоліки, а саме: має потребу у постійному залученні фахівців високого рівня; не враховує особливості наборів даних, що обробляються; погано локалізується до конкретної предметної області; немає автоматизованого пошуку в літературних джерелах; немає бази знань за результатами попередньої своєї діяльності, та ін.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Суттєвим розвитком підходу до створення ІС для ІАД, який базується на впровадженні спеціалізованих баз знань, є розробка методу, який забезпечить діяльність в рамках ІС багатьох агентів штучного інтелекту з залученням LLM, з можливістю приймати рішення на основі ланцюгів суджень та поповнення баз знань успішними кейсами застосування алгоритмів і їх параметрів.

На рисунку 1 наведено діаграму SADT (structured analysis and design technique) [5] для предметної області «Реалізація процесу інтелектуальної обробки даних з використанням агентів штучного інтелекту». Перевагою такого моделювання та розробки багатоагентних систем для автоматизації розглянутого процесу є використання підходу IPO (Input-Processing-Output), який наразі вважається найбільш ефективним в даній галузі [6]. Крім того, використання онтологічної моделі «Інтелектуальна обробка даних» на мові OWL/RDF з використанням виразів дескриптивної логіки [7] надає можливість, при реалізації активності A5, додати обмежень та описати явні знання про процеси обробки, отримані від аналітиків даних та експертів в предметній області. Онтологічна модель повинна використовуватись Агентом побудови та виконання скриптів та Агентом-аналітиком результатів обробки даних, у вигляді контексту, доданого до визначень їх функціональності [8]. Також в процесі автоматизації приймає участь «Агент-адміністратор векторної СУБД», який відповідає за взаємодію, шляхом виконання відповідних запитів, з векторною базою даних [9] (наприклад, під управлінням СУБД Feiss або Weavate). Векторна база даних слугує сховищем для накопичених відомостей про кейси обробки даних, які структуровано та деталізовано описані у графовій базі даних, або KG, але отримали, з використанням переднавченої Large Language Model (LLM), значення вбудовувань (embeddings) [10], тобто значення координат у багатовимірному семантичному просторі. Аналогічно вхідні запити на виконання обробки даних, з описами наборів та вимог до результатів, отримують значення вбудовувань, що дозволяє у векторній базі виконати пошук схожих кейсів. Відомості про методи та алгоритми обробки для цих схожих кейсів відповідний агент здобуває з графової бази даних та надсилає агенту («Агент побудови та виконання скриптів»), який виконує відповідну обробку набору даних (активність A5). При цьому контекстом опису функціональності цього агента слугує онтологічна модель «Інтелектуальна обробка даних» на OWL/RDF, яка вказує на формалізовані обмеження процесу та особливості конкретної предметної області, для якої згенерований набір даних, що оброблюється.

У наступній активності A6 агент-аналітик результатів обробки даних виконує критичний аналіз результатів обробки даних, передусім, на відповідність вимогам, які були висунуті у якості завдання на обробку. Вихідним потоком даних, у випадку задовільного результату, є «Узгоджені результати: закінчення процесу обробки та запит на поповнення KG», тобто результати успішної обробки фіксуються у графовій базі даних, шляхом виконання активностей A7-A9 (рисунок 2). У випадку неуспішної обробки даних «Неузгоджені результати: додавання контексту до вхідного запиту процесу» потрапляють на вхід активності A1, що дозволяє почати процес обробки даних знову, але тепер вже з урахуванням контексту неуспішної спроби. Це дозволяє забезпечити ітеративний режим обробки та досягти якісних результатів.

На рисунку 2 наведено діаграму SADT [5] для предметної області «Застосування графової бази даних для накопичення та пошуку відомостей про кейси обробки даних». Активності, наведені в діаграмі, реалізуються з застосуванням спеціалізованих агентів ШІ – «Агент пошуку текстів та контексту» (забезпечує взаємодію з аналітиком даних, який вводить відомості про кейси обробки, та пошук і здобуття даних про кейси з джерел документів, які також надаються аналітиком); «Агент обробки та взаємодії з онтологічними моделями» (забезпечує взаємодію з базою знань про інтелектуальну обробку даних з застосуванням, у якості інструменту, модулю обміну запитамі/даними з базами моделей і резонерами, наприклад, OWL/SWRL API Protégé [11]; «Агент взаємодії з KG» (відповідає за виконання запитів до графової бази даних (Knowledge Graph – KG), організованої для накопичення відомостей про кейси обробки даних).



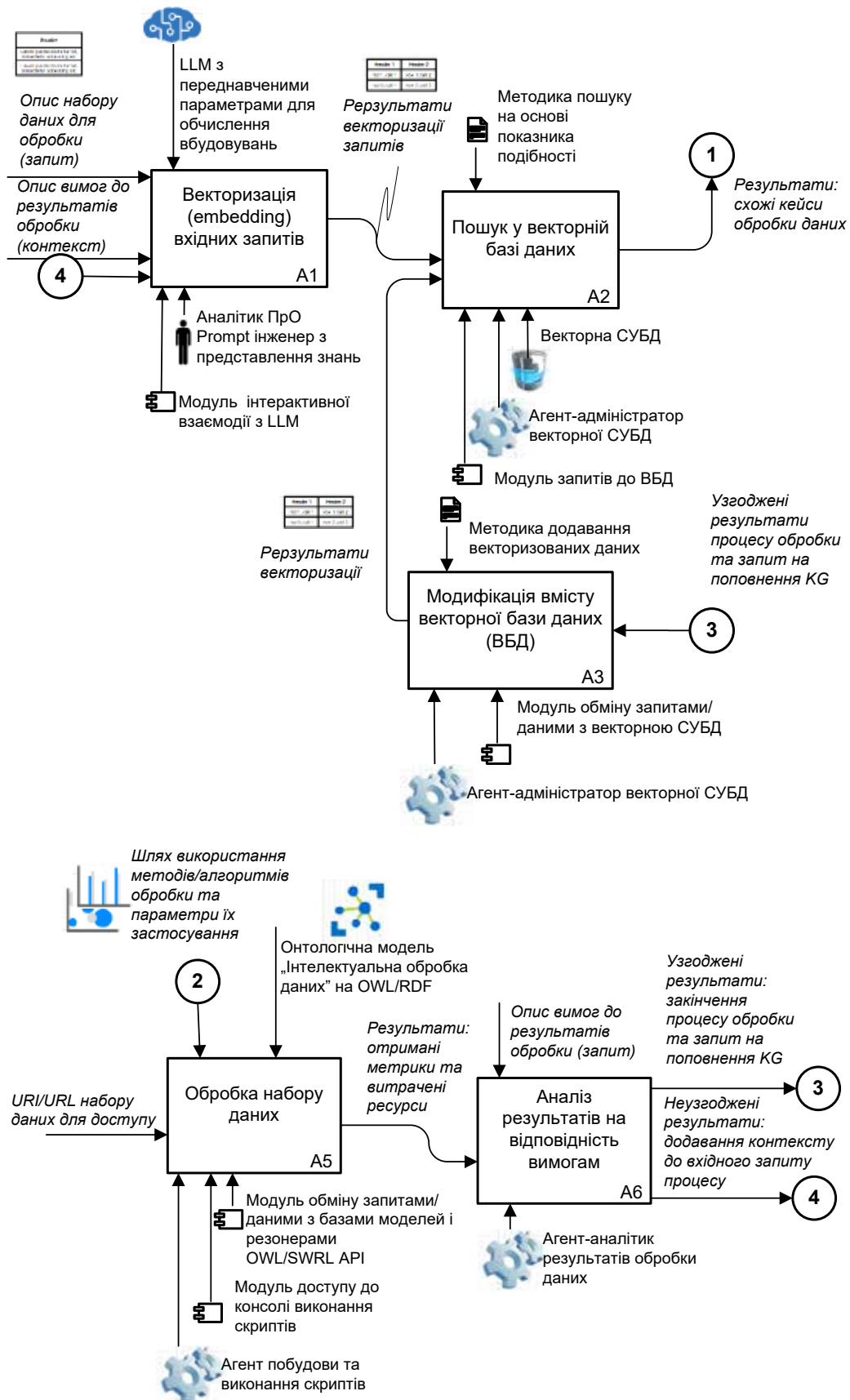


Рис. 1. Діаграма SADT для предметної області «Реалізація процесу інтелектуальної обробки даних з використанням агентів штучного інтелекту»

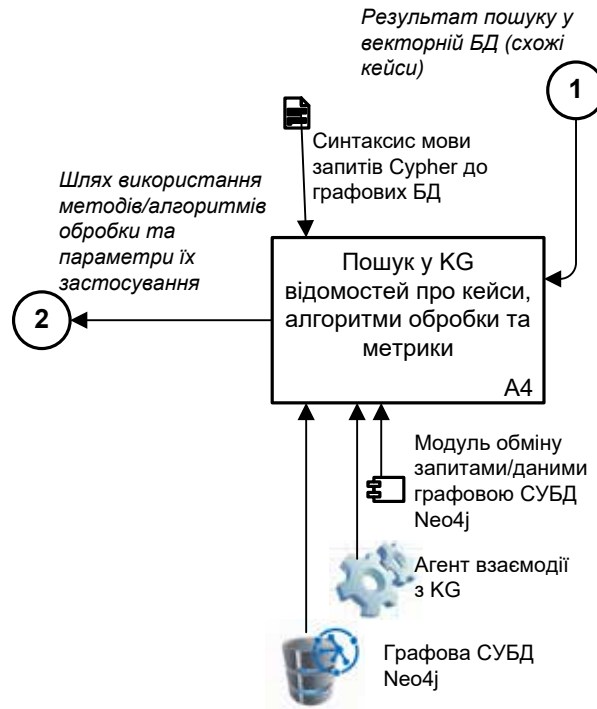


Рис. 1 (закінчення)

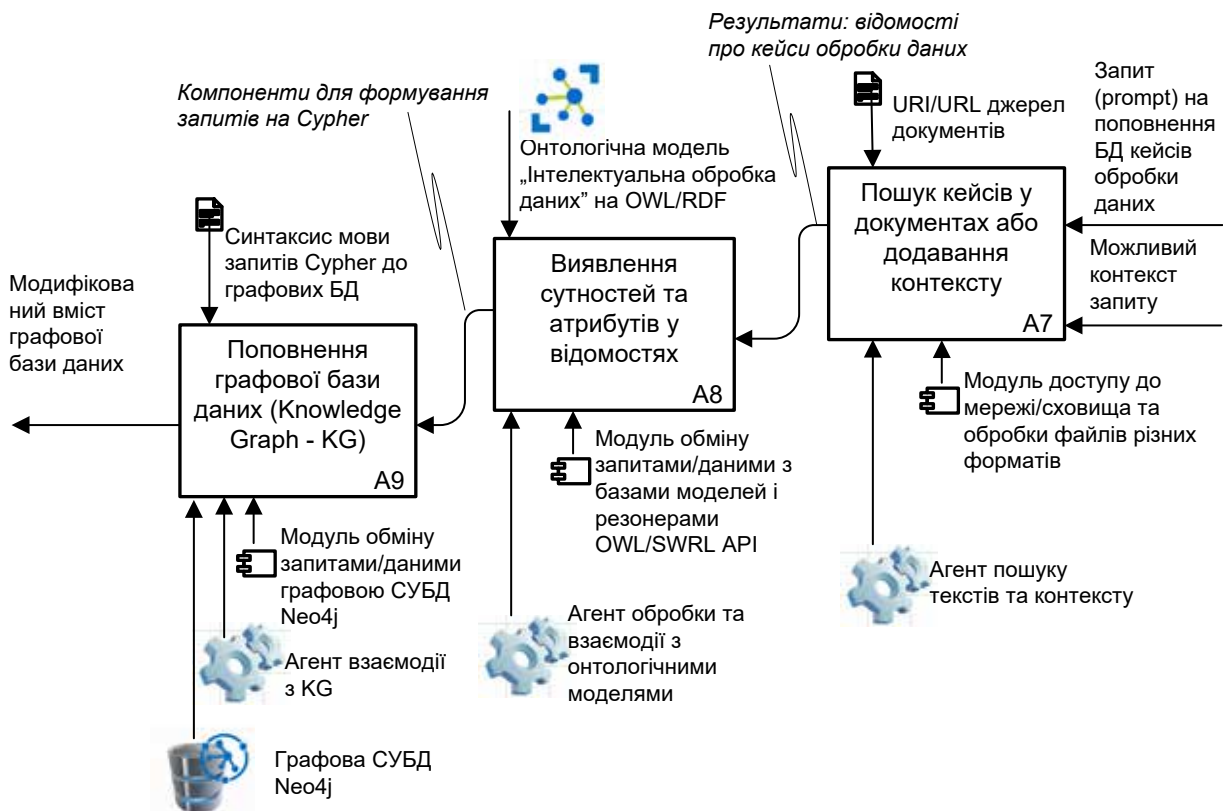


Рис. 2. Діаграма SADT для предметної області «Застосування графової бази даних для накопичення та пошуку відомостей про кейси обробки даних»

На рисунку 3 наведено формальний приклад фрагменту графової бази даних (Knowledge Graph – KG), організованої для накопичення відомостей про знайдені у літературних джерелах, уведені вручну на основі експертних

знань аналітиків даних, додані за результатами роботи запропонованого методу відомості про успішні та неуспішні кейси інтелектуальної обробки даних. KG вміщує вузли з мітками (labels): Case (приклад реалізації обробки даних), Dataset (набори даних, з відповідними атрибутами – властивостями наборів), Path (шляхи застосування методів та/або алгоритмів обробки), Method/Algo (методи та/або алгоритми обробки, з відповідними атрибутами – режимами і параметрами застосування), Result (результати обробки, з відповідними атрибутами – значеннями метрик на тестових вибірках даних). Такий KG забезпечує можливість пошуку відомостей про перелік та порядок застосування алгоритмів обробки даних для кейсів, які були визначені як схожі з описами набору даних та вимог до результатів обробки (машинного навчання), отриманих у вигляді запитів до запропонованої багатоагентної системи.

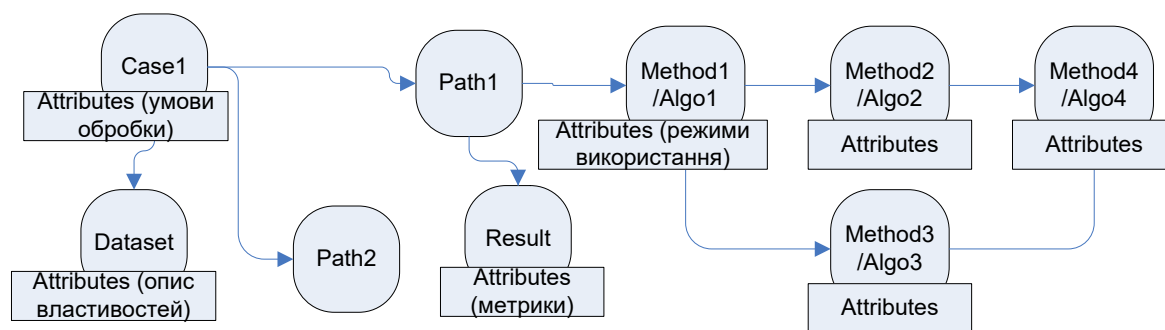


Рис. 3. Приклад фрагменту графової бази даних (Knowledge Graph – KG), організованої для накопичення відомостей про кейси обробки даних

Роботу декількох агентів штучного інтелекту у багатоагентному середовищі повинен оркеструвати окремий спеціалізований агент [12], який розподіляє загальну задачу ІАД на етапи, надсилає відповідні повідомлення іншим агентам, слідує за станами баз знань та векторної бази даних. Онтологічна модель предметної області, для її використання агентами ШІ як інструменту перевірки можливості виконання прийнятих рішень та частини контексту, в якому працює агент, повинна розроблятися з урахуванням сучасних підходів до верифікації суб'єктивних результатів концептуального моделювання, а саме – категоріально-онтологічного підходу [1]. Використання такого підходу забезпечує представлення загальної онтологічної моделі в категоріально-теоретичних термінах, що дозволяє накласти суворі математичні обмеження на об'єкти та морфізми категорії, які відповідають поняттям та відношенням у моделі предметної області. Завдяки використанню категоріально-онтологічного підходу можливо формалізувати суб'єктивні рішення, прийняті в процесі інженерії знань; використовувати об'єкти теорії категорій як високорівневі шаблони проектування, та забезпечити верифікацію результатів онтологічного моделювання.

#### Висновки

1. Агенти штучного інтелекту, інтегровані з великими мовними моделями, є потужним інструментом для автоматизації інтелектуальної обробки даних. Відповідні технології використання агентів базуються на їх спроможності витягати вагомий сутності та ключові показники, виявляти різноманітні відношення між даними, такі як причинно-наслідкові зв'язки, кореляції, аналогії тощо. Однак, для успішного застосування агентів необхідно враховувати їхні обмеження та вирішувати пов'язані з ними етичні проблеми. 2. Розробка методу застосування агентів штучного інтелекту в багатоагентній системі для автоматизації процесів інтелектуального аналізу даних дозволила удосконалити існуючі підходи на основі баз знань про процеси та алгоритми обробки у вигляді онтологічних моделей, додавши можливості: використання векторної бази даних для пошуку схожих кейсів обробки на основі вбудовувань запитів на обробку та кейсів використання; графової бази знань для накопичення та пошуку відомостей про кейси і ланцюгу використання алгоритмів обробки, з відповідними атрибутами кожного етапу обробки; аналітичні можливості спеціалізований агентів штучного інтелекту, кожен з яких відповідає за окремий етап процесу ІАД; ітеративний процес обробки з можливістю повернення до початкового етапу з додаванням контексту до запиту на обробку; оркестрацію діяльності агентів та застосування ланцюгів суджень LLM для прийняття рішень на багатьох етапах ІАД.

#### Список використаної літератури

1. Tarasov O., Sahaida P., Podlesny S., Vasylieva L. Categorical-ontological approach to information support of educational activities. *Conference on History, Theory and Methodology of Learning: 3rd International (ICHTML 2022)*, Kryvyi Rih, Ukraine, SHS Web Conf., 2022. Vol. 142. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214203005>.
2. Devansh. An Overview of the AI Agent Landscape. URL : <https://medium.com/@machine-learning-made-simple/an-overview-of-the-ai-agent-landscape-9c92009a0a30> (дата звернення 20.11.2024).

3. Tomaz Bratanic. JSON-based Agents With Ollama & LangChain. URL : <https://medium.com/neo4j/json-based-agents-with-ollama-langchain-9cf9ab3c84ef> (дата звернення 20.11.2024).
4. Manpreet Singh. How to Build an AI Agent Army Using ChatGPT: An overview. URL : <https://medium.com/ai-advances/how-to-build-an-ai-agent-army-using-chatgpt-a-step-by-step-guide-e60b401c9599> (дата звернення 20.11.2024).
5. John Mylopoulos. Conceptual Modelling III. Structured Analysis and Design Technique (SADT). URL: <http://www.cs.toronto.edu/~jm/2507S/Notes04/SADT.pdf> (дата звернення 20.11.2024).
6. Kenny Vaneetvelde. Atomic Agents in Practice: Creating a Deep, Controllable, Multi-Agent Research System. URL : <https://medium.com/generative-ai/atomic-agents-in-practice-creating-a-deep-controllable-multi-agent-research-system-e004ad98fec5> (дата звернення 20.11.2024).
7. Stefan Heindorf, Lukas Blübaum, Nick Düsterhus, Till Werner, Varun Nandkumar Golani, Caglar Demir, and Axel-Cyrille Ngonga Ngomo. Evolearner: Learning description logics with evolutionary algorithms. In *Proceedings of the ACM Web Conference 2022*, pp. 818-828. 2022.
8. Satish Kumar. Question Generation AI Agent-Using LangGraph. URL : <https://medium.com/@satish-0612/question-generation-ai-agent-using-langgraph-16571ce337f6> (дата звернення 20.11.2024)
9. Vector database : веб-сайт. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vector\\_database](https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_database) (дата звернення 20.11.2024).
10. Ida Silfverskiöld. Working with Embeddings: Closed versus Open Source. Using techniques to improve semantic search. URL : <https://medium.com/towards-data-science/working-with-embeddings-closed-versus-open-source-39491f0b95c2> (дата звернення 20.11.2024).
11. A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems : Protégé. URL : <https://protege.stanford.edu/> (дата звернення 20.11.2024).
12. Anthony Alcaraz. Orchestrating a Swarm of AI Agents to Accomplish Complex Goals : A theoretical approach. URL : <https://medium.com/ai-in-plain-english/orchestrating-a-swarm-of-ai-agents-to-accomplish-complex-goals-a-theoretical-approach-57241b614b46> (дата звернення 20.11.2024).

#### References

1. Tarasov O., Sahaida P., Podlesny S., Vasylieva L. (2022). Categorical-ontological approach to information support of educational activities. *Conference on History, Theory and Methodology of Learning: ICHTML 2022*. Kryvyi Rih, Ukraine, SHS Web Conf., Vol. 142. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214203005>.
2. Devansh. (2024, November 20). *An Overview of the AI Agent Landscape*. Medium. <https://medium.com/@machine-learning-made-simple/an-overview-of-the-ai-agent-landscape-9c92009a0a30>.
3. Tomaz Bratanic. (2024, November 20). *JSON-based Agents With Ollama & LangChain*. Medium. <https://medium.com/neo4j/json-based-agents-with-ollama-langchain-9cf9ab3c84ef>.
4. Manpreet Singh. (2024, November 20). *How to Build an AI Agent Army Using ChatGPT: An overview*. Medium. <https://medium.com/ai-advances/how-to-build-an-ai-agent-army-using-chatgpt-a-step-by-step-guide-e60b401c9599>
5. John Mylopoulos. (2006). *Conceptual Modelling III. Structured Analysis and Design Technique (SADT)*. Preprints. <http://www.cs.toronto.edu/~jm/2507S/Notes04/SADT.pdf>.
6. Kenny Vaneetvelde. (2024, November 20). *Atomic Agents in Practice: Creating a Deep, Controllable, Multi-Agent Research System*. Medium. <https://medium.com/generative-ai/atomic-agents-in-practice-creating-a-deep-controllable-multi-agent-research-system-e004ad98fec5>.
7. Stefan Heindorf, Lukas Blübaum, Nick Düsterhus, Till Werner, Varun Nandkumar Golani, Caglar Demir, and Axel-Cyrille Ngonga Ngomo. (2022). Evolearner: Learning description logics with evolutionary algorithms. In *Proceedings of the ACM Web Conference 2022*, (818-828).
8. Satish Kumar. (2024, November 20). *Question Generation AI Agent-Using LangGraph*. Medium. <https://medium.com/@satish-0612/question-generation-ai-agent-using-langgraph-16571ce337f6>
9. Wikipedia. (2024, November 20). *Vector database*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Vector\\_database](https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_database) (дата звернення 20.11.2024).
10. Ida Silfverskiöld. (2024, November 20). *Working with Embeddings: Closed versus Open Source. Using techniques to improve semantic search*. Medium. <https://medium.com/towards-data-science/working-with-embeddings-closed-versus-open-source-39491f0b95c2>.
11. Protégé. (2024, November 20). *A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems*. <https://protege.stanford.edu/>.
12. Anthony Alcaraz. (2024, November 20). *Orchestrating a Swarm of AI Agents to Accomplish Complex Goals : A theoretical approach*. Medium. <https://medium.com/ai-in-plain-english/orchestrating-a-swarm-of-ai-agents-to-accomplish-complex-goals-a-theoretical-approach-57241b614b46>.

**М. В. СИДОРУК**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-1463-9556

**А. А. ГРИГОРОВА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-3286-1406

## КОНЦЕПЦІЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКОМ В ІТ-ПРОЄКТАХ

У статті представлено дослідження концепції управління ризиками в ІТ-проєктах, що є ключовим аспектом ефективного функціонування сучасних інноваційних підприємств. Актуальність теми обумовлена високою динамікою розвитку інформаційних технологій, збільшенням частки інвестицій у цій сфері та необхідністю адекватного реагування на невизначеність і потенційні загрози, що виникають у процесі реалізації ІТ-проєктів. Розглянуто основні етапи життєвого циклу інвестиційного проєкту, серед яких виділено передінвестиційну, інвестиційну та експлуатаційну стадії. Показано значущість підготовчого етапу, що включає розробку бізнес-плану, техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) та фінансового плану, який передбачає врахування всіх ризиків, пов'язаних із реалізацією проєкту. Уточнено визначення інвестиційного ризику як ймовірності часткової або повної втрати прогнозованого прибутку через вплив невизначених факторів.

Важливим аспектом дослідження є аналіз класифікації інвестиційних ризиків. Виділено ендогенні (внутрішні) та екзогенні (зовнішні) ризики, які впливають на досягнення поставлених цілей. До внутрішніх ризиків віднесено організаційні, фінансові, технічні та управлінські ризики, які можуть бути зменшені шляхом оптимізації внутрішніх процесів. Зовнішні ризики, включаючи політичні, економічні та соціальні, є менш контрольованими, але їх вплив може бути враховано за допомогою попереднього аналізу та створення резервів.

У статті запропоновано декілька стратегій управління ризиками: ухилення, зниження, передача та ухвалення. Кожна зі стратегій детально розглянута в контексті ІТ-проєктів, з урахуванням їх специфіки. Наголошено на важливості комбінування цих стратегій для досягнення максимальної ефективності. Особливу увагу приділено моделі управління ризиками в ІТ-проєктах, що включає етапи ідентифікації, якісного та кількісного аналізу, розробки плану дій, впровадження та моніторингу. Підкреслено роль економіко-математичних методів, а також інструментів прогнозування й аналізу даних у процесі прийняття рішень.

Практичне значення дослідження полягає у створенні підґрунтя для зниження ризиків у ІТ-проєктах через інтеграцію управлінських підходів із сучасними інформаційними технологіями. Запропоновані результати можуть бути використані керівниками ІТ-компаній для розробки стратегії управління ризиками, що сприятиме стабільності, прибутковості та конкурентоспроможності підприємств у довгостроковій перспективі. Результати роботи також підкреслюють необхідність регулярного аналізу ризиків, збору статистики та постійного вдосконалення підходів до управління з метою підвищення ефективності реалізації інвестиційних ІТ-проєктів.

**Ключові слова:** ризик, управління ризиком, ІТ-проєкт.

**M. V. SYDORUK**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Computer Systems and Networks  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-1463-9556

**A. A. HRYHOROVA**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Computer Systems and Networks  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-3286-1406

## CONCEPT OF RISK MANAGEMENT IN IT PROJECTS

The article presents a study of the concept of risk management in IT projects, which is a key aspect of the effective functioning of modern innovative enterprises. The relevance of the topic is due to the high dynamics of the development of information technologies, the increase in the share of investments in this area and the need to adequately respond

to uncertainty and potential threats that arise in the process of implementing IT projects. The main stages of the life cycle of an investment project are considered, among which the pre-investment, investment and operational stages are highlighted. The significance of the preparatory stage, which includes the development of a business plan, feasibility study (FEA) and a financial plan, which involves taking into account all risks associated with the implementation of the project, is shown. The definition of investment risk is specified as the probability of partial or complete loss of projected profit due to the influence of uncertain factors.

An important aspect of the study is the analysis of the classification of investment risks. Endogenous (internal) and exogenous (external) risks that affect the achievement of set goals are distinguished. Internal risks include organizational, financial, technical and managerial risks that can be reduced by optimizing internal processes. External risks, including political, economic and social, are less controllable, but their impact can be taken into account through preliminary analysis and the creation of reserves.

The article proposes several risk management strategies: avoidance, reduction, transfer and acceptance. Each of the strategies is considered in detail in the context of IT projects, taking into account their specifics. The importance of combining these strategies to achieve maximum efficiency is emphasized. Particular attention is paid to the risk management model in IT projects, which includes the stages of identification, qualitative and quantitative analysis, development of an action plan, implementation and monitoring. The role of economic and mathematical methods, as well as forecasting and data analysis tools in the decision-making process is emphasized.

The practical significance of the study is to create a basis for reducing risks in IT projects through the integration of management approaches with modern information technologies. The proposed results can be used by IT company managers to develop a risk management strategy that will contribute to the stability, profitability and competitiveness of enterprises in the long term. The results also emphasize the need for regular risk analysis, collection of statistics and continuous improvement of management approaches in order to increase the efficiency of the implementation of investment IT projects.

**Key words:** risk, risk management, IT project.

### Постановка проблеми

Серед значущих чинників ефективного розвитку економіки України виділяють результативну інвестиційну політику в ІТ-проектах, спрямовану на нарощування виробництва, збільшення державних доходів, становлення різних секторів і підприємств. Однією з першорядних стадій фірми, що має позитивну динаміку розвитку, є процес інвестування, який пов'язаний з деякою невизначеністю. Вірна оцінка продуктивності й інвестиційних ризиків є головним моментом на кожному кроці активної діяльності підприємства, що дозволяє негайно виявляти реакцію на сьогоднішній стан справ, потреби зовнішнього і внутрішнього середовища, вчасно коригувати прийняті до цього рішення [1].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженнями вимірювання інвестиційних ризиків та розробкою способів їх зниження займалися як вітчизняні, так і зарубіжні вчені. Серед вітчизняних виділяють роботи В. Вітлінського, П. Верченка, Т. Головача, Н. Демчука В. Лук'янової та ін. [2-7]. Серед зарубіжних вчених слід виділити роботи Р. Зайерсена, Б. Рейдара, С. Севіджа, Ф. Томаса, Д. Цвейдлера, С. Шольтеса, Д. Хаббарда [8-13].

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є огляд теоретичних основ ризиків інвестування в ІТ-проекти та визначення стратегії управління інвестиційними ризиками

### Викладення основного матеріалу дослідження

Реалізація будь-якого ІТ-проєкту пов'язана з вкладенням власних або позикових коштів. Для залучення інвестицій (незалежно від джерела) і розуміння доцільності вкладення власних коштів необхідно розробити інвестиційний проєкт. Він необхідний всім зацікавленим особам для оцінки вигоди від інвестування. Якісно складений інвестиційний проєкт допоможе швидше знайти фінансування, визначити точки зростання і слабкі місця, внести необхідні корективи. При розробці важливо спиратися на реальні цифри і факти, а не на власні припущення.

Інвестиційний проєкт – це економічне обґрунтування обсягів, термінів і доцільності фінансування будь-якого комерційного об'єкту. Також інвестиційним проєктом називають комплекс заходів для досягнення певного фінансового результату, що описаний в проєктно-кошторисній документації. Розробляється або самостійно ініціатором проєкту, або із залученням фахівців. Другий варіант кращий, якщо заплановано отримання інвестиційного кредиту [14].

Для класифікації інвестиційних проєктів використовують різні ознаки. За рівнем ризику їх поділяють на:

- безризикові;
- ризикові.

Перші характеризуються високою ймовірністю досягнення бажаних результатів.

Зазвичай це проєкти, які передбачають роботу за державним замовленням або участь у місцевих або регіональних програмах (з отриманням державного фінансування). Другі характеризуються високим ступенем невизначеності. Найчастіше це розробка нових технологій і створення виробництв.

По термінах реалізації інвестиційні проекти поділяються [14]:

- з короткостроковою перспективою (менше 5 років);
- середньострокові (5-15 років);
- з довгостроковою перспективою (понад 15 років).

За обсягами вкладень проекти поділяють на

- великі (понад \$ 1 млн);
- середні (до \$ 1 млн);
- малі (до \$ 100 000).

Цілі фінансових вкладень можуть бути різними: створення нового або модернізація існуючого виробництва, розширення асортименту або вихід на нові ринки, масштабування бізнесу тощо.

За масштабом проекти поділяються на [14]:

- народногосподарські, що впливають на економіку країни в цілому;
- регіональні;
- галузеві;
- місцеві (на рівні міста або населеного пункту).

За сферою реалізації проекти поділяються на комерційні, суспільно-значимі, науково-технічні (в тому числі венчурні) і екологічні.

Створення і втілення інвестиційного проекту проходить в 3 стадії [14]:

- передінвестиційна (розрахункова) стадія;
- інвестиційна (отримання фінансування) стадія;
- експлуатаційна стадія.

*Передінвестиційний етап.* Найважливіша частина будь-якого інвестиційного проекту – підготовча. Як правило, реалізація цього етапу вимагає від 0,7 до 1,5% від загальної суми вкладень. У цей час відбувається складання інвестиційного меморандуму, створення бізнес-плану, попереднього і повномасштабного ТЕО. Попереднє роблять, якщо необхідно опрацювати альтернативні варіанти (порівняти кілька майданчиків для розміщення майбутнього виробництва, вибрати з декількох технологій або схем фінансування тощо).

При описі діяльності підприємства вказують реєстраційні дані, галузь, розмір і структуру статутного капіталу, повні реквізити, детально описують перспективи розвитку, конкурентні переваги і стратегічних партнерів.

Найважливіше при розробці інвестиційного проекту – правильно відобразити грошові потоки і обґрунтувати повернення інвестицій (врахувати всі ризики).

На цьому ж етапі розробляється маркетингова стратегія, яка має на увазі планування методів просування продукції, каналів збуту, цінової політики, вивчення цільової аудиторії.

У фінансовому плані прописують джерела надходження коштів (власні, бюджетні, кредитні). До обов'язкових форм розрахунків при цьому відносять:

- грошовий потік (cashflow);
- графік виплати відсотків і основного боргу;
- прогнозна бухгалтерська звітність;
- розрахунок собівартості одиниці продукції.

Найважливіший розділ – визначення економічного ефекту. До обов'язкових для розрахунку показників відносяться наступні:

- рентабельність (загальна, продажів, власного капіталу, інвестицій);
- боргове навантаження (співвідношення виплат по кредитах до поточних доходів);
- ліквідність;
- окупність в роках (звичайна і з урахуванням дисконтування);
- внутрішня норма прибутковості;
- точка беззбитковості;
- ефективність (комерційна, для ініціатора і інвестора, бюджетна).

Найчастішими помилками стають ігнорування зміни вартості грошей у часі (не використовується дисконтування), недооцінка реального обсягу капітальних вкладень, неправильна оцінка обмежуючих факторів (сезонний характер виробництва або збуту, недостатність ресурсної бази), недопрацьовані розрахунки, завищення показників прибутковості.

Часто неправильно інтерпретують показники для різних учасників проекту і плутаються в розрахунку грошових потоків для ініціатора проекту, інвесторів та інших зацікавлених осіб.

*Інвестиційний етап.* На етапі фінансування відбувається отримання грошей (відразу всієї суми або траншами згідно з графіком). Це сама капіталомістка стадія, оскільки йде формування основних фондів.

Укладаються договори з постачальниками сировини, комплектуючих і устаткування, ведуться будівельні, монтажні та пусконаладжувальні роботи. Підписуються договори на електропостачання, водопостачання та постачання теплових ресурсів.

Інвестиції на цьому етапі становлять 70-90% загальної суми вкладень.

*Експлуатаційний етап.* Передбачає підтримку функціонування підприємства, що вийшов на проектну потужність і запустив виробничий цикл, до моменту виходу на самоокупність. Інвестиції (7-10% від загальної суми) йдуть на формування оборотного капіталу, покриття поточних витрат і виплату заробітної плати. На цьому етапі важливо контролювати виробничі процеси, дотримуватися запланованих параметрів випуску і збуту.

*Ліквідаційний етап.* При втіленні ідеї в життя необхідно регулярно аналізувати результати роботи і не пропустити момент, коли вичерпані можливості регулярного отримання доходу (спостерігається падіння прибутку або перевищення витрат над доходами). На даному етапі приймається рішення про закриття бізнесу, реорганізації, перепрофілювання або модернізації виробництва.

Часто досить усунути недоробки і негативні фактори, що заважають продуктивній роботі, щоб відстрочити настання даного етапу. По суті, він не є обов'язковим в циклі реалізації інвестиційного проекту

Ризики – невід'ємна частина інвестиційної діяльності. Вони завжди тим чи іншим чином беруть участь у формуванні прибутку організації. Менеджеру проекту для досягнення поставлених цілей необхідно розробити ефективну стратегію управління ризиками.

На сьогоднішній день немає одного загальноприйнятого визначення ризику. Це пов'язано з активним розвитком теорії ризиків і зі специфікою конкретних секторів економіки. Розглянемо визначення ризиків (табл. 1), представлені у вітчизняних і зарубіжних стандартах [15-18].

Таблиця 1

#### Визначення ризиків в залежності від галузі економіки

Стандарт	Визначення ризику
ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT) [15]	Вплив невизначеності на цілі.
ДСТУ ІЕС / ISO 31010: 2013 Управління ризиком. Методи загального оцінювання ризику [16]	Слідство впливу невизначеності на досягнення поставлених цілей.
РМBoK [17]	Невизначена подія або умова, яке в разі виникнення має вплив (позитивне чи негативне) щонайменше на одну з цілей проекту.
COSO ERM [18]	Імовірність виникнення подій, які можуть вплинути на досягнення стратегічних і бізнес-цілей.

*Джерело: розроблено автором на основі [15-18]*

Інвестиційні ризики, що виникають при виконанні інвестиційного проекту, можна визначити як ймовірність часткової або повної втрати прогнозованого проектного прибутку [19].

Виникнення інвестиційних ризиків нерозривно пов'язано з невизначеністю прогнозованих результатів. На практиці прийнято ототожнювати ризики і невизначеність. Однак ще Ф. Найт – автор першого наукового визначення ризику, запропонував розрізнити поняття «ризик» і «невизначеність». Ризик виникає в тому випадку, коли їхні дії можуть спричинити за собою кілька сценаріїв розвитку подій з відомим розподілом їх ймовірностей. У разі, коли розподіл невідомо, ситуація розцінюється як невизначеність [20].

Ризик інвестиційного проекту є мірою невпевненості в отриманні очікуваного рівня прибутковості при реалізації даного проекту. Метою аналізу проектних рішень є надання оцінки всім видам ризиків і визначення можливих шляхів їх зниження.

Розглянемо основні види інвестиційних ризиків. Наприклад, по етапах і фазах проектної діяльності виділяють ризики:

- доінвестиційної фази;
- інвестиційної фази;
- операційної фази тощо.

По можливості учасників проекту впливати на фактори ризику:

- внутрішні (ендогенні) ризики;
- зовнішні (екзогенні) ризики.

До екзогенних відносять політичні та форс-мажорні ризики. На виникнення ризикових ситуацій впливають численні зовнішні фактори – обставини, що стали першопричиною виникнення ризиків і потягли за собою низку несприятливих для бізнесу подій.

Залежно від зовнішніх чинників результат виникнення ризику (рис. 1) для залученого в процес або явище суб'єкта може спричинити за собою один з трьох наступних варіантів розвитку подій:

- відсутність результату;
- прибуток;
- збитки.





Рис. 1. Результат виникнення ризику [21]

Зовнішні фактори не мають залежності від дій суб'єкта, їх не можна змінити, але їх необхідно враховувати в процесі прийняття рішень, так як вони впливають на вибір стратегії управління ризиками.

Зовнішні ризики існують на всіх фазах і етапах проектної діяльності. Такі ризики не залежать від підприємства, тому їх слід враховувати не тільки для кожної конкретної організації, але і для групи схожих підприємств. Оцінку зовнішніх ризиків доцільно проводити централізовано із залученням зовнішніх і внутрішніх експертів шляхом встановлення відповідних рейтингів для всіх підприємств галузі.

Ендогенні інвестиційні ризики для кожного конкретного підприємства є суто індивідуальними, тому їх оцінку слід проводити фахівцями підприємства за допомогою внутрішньої методики.

Ризики діляться також на статичні та динамічні. Під статичними ризиками розуміють втрати реальних активів, що викликані нанесенням шкоди власності підприємства або ж незадовільним управлінням та організацією в цілому [21]. Динамічними називають ризики, які викликані зміною ринкової або політичної ситуації, а також коригуванням початкових управлінських рішень, що потягли за собою непередбачені зміни вартісної оцінки проекту. Слід зазначити, що такі зміни можуть принести не тільки втрати, а й додаткові доходи.

Види інвестиційних ризиків детально розглянуто Глібчуком В.М. у роботі [22] (рис. 2).

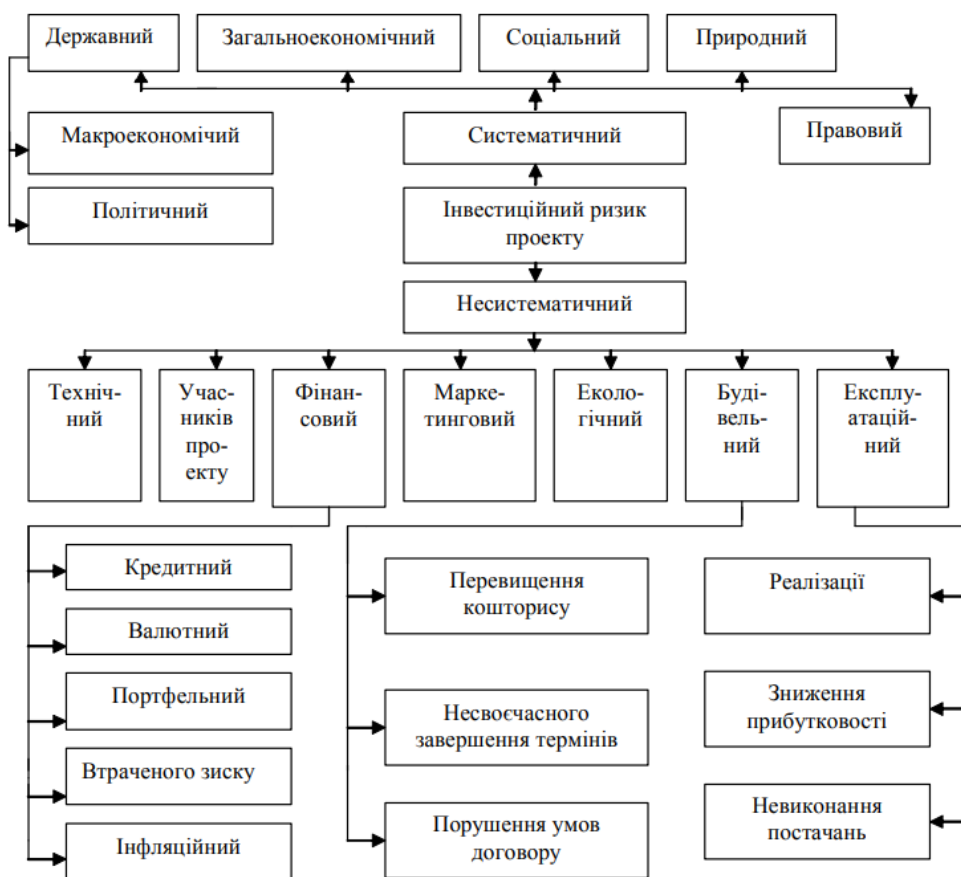


Рис. 2. Види інвестиційних ризиків [22]

Широко відомий підхід, який засновано на реальній практиці господарської діяльності, передбачає можливу наявність змішаних ризиків. Хоча ці ризики не знаходяться в межах якогось одного класифікаційного критерію, їх обов'язково повинні враховувати всі учасники проекту [23].

Головна мета роботи з ризиками – вибрати і застосувати вірну стратегію управління. Специфічність компанії та інвестиційного проекту впливають на практику управління проектними ризиками, збір і застосування статистичної інформації в певних обставинах.

Які існують ризики проекту та як краще їх мінімізувати можна з'ясувати за допомогою ретельного аналізу. Завданням оцінки є виявлення потенційно можливих ризиків і вивчення обставин, які їх провокують. З цією метою нерідко застосовують своєрідні логічні карти, які являють собою список питань, що допомагають визначити можливі ризики проекту (рис. 3).



Рис. 3. Модель логічної карти ризиків при виході нового продукту на ринок (фрагмент) [24]

У прикладі відображено головні ризики: недосягнення планових обсягів збуту за рахунок їх найменшого фізичного розміру (в натуральному вираженні), за рахунок меншої вартості, а також зниження норми прибутку через підвищення цін на сировину.

Результати діагностики дозволяють типізувати інвестиційні ризики по вагомості і можливим витратам, більш небезпечні ризики піддаються кількісному вивченню. Зв'язок між впливом істотних факторів і характеристиками продуктивності інвестиційного проекту встановлюється за допомогою кількісного вивчення.

Для кожного ризику можна підібрати одну стратегію або скомбінувати декілька. В результаті повинна бути готова основна стратегія і на випадок неефективності основної – резервна стратегія.

Для роботи з ризиками є кілька стратегій [25]:

- ухилення;
- зниження;
- передача;
- ухвалення.

Ухилення – вилучення небезпеки. Включає всі заходи, щоб захистити мети проекту від загрози. Можливо, доведеться змінити самі цілі – пом'якшити вимоги, потрібна додаткова інформація. Наприклад, якщо з'являється ризик зрівати терміни проекту, можна спробувати спростити продукт і скоротити кількість завдань.

Зниження – зниження ймовірності ризику або його негативних наслідків за допомогою профілактичних заходів. Приклад зниження – заздалегідь вибирати тільки досвідчених і перевірених учасників проекту та партнерів.

Передача – передача відповідальності за наслідки ризику третій стороні. Загроза все ще реальна, але усунути її належить іншим людям. Стратегія ефективна, але за прийнятий ризик доведеться виділити винагороду. Головні приклади ведення цієї стратегії – страхівка, гарантії виплат та гарантійне обслуговування.

Ухвалення – реагування на наслідки ризиків без втручання в сам проєкт. Коли виключити або знизити ризики проєкту неможливо, їх доводиться приймати – працювати з негативними подіями вже після того, як вони відбулися. Ухвалення може бути пасивним і активним. Пасивне є ігнорування подій ризику і екстрені заходи по усуненню наслідків. Активне прийняття – створення резерву ресурсів на випадок небезпеки. До резервних ресурсів належать, наприклад, гроші, час, завантаженість співробітників.

Управління ризиками (або ризик-менеджмент) – сукупність дій економічного, організаційного, технічного характеру, спрямованих на встановлення видів, факторів, джерел ризику, оцінку величини, розробку і реалізацію заходів щодо зменшення його рівня і запобігання можливих негативних наслідків.

Під управлінням ризиками розуміють один з найскладніших областей менеджменту, тому що при правильному застосуванні він є інструментом прийняття рішень і вимагає практичного досвіду в стратегічному, фінансовому, інвестиційному управлінні, страхової діяльності тощо. На сучасному етапі розвитку широке застосування отримала концепція управління інвестиційними ризиками компанії, що базується на економіко-математичних методах та застосування інформаційних технологій. Практичний досвід показує, що використання даної концепції дає можливість підвищити ефективність інвестиційних проєктів та можливість зміцнити стабільність до зовнішніх впливів.

Управління ризиками інвестиційного проєкту здійснюється за такими основними етапами (рис. 4).

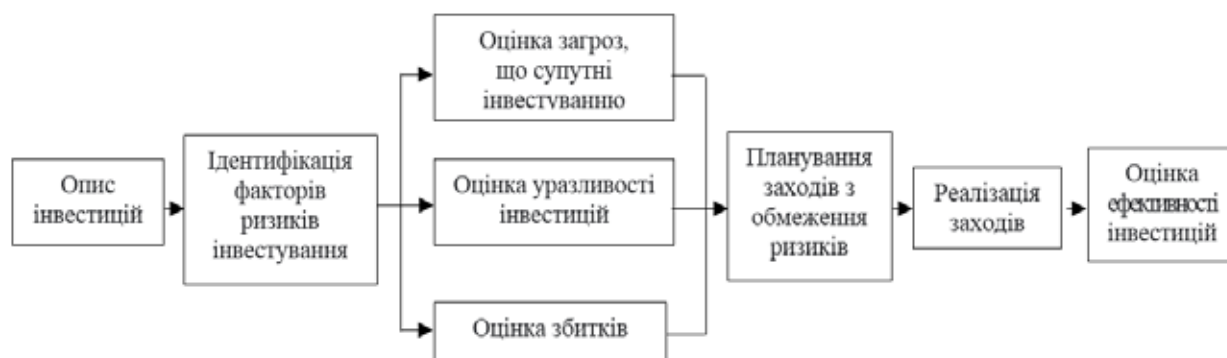


Рис. 4. Модель управління ризиками інвестиційного ІТ-проєкту [24]

Відповідно до запропонованої схеми, на етапі планування проєкту відбувається якісний і кількісний аналіз; на етапі реалізації проєкту мета фірми полягає в управлінні виявленими ризиками. Завершальний етап характеризується збором статистики, яка дозволить в подальшому проводити координацію ризиків і ефективно управляти ними. Високо ризиковані проєкти припускають корекцію ризиків, після чого слід їх повторна оцінка [24].

#### Висновки

В роботі:

1. Розглянуто сутність інвестиційного проєкту. Інвестиційний проєкт – це економічне обґрунтування обсягів, термінів і доцільності фінансування будь-якого комерційного об'єкту. Також інвестиційним проєктом називають комплекс заходів для досягнення певного фінансового результату, описаний в проєктно-кошторисній документації. Створення і втілення інвестиційного проєкту проходить в 3 стадії:

- передінвестиційна (розрахункова) стадія;
- інвестиційна (отримання фінансування) стадія;
- експлуатаційна стадія.

Найважливіше при розробці інвестиційного проєкту – правильно відобразити грошові потоки і обґрунтувати повернення інвестицій (врахувати всі ризики).

2. Визначено ризики інвестиційного проєкту. На сьогоднішній день немає одного загальноприйнятого визначення ризику. Це пов'язано з активним розвитком теорії ризиків і зі специфікою конкретних секторів економіки. Інвестиційні ризики, що виникають при виконанні ІТ-проєкту, можна визначити як ймовірність часткової або повної втрати прогнозованого проєктного прибутку. Виникнення інвестиційних ризиків нерозривно пов'язано з невизначеністю прогнозованих результатів. На практиці прийнято ототожнювати ризики і невизначеність. Ризик інвестиційного проєкту є мірою невпевненості в отриманні очікуваного рівня прибутковості при реалізації даного проєкту. Метою аналізу проєктних рішень є надання оцінки всім видам ризиків і визначення можливих шляхів їх зниження.

3. Досліджено стратегії управління інвестиційними ризиками. Для роботи з ризиками є кілька стратегій:
- ухилення;
  - зниження;
  - передача;
  - ухвалення.

Для кожного ризику можна підібрати одну стратегію або скомбінувати кілька. В результаті повинна бути готова основна стратегія і на випадок неефективності основної – резервна стратегія.

#### Список використаної літератури

1. Мартиненко В. Ф. Державне управління інвестиційним процесом в Україні : навч. посіб. Київ : НАДУ, 2008. 300 с.
2. Верченко П. І. Ризикологія: навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. / [Верченко П. І., Великоіваненко Г. І., Демчук Н. В. та ін.]. Київ : КНЕУ, 2006. 176 с.
3. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія. Київ : КНЕУ, 2004. 480 с.
4. Вітлінський В. В., Верченко П. І. Аналіз, моделювання та управління економічним ризиком: навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. Київ : КНЕУ, 2000. 292 с.
5. Вітлінський В. В., Наконечний С. І., Шарапов О. Д. Економічний ризик і методи його вимірювання: підручник. Київ : ІЗМН, 2000. 252 с.
6. Економічний ризик: ігрові моделі : навч. посіб. / В. В. Вітлінський, П. І. Верченко, А. В. Сігал, Я. С. Наконечний ; за ред. В. В. Вітлінського. Київ : КНЕУ, 2002. 446 с.
7. Лук'янова В. В., Головач Т. В. Економічний ризик: навч. посіб. Київ : Академвидав, 2007. 462 с.
8. Thomas P., Bratvold R. B., Bickel J. E. The Risk of Using Risk Matrices // SPE Economics & Management. 2014. Vol. 6, Issue 2. DOI: [10.2118/163747-PA](https://doi.org/10.2118/163747-PA).
9. Hubbard D. The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It. John Wiley & Sons, 2009.
10. Savage S., Scholtes S., Zweidler D. Probability Management // OR/MS Today. 2006. Vol. 33, No. 1.
11. Savage S. L. Distribution Processing and the Arithmetic of Uncertainty // Analytics Magazine. 2012. November/December.
12. Kirmse M., Savage S. Probability Management 2.0 // OR/MS Today. 2014. Vol. 41, No. 5.
13. Hubbard D. The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It. John Wiley & Sons, 2009.
14. Череп А. В. Інвестознавство : навч. посіб. Київ : Кондор, 2006. 398 с.
15. ДСТУ ISO 31000:2018. Менеджмент ризиків. Принципи та настанови (ISO 31000:2018, IDT). URL: [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\_doc=80322](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\_doc=80322) (дата звернення: 15.03.2024).
16. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013. Управління ризиком. Методи загального оцінювання ризику. URL: [https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf](https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf) (дата звернення: 15.03.2024).
17. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Pennsylvania : Project Management Institute, 2000. 211 p. ISBN 1-880410-22-2.
18. Enterprise Risk Management. Applying enterprise risk management to environmental, social and governance-related risks. October 2018. URL: [https://www.coso.org/Documents/2017COSO-ERM-Integrating-with-Strategy-and-PerformanceExecutive-Summary.pdf](https://www.coso.org/Documents/2017COSO-ERM-Integrating-with-Strategy-and-PerformanceExecutive-Summary.pdf) (дата звернення: 15.03.2024).
19. Бланк І. А. Інвестиційний менеджмент: навч. курс. Київ : Ельга-Н, Ніка-центр, 2001. 448 с.
20. Найт Ф. Х. Ризик, невизначеність і прибуток : пер. з англ. Київ : Дело, 2003. 360 с.
21. Донець Л. І., Шепеленко О. В., Баранцева С. М., Сергєєва О. В., Веремейчик О. Ф. Обґрунтування господарських рішень та оцінювання ризиків : навч. посіб. За заг. ред. Донець Л. І. Київ : Центр учбової літератури, 2012. 472 с.
22. Глібчук В. Моделювання і оптимізація інвестиційних ризиків на машинобудівних підприємствах в умовах невизначеності // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2010. № 691 : Менеджмент та підприємництво в Україні : етапи становлення і проблеми розвитку. С. 263–269.
23. Кобиляцький Л. С. Управління проектами : навч. посіб. Київ : МАУП, 2002. 200 с.
24. Герасименко О. М. Побудова карти ризиків як метод управління ризиками в компанії // Формування ринкових відносин в Україні: зб. наук. праць. Київ, 2013. № 6. С. 191–198.
25. Фролова Т. О. Інвестиційні корпоративні стратегії в умовах глобалізації : монографія. Київ : КНЕУ, 2012. 426 с.

## References

1. Martinenko, V. F. (2008). Derzhavne upravlinnya investitsiinim protsesom v Ukraïni: Navchal'nyi posibnyk. Kiïv: NADU.
2. Verchenko, P. I., Velikoivanenko, G. I., & Demchuk, N. V. (2006). Rizikologiya: Navchal'no-metodychni posibnyk dlya samostiinogo vyvchennya dystsypliny. Kiïv: KNEU.
3. Vitlins'kii, V. V., & Velikoivanenko, G. I. (2004). Rizikologiya v ekonomitsi ta pidpriemnitstvi: Monografiya. Kiïv: KNEU.
4. Vitlins'kii, V. V., & Verchenko, P. I. (2000). Analiz, modelyuvannya ta upravlinnya ekonomichnim rizikom: Navchal'no-metodychni posibnyk dlya samostiinogo vyvchennya dystsypliny. Kiïv: KNEU.
5. Vitlins'kii, V. V., Nakonechnii, S. I., & Sharapov, O. D. (2000). Ekonomichnii rizik i metodi iogo vimiryuvannya: Pidruchnik. Kiïv: IZMN.
6. Vitlins'kii, V. V., Verchenko, P. I., Sigal, A. V., & Nakonechnii, Ya. S. (2002). Ekonomichnii rizik: Igrovi modeli: Navchal'nyi posibnyk (Za red. V. V. Vitlins'kogo). Kiïv: KNEU.
7. Luk'yanova, V. V., & Golovach, T. V. (2007). Ekonomichnii rizik: Navchal'nyi posibnyk. Kiïv: Akademvidav.
8. Thomas, P., Bratvold, R. B., & Bickel, J. E. (2014). The risk of using risk matrices. *SPE Economics & Management*, 6(2). <https://doi.org/10.2118/163747-PA>
9. Hubbard, D. (2009). The failure of risk management: Why it's broken and how to fix it. John Wiley & Sons.
10. Savage, S., Scholtes, S., & Zweidler, D. (2006). Probability management. *OR/MS Today*, 33(1).
11. Savage, S. L. (2012). Distribution processing and the arithmetic of uncertainty. *Analytics Magazine*, November/December.
12. Kirmse, M., & Savage, S. (2014). Probability management 2.0. *OR/MS Today*, 41(5).
13. Hubbard, D. (2009). The failure of risk management: Why it's broken and how to fix it. John Wiley & Sons.
14. Cherep, A. V. (2006). Investoznavstvo: Navchal'nyi posibnyk. Kiïv: Kondor.
15. DSTU ISO 31000:2018. (2018). Menedzhment rizikiv: Printsipi ta nastanovi (ISO 31000:2018, IDT). Retrieved from [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=80322](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80322) (Accessed: March 15, 2024).
16. DSTU IEC/ISO 31010:2013. (2013). Upravlinnya rizikom: Metodi zagal'nogo otsinyuvannya riziku. Retrieved from <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf> (Accessed: March 15, 2024).
17. Project Management Institute. (2000). A guide to the project management body of knowledge. Pennsylvania: Project Management Institute.
18. COSO. (2018). Enterprise risk management: Applying enterprise risk management to environmental, social and governance-related risks. Retrieved from <https://www.coso.org/Documents/2017COSO-ERM-Integrating-with-Strategy-and-PerformanceExecutive-Summary.pdf> (Accessed: March 15, 2024).
19. Blank, I. A. (2001). Investitsiini menedzhment: Navchal'nyi kurs. Kiïv: El'ga-N, Nika-tsentr.
20. Nait, F. Kh. (2003). Rizik, neviznachenist' i pributok (Per. z angl.). Kiïv: Delo.
21. Donets', L. I., Shepelenko, O. V., Barantseva, S. M., Sergeeva, O. V., & Veremeichik, O. F. (2012). Obruntuvannya gospodars'kikh rishen' ta otsinyuvannya rizikiv: Navchal'nyi posibnyk (Za zag. red. Donets' L. I.). Kiïv: Tsentri uchbovoi literaturi.
22. Glibchuk, V. (2010). Modelyuvannya i optimizatsiya investitsiinih rizikiv na mashinobudivnikh pidriemstvakh v umovakh neviznachenosti. *Visnik Natsional'nogo universitetu «L'vivs'ka politehnika»*, № 691: Menedzhment ta pidpriemnitstvo v Ukraïni: Etapi stanovlennya i problemi rozvitku, 263–269.
23. Kobilyats'kii, L. S. (2002). Upravlinnya proektami: Navchal'nyi posibnyk. Kiïv: MAUP.
24. Gerasimenko, O. M. (2013). Pobudova karti rizikiv yak metod upravlinnya rizikami v kompanii. *Formuvannya rinkovikh vidnosin v Ukraïni: Zbirnyk naukovykh prats'*, № 6, 191–198.
25. Frolova, T. O. (2012). Investitsiini korporativni strategii v umovakh globalizatsii: Monografiya. Kiïv: KNEU.

О. В. СОБКО

викладач кафедри комп'ютерних наук  
Хмельницький національний університет  
ORCID: 0000-0001-5371-5788

## МЕТОД НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ФОРМУВАННЯ РЕПРЕЗЕНТАТИВНИХ НЕДИСКРИМІНАЦІЙНИХ ТЕКСТОВИХ ДАТАСЕТІВ ЗГІДНО FATE-ПРИНЦИПУ СПРАВЕДЛИВОСТІ

У статті запропоновано метод нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості. Запропонований метод акцентує увагу на створенні збалансованих датасетів, які точно відображають демографічні групи, враховуючи етичні аспекти, такі як гендер, вік, релігія та етнічність. Метод полягає в ідентифікації та коригуванні дисбалансів у датасеті шляхом розв'язання оптимізаційної задачі, що обирає дані для видалення або аугментації таким чином, щоб кінцевий датасет залишався репрезентативним і неупередженим. Для оцінки ефективності цього підходу було розроблено програмне забезпечення, яке використовує моделі машинного навчання, зокрема SVM для класифікації за віковим аспектом, LSTM для гендерної класифікації та BERT для релігійної класифікації, всі з яких показали високі статистичні результати.

Результати застосування цього методу показують, що після формування датасет став більш репрезентативним з точки зору справедливості за віковим та гендерним аспектами, з мінімальними відхиленнями (від 0.00% до 0.04%) від ідеального репрезентативного розподілу. Ці результати демонструють, що запропонований метод здатний ефективно аналізувати та формувати датасети, забезпечуючи їх відповідність стандартам справедливості за різними етичними категоріями. Крім того, цей підхід сприяє досягненню Цілей сталого розвитку, зокрема Цілі № 5 (гендерна рівність), Цілі № 10 (скорочення нерівності) та Цілі № 11 (сталий розвиток міст і громад). Забезпечення того, щоб датасети відображали різноманітне і інклюзивне представлення соціальних груп, сприяє створенню етичних та справедливих систем штучного інтелекту, що допомагає зменшити упередженість та дискримінацію в процесах прийняття рішень.

**Ключові слова:** репрезентативність, етичні принципи, недискримінація, датасет, Цілі сталого розвитку.

O. V. SOBKO

Lecturer of Computer Science Department  
Khmelnytskyi National University  
ORCID: 0000-0001-5371-5788

## METHOD OF NEURAL NETWORK FORMATION OF REPRESENTATIVE NON-DISCRIMINATORY TEXT DATASETS ACCORDING TO THE FATE PRINCIPLE OF JUSTICE

Paper presents neural network method for generating representative non-discriminatory text datasets according to the FATE fairness principle. The proposed method focuses on creating balanced datasets that accurately reflect demographic groups, taking into account ethical aspects such as gender, age, religion, and ethnicity. The method consists of identifying and correcting imbalances in the dataset by solving an optimization problem that selects data for deletion or augmentation in such a way that the final dataset remains representative and unbiased. To evaluate the effectiveness of this approach, software was developed that uses machine learning models, in particular SVM for age classification, LSTM for gender classification, and BERT for religious classification, all of which showed high statistical results.

The results of this method show that after generation, the dataset became more representative in terms of fairness in terms of age and gender, with minimal deviations (from 0.00% to 0.04%) from the ideal representative distribution. These results demonstrate that the proposed method is able to effectively analyze and generate datasets, ensuring their compliance with fairness standards for different ethical categories. In addition, this approach contributes to the achievement of the Sustainable Development Goals, in particular Goal No. 5 (gender equality), Goal No. 10 (reduced inequality) and Goal No. 11 (sustainable urban and community development). Ensuring that datasets reflect a diverse and inclusive representation of social groups contributes to the creation of ethical and fair AI systems, which helps reduce bias and discrimination in decision-making processes.

**Key words:** representativeness, ethical principles, non-discrimination, dataset, Sustainable Development Goals.

### Постановка проблеми

У сучасному світі проблема дискримінації в даних та алгоритмах машинного навчання є актуальною, оскільки вона безпосередньо впливає на якість прийняття рішень у різних галузях [1, С. 217–221; 2, С. 16–28]. Для запобігання упередженням та забезпечення етичного використання даних у машинному навчанні необхідно

дотримуватись принципів FATE (Fairness, Accountability, Transparency, Ethics). Наведені принципи спрямовані на забезпечення справедливості, відповідальності, прозорості та етики у процесах збору, обробки та аналізу даних. Дотримання FATE-принципів є основою для побудови систем, які сприяють соціальній справедливості та сталому розвитку [3, С. 344–356; 4, С. 262–265].

Також сьогодні дуже актуальними є Цілі сталого розвитку (SDG, Sustainable Development Goals). Ці цілі повинні поширюватися і на сферу штучного інтелекту, оскільки останній стає дедалі більш інтегрованим у повсякденне життя людей. Вплив рішень, які приймають алгоритми штучного інтелекту, відчувається у таких сферах, як охорона здоров'я, освіта, правосуддя, соціальна політика та багато інших. Тому важливо, щоб розвиток штучного інтелекту відповідав принципам сталого розвитку, спрямованим на створення справедливого, інклюзивного і стійкого суспільства [5, С. 91–112].

Текстові датасети, що використовуються у машинному навчанні, повинні також відповідати цілям сталого розвитку, зокрема Ціль № 5 (гендерна рівність), Ціль № 10 (скорочення нерівності) та Ціль № 11 (сталі розвиток міст та громад). Забезпечення гендерної рівності (Ціль № 5) в даних важливе для того, щоб уникнути упередженості, яка може спричинити дискримінацію за статевими ознаками в майбутніх рішеннях моделей машинного навчання. Врахування скорочення соціальних та економічних нерівностей (Ціль № 10) у створенні датасетів допомагає уникнути помилок, що можуть виникнути через недостатнє представлення меншин або маргіналізованих груп. Окрім того, створення збалансованих і репрезентативних даних підтримує сталий розвиток міст та громад (Ціль № 11), забезпечуючи рівні можливості для всіх груп населення і знижуючи ризик соціальної несправедливості у технологіях, які можуть бути застосовані в містах і громадах.

Таким чином, забезпечення репрезентативності та відповідності цілям сталого розвитку у текстових датасетах є важливим кроком для забезпечення прозорості та відповідальності у системах прийняття рішень.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Досягнення Цілей сталого розвитку та FATE-принципів вимагає розробки рішень, що сприяють соціальній рівності, економічному зростанню та екологічній стабільності. Далі наведено огляд наукових публікацій, які присвячені досягненню Цілей сталого розвитку та FATE-принципів у моделях штучного інтелекту.

У дослідженні [6, С. 969–985] автори створили корпус текстів щодо Цілей сталого розвитку (SDGs) японською мовою та використали модель BERT для розпізнавання та векторизації семантики пов'язаних з SDGs речень. Модель демонструє хороші результати в ідентифікації відповідних Цілей та прогнозуванні зв'язків між ними, що може бути використано для знаходження можливих партнерів для співпраці в рамках SDGs.

У роботі [7, С. 103249] автори досліджують формування репрезентативної підмножини тексту, в великих текстових наборах даних, що використовуються для навчання PreLM (переднавчених мовних моделей). Експериментальні результати показали, що RepSet, отриманий за допомогою методу на основі різниці ймовірностей, досягав 90% ефективності, навіть при тому, що розмір RepSet був на два-три порядки менший за розмір оригінального набору даних.

У статті [8, С. 1–4] автори аналізують проблему упередженості в системах штучного інтелекту та її негативний вплив на різні групи людей. Автори пропонують впровадження принципів різноманіття та інклюзії на всіх етапах розробки ШІ для створення справедливих і надійних систем, в тому числі і на етапі формування навчальних даних для моделей машинного навчання. Рекомендації включають врахування різних перспектив, зменшення упередженості в даних та забезпечення прозорості алгоритмів.

Стаття [9] описує проблему несправедливості в машинному навчанні через нерівномірне представлення класів і захищених груп (наприклад, за статтю, расою чи віком) у даних. Автори пропонують новий алгоритм Fair Oversampling, який одночасно зменшує дисбаланс класів і груп, покращуючи точність і справедливість моделей. Також вони розробляють метрику Fair Utility, яка об'єднує збалансовану точність із показниками справедливості.

Аналізуючи представлені дослідження, можна зробити висновок, що їх основна мета – вирішення різних аспектів підготовки навчальних даних для алгоритмів машинного навчання у контексті Цілей сталого розвитку та етичного використання штучного інтелекту. Однак не всі роботи повністю враховують ключові етичні засади, зокрема принципи недискримінаційності та забезпечення репрезентативності підгруп населення, що є важливими для створення збалансованих і справедливих моделей ШІ.

#### Формулювання мети дослідження

**Метою роботи** є забезпечення дотримання принципу справедливості FATE для навчальних датасетів, яке полягає у створенні методу нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів для подальшого їх використання у навчанні нейромережевих моделей для вирішення різноманітних задач.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Метод нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості подано у вигляді трьох послідовних етапів: перевірки коректності елементів датасету, аналізу репрезентативності за етичними аспектами та репрезентативне коригування датасету. Кожен етап складається з своїх кроків, які наведено на рисунку 1.

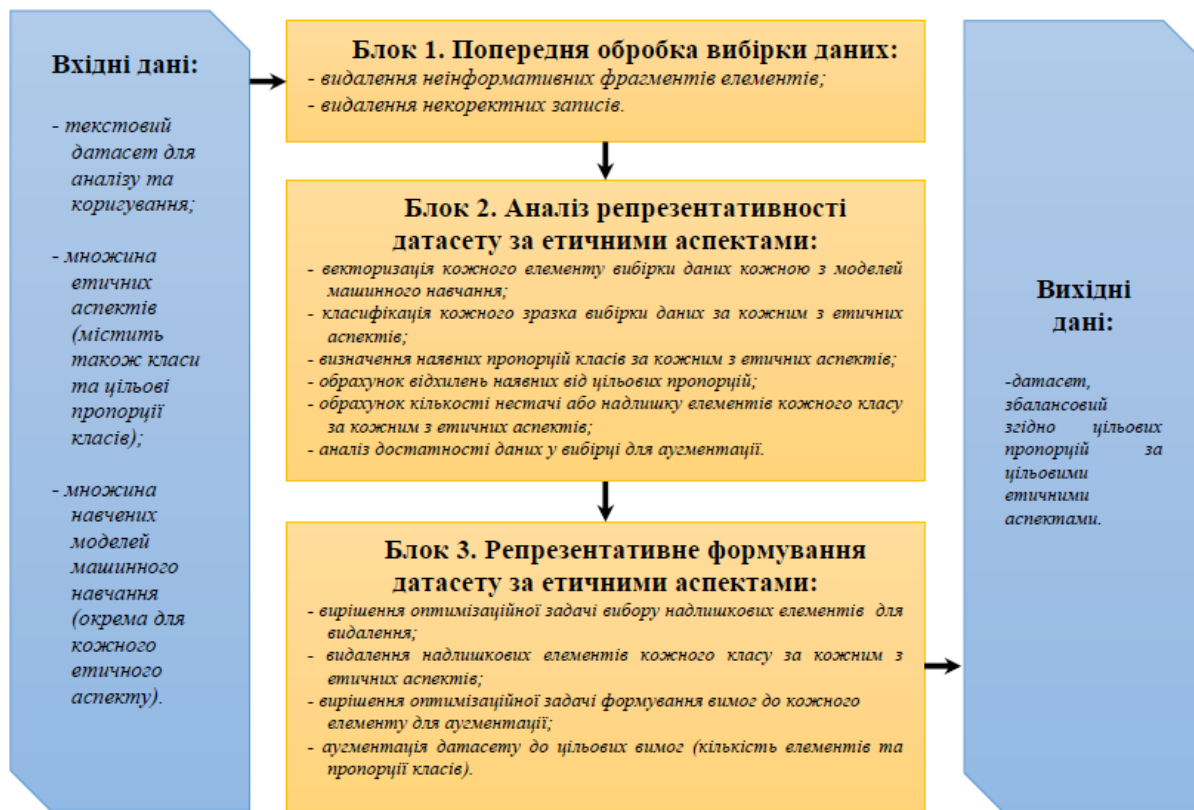


Рис. 1. Схема методу нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості

Метод нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості складається з 3 блоків, кожен із яких виконує важливі кроки.

У Блоці 1 здійснюється попередня обробка вхідних даних. На цьому етапі видаляються неінформативні фрагменти, які не несуть корисної інформації для подальшого аналізу, а також некоректні записи, які можуть включати помилки чи невідповідності у структурі даних. Цей блок виконує функцію очищення даних, створюючи основу для точності наступних етапів.

У Блоці 2 проводиться аналіз репрезентативності вибірки за етичними аспектами. Спочатку всі елементи вибірки проходять процес векторизації, що перетворює текстові дані у формат, придатний для обробки моделями машинного навчання. Потім кожен зразок класифікується за етичними аспектами, які можуть включати різні категорії, що відображають конкретні проблеми, пов'язані з недискримінаційністю. На основі класифікації визначаються наявні пропорції вибірки для кожного етичного аспекту, що дозволяє виявити відхилення від цільових пропорцій, які були задані як критерій справедливості. Паралельно проводиться підрахунок нестачі або надлишкових елементів у кожному класі, що дозволяє оцінити обсяги необхідних коригувань. Завершується цей блок аналізом достатності даних у вибірці, щоб визначити, чи відповідає вона вимогам для наступних етапів.

У Блоці 3 здійснюється формування репрезентативного датасету з урахуванням етичних аспектів. Спочатку вирішується завдання оптимізації вибірки шляхом видалення надлишкових елементів у тих класах, які мають більшу представленість, ніж це передбачено цільовими пропорціями. Далі відбувається видалення надлишкових елементів окремих класів за кожним із етичних аспектів. Після цього визначаються оптимальні вимоги для кожного елемента, який може бути використаний для аугментації, тобто штучного розширення вибірки. Завершується цей блок процесом аугментації, де до датасету додаються нові елементи або коригуються існуючі таким чином, щоб отримати збалансований набір даних, який повністю відповідає цільовим пропорціям.

Після виконання усіх трьох блоків формується збалансований датасет, який враховує принципи справедливості відповідно до етичних аспектів і може використовуватися для навчання моделей, що працюють із текстовими даними.

Для створення набору навчених моделей машинного навчання, які відповідатимуть окремим етичним аспектам, необхідно навчити кожен класифікатор для аналізу репрезентативності датасету згідно з другим блоком, описаним на рисунку 1. Щоб отримати ці класифікатори, які формуватимуть множину моделей, орієнтованих на етичні аспекти, слід виконати послідовність дій, представлених на рисунку 2.



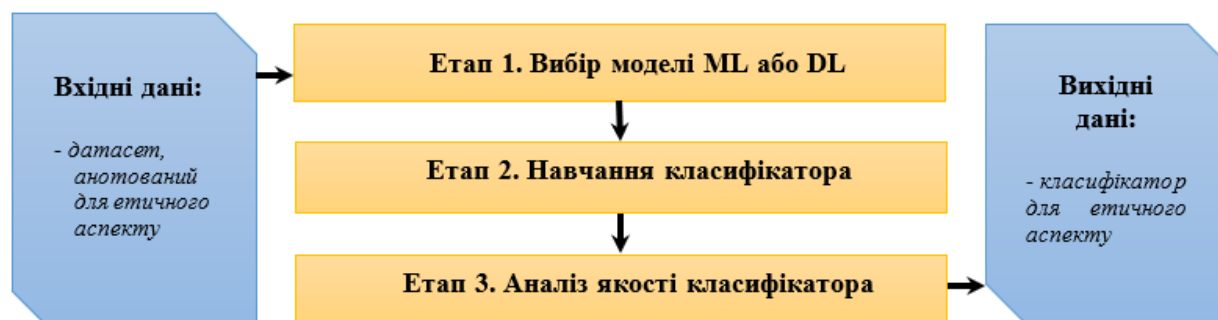


Рис. 2. Схема отримання навченої моделі машинного навчання для окремого етичного аспекту

Першим етапом є обрання моделі машинного навчання, яка підходить для класифікації текстів за етичними аспектами. Для цього можуть застосовуватися як моделі глибокого навчання, такі як BERT, GPT, LSTM, GRU, так і традиційні алгоритми класифікації, наприклад, Logistic Regression, Naive Bayes, Support Vector Machines або k-Nearest Neighbors. Після вибору моделі наступним етапом здійснюється її навчання на анотованому датасеті, підготовленому для аналізу конкретного етичного аспекту.

На завершальному етапі виконується оцінка якості отриманої моделі на основі таких метрик, як Accuracy, Precision, Recall та F1-score. Якщо результати аналізу якості є незадовільними, необхідно повернутися до етапу вибору моделі та повторити процес. У разі досягнення прийнятної якості формується класифікатор, який здатен оцінювати репрезентативність текстових даних відповідно до заданого етичного аспекту.

Таким чином, для кожного етичного аспекту створюється окрема модель машинного навчання, що в підсумку формує множину етичних моделей, кількість яких відповідає кількості проаналізованих аспектів. Це забезпечує створення репрезентативної текстової вибірки, враховуючи етичні вимоги.

Для перевірки ефективності методу нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості було сформовано вхідний датасет, який об'єднує два набори даних: «Cyberbullying Classification» [10] та «Cyberbully Detection Dataset» [11]. Перший з них включає 46,017 твітів, розмічених за шістьма категоріями видів кібербулінгу. Другий датасет містить 99,989 твітів, також класифікованих за типами кіберзалякування. Жоден із цих датасетів не має інформації щодо статі, вікової групи, релігії чи етнічного походження авторів повідомлень.

Для тренування моделей машинного навчання, які використовуватимуться для розмітки вхідного датасету, було застосовано додаткові набори даних, що охоплюють три етичні аспекти принципу справедливості: гендер, вік і релігію. Оскільки класи у цих наборах даних були нерівномірно представлені за кількістю зразків, що могло погіршити якість навчання моделей, було проведено балансування всіх класів за кількістю зразків у них.

Для оцінки ефективності методу нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості було розроблено програмну реалізацію з використанням мови Python. Для класифікації текстів із вхідного датасету кіберзалякувань за ознаками гендеру, віку та релігії застосовано бібліотеку TensorFlow. Програмна реалізація також надає можливість переглядати класи даних у наборі відповідно до міток, які відображають обрані етичні аспекти, що продемонстровано на рисунку 3.

Для оцінки ефективності запропонованого методу нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості було навчено кілька моделей машинного навчання. Показники статистичних метрик, таких як Accuracy, Precision, Recall і F1-score, для моделей різних етичних аспектів подано на рисунку 4.

Для різних класів було досягнуто різних рівнів лінійної роздільної здатності. Для релігійної ознаки класифікатор BERT, який продемонстрував найвищу ефективність серед моделей, забезпечив добре роздільні дані. За гендерною ознакою найкращі результати показав класифікатор LSTM, однак рівень роздільної здатності залишився середнім. Для вікової ознаки використання класифікатора SVM показало найгіршу роздільну здатність.

Для аналізу та створення репрезентативної вибірки текстових даних, що відповідає цільовим пропорціям класів за віковими та гендерними категоріями, було використано дані про популяцію України. Інформація для цього була взята з даних Інституту демографії та соціальних досліджень імені М. В. Птухи Національної академії наук України.

Встановлено, що датасет не є репрезентативним, оскільки кількість текстових зразків у класах різних етичних аспектів не відповідає пропорціям демографічних груп населення України. Це вимагає балансування даних для забезпечення їхньої репрезентативності.

Внаслідок розв'язання оптимізаційної задачі для створення репрезентативної вибірки за віковими та гендерними етичними аспектами на прикладі демографічних груп популяції України, було отримано репрезентативну вибірку текстових даних шляхом аугментації. Баланс класів цієї вибірки наведено в таблиці 1.

Dataset markup example

Labeling dataset

Name	Label
Not_Cyberbullying	0
Cyberbullying_Gender	1
Cyberbullying_Religion	2
Other_Cyberbullying	3
Cyberbullying_Age	4
Cyberbullying_Ethnicity	5

Results

Sentence	Cyberbullying_typ	Cisgender	Religion	Age
In other words ...	0	Woman	Jew	40-49
Why is #aussiet...	0	Woman	Muslim	0-19
@XochitiSuckkk...	0	Man	Jew	30-39
@Jason_Gio me...	0	Man	Muslim	30-39
@RudhoeEnglis...	0	Man	Muslim	0-19
@RajaSaab @Q...	0	Man	Buddhism	30-39
Itu sekolah ya b...	0	Man	Jew	0-19
Karma. I hope it...	0	Woman	Muslim	50-100
@stockputout e...	0	Woman	Jew	0-19
Rebecca Black ...	0	Man	Jew	0-19
@Jord_Is_Dead ...	0	Man	Jew	0-19

Рис. 3. Перегляд міток зразків з вибірки за гендерним, релігійним та віковим етичними аспектами

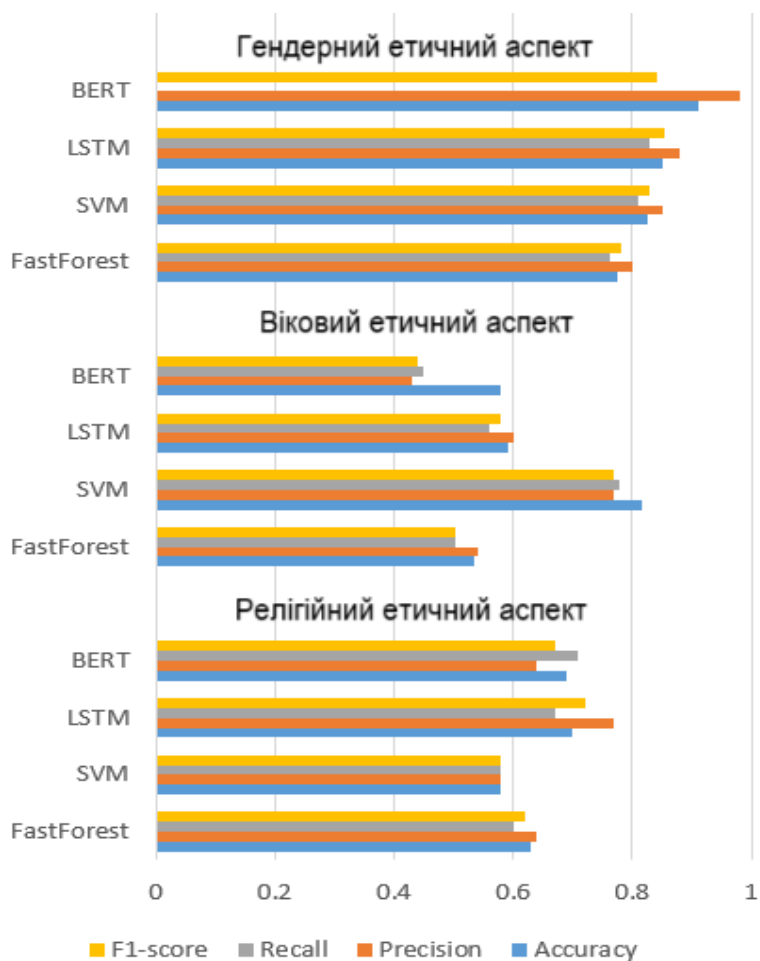


Рис. 4. Перегляд міток зразків з вибірки за гендерним, релігійним та віковим етичними аспектами

Таблиця 1

## Розподіл зразків у сформованому репрезентативному даасеті після аугментації даних

Вікові демографічні підгрупи	0-19 років	20-29 років	30-39 років	40-49 років	50-100 років
<i>Відсоткове відношення демографічних груп за гендером та віком у популяції України</i>					
Чоловіки	9.67%	5.64%	8.96%	7.79%	15.56%
Жінки	9.04%	4.53%	7.96%	7.47%	23.38%
<i>Відсоткове відношення демографічних груп за гендером та віком у текстовій вибірці</i>					
Чоловіки	9.65%	5.62%	8.94%	7.80%	15.57%
Жінки	9.05%	4.57%	7.97%	7.45%	23.38%
<i>Одержане відхилення від репрезентативного розподілу</i>					
Чоловіки	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%
Жінки	0.01%	0.04%	0.01%	0.02%	0.00%

В результаті формування датасету за розробленим методом було отримано відхилення розподілів зразків за класами вікового та гендерного етичних аспектів від ідеального репрезентативного розподілу, які склали: мінімум 0.00%, максимум 0.04%, середнє 0.02%.

Таким чином, завдяки виконанню всіх кроків методу нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів згідно FATE-принципу справедливості було створено недискримінаційний і неупереджений датасет, який пропорційно відображає демографічні підгрупи популяції України. Це відповідає принципу справедливості FATE. Крім того, такий підхід підтримує досягнення Цілей сталого розвитку, зокрема в частинах, що стосуються рівності (Ціль № 5), зменшення нерівності (Ціль № 10) та створення справедливих і сталих міст та громад (Ціль № 11). Використання збалансованих, репрезентативних даних сприяє формуванню технологій, які підтримують соціальну інклюзивність, забезпечують рівний доступ до можливостей і враховують потреби всіх соціальних груп.

### Висновки

Було розроблено метод нейромережевого формування репрезентативних недискримінаційних текстових датасетів, який відповідає принципам справедливості FATE та враховує етичні аспекти, такі як гендер, вік, релігія, етнічність тощо. Метод дозволяє коригувати датасети для забезпечення їх репрезентативності за етичними аспектами, що включає оптимізацію вибору елементів для видалення та аугментації даних відповідно до цих принципів. Для тестування методу було створено програмне забезпечення, яке використовує машинне навчання для класифікації текстів за різними етичними категоріями. Практичне застосування методу дозволило значно покращити репрезентативність датасетів за віковим та гендерним аспектами, з мінімальними відхиленнями від ідеального репрезентативного розподілу, що свідчить про високу ефективність методу.

Цей підхід також підтримує реалізацію Цілей сталого розвитку ПРООН, зокрема Ціль № 5, Ціль № 10 та Ціль № 11, забезпечуючи більш рівне та справедливе представлення різних соціальних груп у даних. Врахування цих цілей допомагає забезпечити, щоб моделі машинного навчання були етично збалансованими і неупередженими, що є важливим для створення інклюзивних та справедливих технологій в інформаційному середовищі.

### Список використаної літератури

1. Собко О. В. Дослідження ефективності методу оцінювання та коригування репрезентативності датасету за FATE-принципом справедливості. *Перспективи сучасної науки: теорія і практика: Матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф.*, 2024. С. 217–221.
2. Krak I., Zalutska O., Molchanova M., Mazurets O., Bahrii R., Sobko O., Barmak O. Abusive Speech Detection Method for Ukrainian Language Used Recurrent Neural Network. *CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3688. С. 16–28.*
3. Zalutska O., Molchanova M., Sobko O., Mazurets O., Pasichnyk O., Barmak O., Krak I. Method for sentiment analysis of Ukrainian-language reviews in e-commerce using RoBERTa neural network. *CEUR Workshop Proceedings. 2023. Vol. 3387. С. 344–356.*
4. Собко О. В. Метод інтелектуального пошуку та класифікації кіберзалякувань у текстовому контенті. *Інформаційні управліючі системи та технології ІУСТ-ОДЕСА-2024: Матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. Одеса, 2024. С. 262–265.*
5. Jungwirth D., Haluza D. Artificial intelligence and the sustainable development goals: an exploratory study in the context of the society domain. *Journal of Software Engineering and Applications. 2023. Vol. 16, No. 4. С. 91–112. <https://doi.org/10.4236/jsea.2023.164006>.*
6. Matsui T., Suzuki K., Ando K., Kitai Y., Haga C., Masuhara N., Kawakubo S. A natural language processing model for supporting sustainable development goals: translating semantics, visualizing nexus, and connecting stakeholders. *Sustainability Science. 2022. Vol. 17, No. 3. С. 969–985. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01093-3>.*

7. Suzuki J., Zen H., Kazawa H. Extracting representative subset from extensive text data for training pre-trained language models. *Information Processing & Management*. 2023. Vol. 60, No. 3. С. 103249. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103249>.
8. Zowghi D., Bano M. AI for all: Diversity and Inclusion in AI. *AI and Ethics*. 2024. С. 1–4. <https://doi.org/10.1007/s43681-024-00485-8>.
9. Dablain D., Krawczyk B., Chawla N. Towards a holistic view of bias in machine learning: Bridging algorithmic fairness and imbalanced learning. *arXiv preprint arXiv:2207.06084*. 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.06084>.
10. Kaggle.com. Cyberbullying Classification. 2021. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/andrewmvd/cyberbullying-classification?resource=download> (дата звернення: 24.11.2024).
11. Kaggle.com. CyberBullying Detection Dataset. 2024. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/sayankr007/cyberbullying-data-for-multi-label-classification> (дата звернення: 24.11.2024).

### References

1. Sobko, O. V. (2024). Doslidzhennia efektyvnosti metodu otsiniuvannia ta koryhuvannia reprezentyvnosti datasetu za FATE-pryntsyom spravedlyvosti [Research on the efficiency of dataset representativeness evaluation and correction method based on the FATE fairness principle]. In *Perspektyvy suchasnoi nauky: teoriia i praktyka: Proceedings of the VIII International Scientific-Practical Conference* (pp. 217–221) [in Ukrainian].
2. Krak, I., Zalutska, O., Molchanova, M., Mazurets, O., Bahrii, R., Sobko, O., & Barmak, O. (2024). Abusive speech detection method for Ukrainian language used recurrent neural network. *CEUR Workshop Proceedings*, 3688, pp. 16–28.
3. Zalutska, O., Molchanova, M., Sobko, O., Mazurets, O., Pasichnyk, O., Barmak, O., & Krak, I. (2023). Method for sentiment analysis of Ukrainian-language reviews in e-commerce using RoBERTa neural network. *CEUR Workshop Proceedings*, 3387, pp. 344–356.
4. Sobko, O. V. (2024). Metod intelektualnoho poshuku ta klasyfikatsii kiberzaliakuvan u tekstovomu kontenti [Method of intelligent search and classification of cyberbullying in textual content]. In *Informatsiini upravliaiuchi systemy ta tekhnologii IUST-Odesa-2024: Proceedings of the XII International Scientific-Practical Conference* (pp. 262–265) [in Ukrainian].
5. Jungwirth, D., & Haluza, D. (2023). Artificial intelligence and the sustainable development goals: An exploratory study in the context of the society domain. *Journal of Software Engineering and Applications*, 16(4), pp. 91–112. <https://doi.org/10.4236/jsea.2023.164006>
6. Matsui, T., Suzuki, K., Ando, K., Kitai, Y., Haga, C., Masuhara, N., & Kawakubo, S. (2022). A natural language processing model for supporting sustainable development goals: Translating semantics, visualizing nexus, and connecting stakeholders. *Sustainability Science*, 17(3), pp. 969–985. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01093-3>
7. Suzuki, J., Zen, H., & Kazawa, H. (2023). Extracting representative subset from extensive text data for training pre-trained language models. *Information Processing & Management*, 60(3), pp. 103249. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103249>
8. Zowghi, D., & Bano, M. (2024). AI for all: Diversity and inclusion in AI. *AI and Ethics*, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1007/s43681-024-00485-8>
9. Dablain, D., Krawczyk, B., & Chawla, N. (2022). Towards a holistic view of bias in machine learning: Bridging algorithmic fairness and imbalanced learning. *arXiv preprint arXiv:2207.06084*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.06084>
10. Kaggle.com. (2021). Cyberbullying Classification. <https://www.kaggle.com/datasets/andrewmvd/cyberbullying-classification?resource=download> (Accessed: November 24, 2024).
11. Kaggle.com. (2024). CyberBullying Detection Dataset. <https://www.kaggle.com/datasets/sayankr007/cyberbullying-data-for-multi-label-classification> (Accessed: November 24, 2024).

**О. Г. ТРОФИМЕНКО**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних технологій  
Національний університет «Одеська юридична академія»  
ORCID: 0000-0001-7626-0886

**Ю. Г. ЛОБОДА**

кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних технологій  
Національний університет «Одеська юридична академія»  
ORCID: 0000-0001-7083-552X

**В. І. ГУРА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних технологій  
Національний університет «Одеська юридична академія»  
ORCID: 0009-0001-2166-5410

**А. І. ДИКА**

аспірант кафедри інформаційних технологій  
Національний університет «Одеська юридична академія»  
ORCID: 0000-0002-4196-8734

**М. І. СТРИЛЕЦЬ**

магістр  
Національний університет «Одеська юридична академія»  
ORCID: 0009-0009-1941-6034

## ІНСТРУМЕНТИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

*Впровадження інструментів штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання в аналітику даних зробило революцію в інтерпретації даних, надаючи безпрецедентну інформацію та полегшуючи прийняття рішень на основі даних у різних секторах. Фахівці у сфері системного аналізу даних можуть використовувати різні інструменти для покращення процесів аналізу, ухвалення рішень і управління ризиками. Вибір інструментів залежить від конкретних потреб системного аналізу, типу даних та цілей аналізу. Інтеграція ШІ в діяльність аналітиків даних дозволяє значно покращити ефективність і точність їхньої роботи. У статті проаналізовано способи застосування ШІ-інструментів в системному аналізі, серед яких: аналіз даних, автоматизація та роботизація, візуалізація даних, системи підтримки ухвалення рішень, обробка природної мови (NLP), прогностна аналітики та аналіз ризиків, системи експертних знань. У роботі запропоновано стратегії, які допоможуть організаціям зорієнтуватися у складнощях інтеграції ШІ та машинного навчання в системний аналіз задля покращення процесів аналізу, ухвалення рішень та управління ризиками. Інструменти ШІ систематизовано та зібрано у групи, залежно від їхньої специфіки і відповідно до сфери можливого використання у системному аналізі. У кожній з груп наведено та охарактеризовано декілька сучасних ШІ-інструментів для розв'язання спеціалізованих задач. Такий системний підхід дозволить фахівцям у сфері системного аналізу даних швидко зорієнтуватися з вибором можливих інструментів при розв'язанні конкретного завдання та розглянути можливі альтернативні варіанти інструментарію. Правильний та швидкий вибір ШІ-інструмента є важливим, оскільки допомагає фахівцю швидко досягти потрібного результату з меншою витратою сил. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації роботи фахівців різних професій у сфері системного аналізу.*

**Ключові слова:** штучний інтелект, ШІ, машинне навчання, системний аналіз, аналіз даних, системний аналітик, великі дані, тестування.

**O. G. TROFYMENKO**

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Information Technologies  
National University "Odesa Law Academy"  
ORCID: 0000-0001-7626-0886

YU. G. LOBODA

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Information Technologies  
National University "Odesa Law Academy"  
ORCID: 0000-0001-7083-552X

V. I. HURA

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Information Technologies  
National University "Odesa Law Academy"  
ORCID: 0009-0001-2166-5410

A. I. DYKA

Postgraduate Student at the Department of Information Technologies  
National University "Odesa Law Academy"  
ORCID: 0000-0002-4196-8734

M. I. STRILETS

Master's Degree  
National University "Odesa Law Academy"  
ORCID: 0009-0009-1941-6034

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS FOR SYSTEMS ANALYSIS

*The introduction of artificial intelligence (AI) and machine learning tools into data analytics has revolutionized data interpretation, providing unprecedented insights and facilitating data-driven decision-making across sectors. Data systems analysts can use a variety of tools to improve their analysis, decision-making, and risk management processes. The choice of tools depends on the specific needs of the systems analysis, the type of data, and the goals of the analysis. Integrating AI into the activities of data analysts can significantly improve the efficiency and accuracy of their work. The article analyzes the ways in which AI tools can be used in systems analysis, including: data analysis, automation and robotics, data visualization, decision support systems, natural language processing (NLP), predictive analytics and risk analysis, and expert knowledge systems. The paper proposes strategies that will help organizations navigate the complexities of integrating AI and machine learning into systems analysis to improve their analysis, decision-making, and risk management processes. AI tools are systematized and collected into groups, depending on their specifics and in accordance with the scope of possible use in systems analysis. In each group, several modern AI tools for solving specialized tasks are presented and characterized. Such a systematic approach will allow specialists in the field of systems data analysis to quickly navigate the choice of possible tools when solving a specific task and consider possible alternative options for the toolkit. The correct and quick choice of an AI tool is important, as it helps the specialist to quickly achieve the desired result with less effort. The results obtained can be used to optimize the work of specialists of various professions in the field of systems analysis.*

**Key words:** artificial intelligence, AI, machine learning, system analysis, data analysis, system analyst, big data, testing.

### Постановка проблеми

Фахівці у сфері системного аналізу даних можуть використовувати різні інструменти для покращення процесів аналізу, ухвалення рішень і управління ризиками. Вибір інструментів залежить від конкретних потреб системного аналізу, типу даних та цілей аналізу. Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) в діяльність аналітиків даних дозволяє значно покращити ефективність і точність їхньої роботи, а також адаптуватися до змін у бізнес-середовищі. Комбінація різних інструментів може надати більш комплексний підхід до розв'язання задач, пов'язаних зі ШІ і системним аналізом.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналізу використання інструментів ШІ та машинного навчання в системному аналізі даних присвячено не так багато досліджень. У роботі [1] проаналізовано можливості використанням ШІ для виявлення вимог клієнтів у розробці інформаційних систем. У статті [2] досліджено очікувані професійні навички від інженерів штучного інтелекту та тенденції їх навчання. У статті [3] розглянуто можливості ШІ-системи Data Formulator 2 для створення аналітиками даних ітеративних візуалізацій для дослідження даних. У роботі [4] досліджено можливості використання ШІ для виявлення, послаблення та запобігання кіберзагрозам. Стаття [5] досліджує інтеграцію ШІ та машинного навчання в прогнозне управління бізнес-процесами.

Невирішеною частиною проблеми є відсутність в наявних наукових публікаціях досліджень щодо систематизації різних інструментів ШІ та машинного навчання, які можуть бути оптимізувати роботу фахівців із системного

аналізу даних. З'ясування та чітке розуміння цих аспектів є актуальним як для потенційних кандидатів на відповідні вакансії, так і для керівництва організацій.

#### Формулювання мети та завдання дослідження

Мета дослідження – проаналізувати та систематизувати різні інструменти ШІ та машинного навчання, які можуть бути використані в роботі різних фахівців з аналізу великих даних для розв'язання спеціалізованих задач.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

За прогнозами дослідницької, консалтингової компанії Gartner щодо майбутнього ІТ-організацій і користувачів очікується, що ШІ змінить управління, цифрову поведінку, прийняття рішень і досвід співробітників. Очікується, що на 2026 рік 20% організацій використовуватимуть ШІ для оптимізації своєї організаційної структури, а до 2028 року вже 40% великих підприємств використовуватимуть ШІ задля заради прибутку [6]. При цьому глобальні витрати на програмне забезпечення ШІ зростає з 124 мільярдів доларів у 2022 році до 297 мільярдів доларів у 2027 році, тобто ринок зростатиме на 19,1% у річному обчисленні протягом наступних років [7].

Фахівці з системного аналізу застосовують ШІ у різних задачах для покращення процесів прийняття рішень, виявлення патернів та оптимізації роботи систем. Залежно від розв'язуваної прикладної задачі системного аналізу можна виділити такі способи застосування інструментів ШІ:

##### 1) аналіз даних:

– обробка великих обсягів даних: ШІ дозволяє аналізувати великі набори даних, виявляючи закономірності та тренди, які можуть бути неочевидні при традиційних методах аналізу;

– машинне навчання (МН): фахівці використовують алгоритми МН для прогнозування майбутніх тенденцій на основі наявних даних, що допомагає в ухваленні рішень;

2) візуалізація даних: завдяки ШІ, фахівці можуть створювати інтерактивні візуалізації (панелі моніторингу), які надають уявлення про дані в реальному часі, що спрощує аналіз і сприйняття інформації;

##### 3) системи підтримки ухвалення рішень:

– моделювання та симуляція: ШІ використовується для створення моделей, які дозволять фахівцям оцінювати різні сценарії та їхні наслідки перед ухваленням рішень;

– оптимізація процесів: алгоритми оптимізації застосовують для покращення бізнес-процесів, наприклад, у логістиці або в управлінні ресурсами;

4) системи експертних знань: ШІ може бути інтегровано в системи експертних знань для підвищення точності і швидкості ухвалення рішень на основі великої кількості даних;

##### 5) обробка природної мови (NLP):

– аналіз тексту: фахівці використовують NLP для аналізу неструктурованих даних (відгуки клієнтів або документи), щоб виявити важливі тренди та настрої користувачів [8];

– автоматизація звітності: ШІ може автоматично генерувати звіти та резюме на основі даних, зменшуючи час, необхідний для ручного аналізу;

##### 6) інструменти для прогнозової аналітики та аналізу ризиків:

– прогнозування попиту: ШІ допомагає аналізувати ринкові тренди для прогнозування попиту на продукти чи послуги, що дозволяє компаніям краще планувати виробництво та запаси;

– ранжування ризиків: системи ШІ можуть аналізувати дані, щоб оцінити й ранжувати ризики, пов'язані з різними сценаріями;

##### 7) автоматизація та роботизація:

– процеси автоматизації: використання роботизованих процесів автоматизації (RPA) для виконання рутинних завдань дозволяє фахівцям зосередитися на більш складних завданнях [9];

– аналіз та управління ризиками: ШІ може автоматично виявляти аномалії в системах, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози;

Інтеграція ШІ в системний аналіз може стати для організацій трансформаційним шляхом. Щоб перевірити свої практики системного аналізу на майбутнє, компаніям варто дотримуватися таких стратегій:

– *визначення сфери вдосконалення*: визначення областей у процесах системного аналізу, де ШІ може бути найефективнішим. Це може стосуватися автоматизації збору даних, проведення прогнозного аналізу або оптимізації розподілу ресурсів;

– *розвиток культури, керованої даними*: побудова культури, керованої даними, має вирішальне значення для успішного впровадження ШІ. Важливо навчити фахівців ефективно використовувати дані та ухвалювати рішення на основі інформації, наданої системами ШІ [10];

– *співпраця з експертами зі ШІ*: співпраця з експертами або консультантами зі ШІ може допомогти організаціям зорієнтуватися у складнощах впровадження ШІ. Ці спеціалісти можуть запропонувати вказівки щодо інтеграції системи, вибору правильних інструментів ШІ та ефективного керування процесом переходу;

– *забезпечення безпеки даних і етичне використання*: оскільки системи ШІ обробляють конфіденційні дані, організації мають пріоритизувати безпеку даних і дотримуватися етичних норм. Важливими є надійні заходи безпеки та відповідальне використання інформації, створеної ШІ задля збереження довіри клієнтів [11];

– *постійний розвиток та адаптація*: технології ШІ постійно розвиваються. Організаціям варто стежити за інноваціями й досягненнями ШІ та відповідним чином адаптувати свої процеси. Доречно регулярно оцінювати ефективність інтеграції ШІ та вносити необхідні корективи для використання нових можливостей і вирішення проблем.

З іншого боку, розгортання ШІ знизить для організацій потребу у труді працівників середньої ланки, що знизить витрати на оплату праці, заощадивши короткострокові та довгострокові вигоди. Це означає ліквідацію багатьох посад та звільнення працівників, що може викликати занепокоєння серед працівників щодо безпеки роботи та перешкоджати можливостям наставництва та зростання. Ще одним ключовим прогнозом є збільшення використання ШІ для моніторингу настроїв та аналізу поведінки співробітників на робочому місці. Хоча ця технологія може підвищити залученість і продуктивність, є побоювання, що вона може призвести до втрати автономії та довіри серед співробітників. За прогнозами Gartner до 2028 року близько одного мільярда людей можуть страждати від цифрової залежності, що призведе до таких проблем, як соціальна ізоляція та проблеми з психічним здоров'ям. Щоб вирішити цю проблему, Gartner очікує, що 70% організацій запровадять політику, спрямовану на зменшення цифрового перевантаження, таку як заборона спілкування в неробочий час і заохочення заходів, які скорочують час перед екраном [12]. Зважаючи на зазначені ризики та проблеми, організації повинні діяти продумано, щоб підтримувати баланс між технологічним прогресом і людським фактором.

Є різні інструменти ШІ, які можна використовувати для системного аналізу. Всі вони мають свою специфіку і відповідно дещо різні сфери використання. Аналіз можливостей різних ШІ-інструментів, які можуть бути використані у роботі тими чи іншими фахівцями у сфері системного аналізу, дозволив зібрати їх у групи відповідно до розв'язуваних задач (рис. 1).

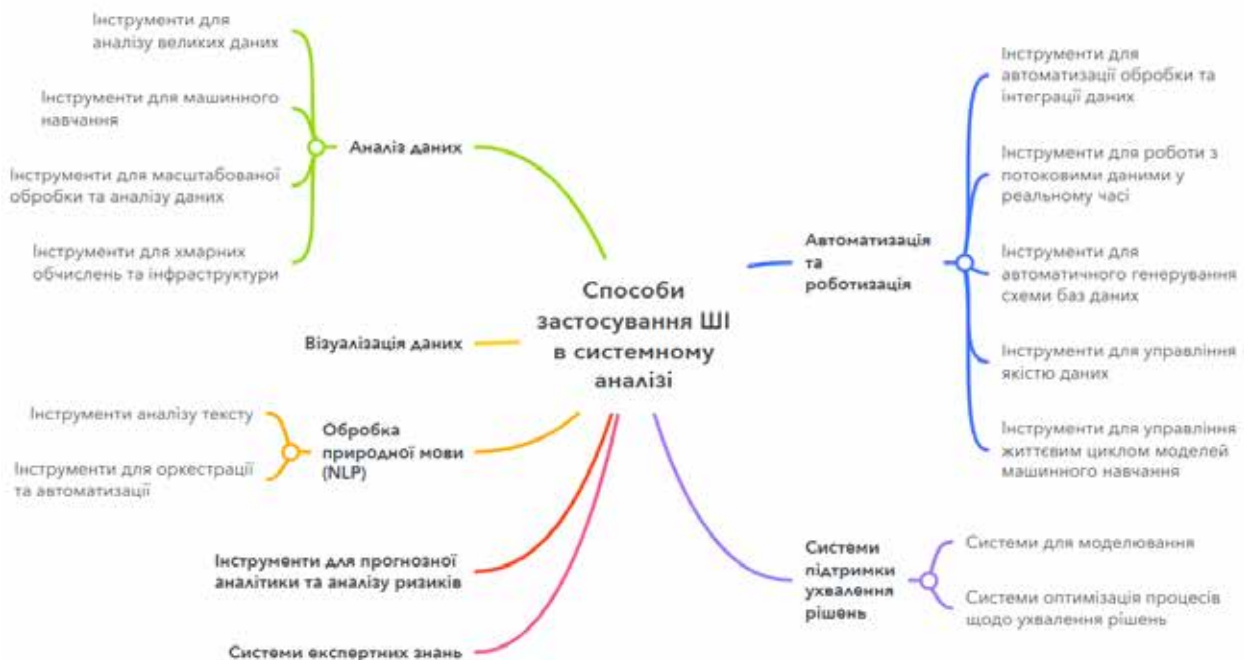


Рис. 1. Способи застосування інструментів ШІ у системному аналізі

## 1. Інструменти для аналізу даних:

### 1.1. Інструменти для аналізу великих даних (Big Data Analytics):

- Apache Spark – потужний фреймворк для розподіленої обробки даних. Spark дозволяє ефективно працювати з великими обсягами даних і підтримує інтеграцію з бібліотеками для МН, такими як MLlib для алгоритмів МН, що дозволяє обробляти великі обсяги даних та застосовувати моделі ШІ для аналізу даних в реальному часі. Spark може використовуватися для розпізнавання патернів у даних та оптимізації рішень;
- Apache Hadoop – набір інструментів для обробки великих даних у розподіленому середовищі. Hadoop має Hadoop Distributed File System (HDFS) для зберігання даних і MapReduce для оброблення великих даних [13];
- Apache Kafka – платформа для потокового оброблення даних, яка використовується для обміну повідомленнями між різними системами і для керування потоками даних у реальному часі. Kafka часто інтегрується з іншими інструментами для реального часу;
- Google BigQuery пропонує можливості для оброблення великих наборів даних за допомогою інструментів ШІ та МН, включаючи автоматичне виявлення трендів, класифікацію даних та створення прогнозних моделей;



– LightGBM – фреймворк для градієнтного бустінгу, який часто використовується для великих наборів даних;

– Cloudera – платформа для обробки великих даних, яка має інструменти ШІ для оброблення, аналізу та інтеграції великих масивів даних.

– Pandas – бібліотека для маніпуляцій з даними, яка дозволяє зручно обробляти та аналізувати табличні дані (обробка великих наборів даних);

– NumPy – бібліотека для роботи з числовими даними, що забезпечує підтримку математичних операцій і роботи з багатовимірними масивами.

#### 1.2. Інструменти для машинного навчання:

– Scikit-learn – бібліотека Python для традиційних методів МН (регресія, класифікація, кластеризація), що надає прості у використанні інструменти для МН, які можуть бути використані для прогнозування та класифікації. Вона підтримує численні алгоритми класифікації, регресії та кластеризації;

– TensorFlow – фреймворк від Google для побудови нейронних мереж, який підтримує різні моделі МН та глибокого навчання, має інструменти для роботи з текстовими даними та трансформерами через TensorFlow Hub;

– Hugging Face Transformers – бібліотека для роботи з трансформованими моделями (BERT, GPT, T5, RoBERTa тощо). Вона дозволяє застосовувати передтреновані моделі для задач класифікації тексту, аналізу настроїв, генерації тексту та ін.;

– Keras – високорівневий API для побудови нейронних мереж, працює поверх TensorFlow;

– PyTorch – фреймворк для створення та навчання глибоких нейронних мереж, що можуть бути використані для складних аналітичних задач;

– XGBoost – бібліотека для градієнтного бустінгу, популярна для задач класифікації та регресії, зокрема в змаганнях з аналізу даних.

#### 1.3. Інструменти для масштабованої обробки та аналізу даних:

– Dask – бібліотека для паралельних обчислень в Python, яка дозволяє працювати з великими даними і використовувати їх для машинного навчання;

– Databricks – платформа на базі Apache Spark має інструменти для аналізу великих даних, МН та інженерії даних у хмарі. Вона інтегрується з різними методами МН і дозволяє будувати складні аналітичні рішення;

– Google Cloud Dataproc – хмарний інструмент для запуску та управління кластерами Hadoop та Spark [13].

#### 1.4. Інструменти для хмарних обчислень та інфраструктури:

– Amazon Web Services (AWS) – хмарні сервіси, такі як S3 для зберігання даних, Lambda для безсерверної обробки даних, Glue для ETL, Redshift для зберігання великих даних і SageMaker для моделей машинного навчання [14];

– Google Cloud Platform (GCP) – хмарні інструменти для обробки та аналізу даних, використовуючи BigQuery для зберігання та аналізу великих даних, Dataflow для обробки потокових даних;

– Microsoft Azure – інструменти для зберігання та обробки даних, як-от: Azure Data Lake, Azure SQL Database, Azure Synapse Analytics.

#### 2. Інструменти для візуалізації даних:

– Matplotlib – кросплатформна бібліотека для побудови статичних, анімованих та інтерактивних 2D-візуалізацій у Python;

– Seaborn – розширення Matplotlib, яке забезпечує вищий рівень абстракції для створення різних статистичних графіків;

– Tableau – інструмент для візуалізації даних дозволяє створювати інтерактивні дашборди, виявляти тренди та патерни. Tableau Prep використовує алгоритми МН для прогнозування трендів, допомагає користувачам чистити та трансформувати дані, а також надавати автоматичні рекомендації по візуалізації [15];

– Power BI – інструмент для аналізу та візуалізації даних від Microsoft, який інтегрується з різними джерелами даних та ШІ для автоматизації бізнес-звітності. Power BI має вбудовані можливості автоматичного виявлення аномалій, прогнозування та аналізу даних на основі моделей машинного навчання. Power BI може використовувати мову природного запиту (Q&A), щоб користувачі могли отримувати відповіді на свої запити в реальному часі;

– Qlik Sense використовує ШІ для автоматичного виявлення інсайтів і візуалізації даних. Функції інтелектуальної аналітики цього інструмента допомагають виявляти взаємозв'язки в даних, що можуть бути непомітні при традиційному аналізі;

– TIBCO Spotfire дозволяє створювати інтерактивні візуалізації та панелі керування з автоматичним аналізом даних і рекомендаціями на основі моделей ШІ. Spotfire може застосовувати алгоритми ШІ для автоматичного виявлення кореляцій і трендів;

– Plotly – інструмент для створення інтерактивних візуалізацій.

### 3. Системи підтримки ухвалення рішень [16]:

#### 3.1. Системи для моделювання:

- AnyLogic – платформа для моделювання бізнес-процесів, яка дозволяє візуалізувати та аналізувати різні сценарії;
- Simul8 – інструмент для моделювання, який дозволяє створювати візуальні моделі бізнес-процесів і систем для оптимізації систем;
- MATLAB використовується для математичного моделювання, обробки даних і виконання складних аналітичних задач;
- H2O.ai використовує алгоритми машинного навчання для побудови та автоматичного налаштування моделей прогнозування та аналізу даних;
- RapidMiner – інструмент для аналізу даних і машинного навчання, що підтримує візуальне створення моделей;
- DataRobot – платформа автоматизованого машинного навчання, яка дозволяє створювати та оптимізувати моделі прогнозування без потреби глибоких знань у програмуванні. Інструмент автоматично генерує моделі й вибирає найефективніші для конкретних бізнес-завдань;
- Microsoft Azure Machine Learning – сервіс для розробки та впровадження моделей машинного навчання в бізнес-процеси.

#### 3.2. Системи оптимізації процесів щодо ухвалення рішень:

- KNIME – платформа для аналізу даних, яка дозволяє створювати робочі процеси для аналізу даних без програмування;
- IBM Watson – ІІІ-платформа, яка пропонує рішення для аналізу даних, виявлення патернів і підтримки ухвалення рішень.

#### 4. Системи експертних знань:

- Prolog – мова програмування для побудови систем експертних знань, які базуються на логічному програмуванні;
- CLIPS – система для розробки експертних систем, яка дозволяє створювати правила та бази знань.

### 5. Оброблення природної мови (Natural language processing, NLP):

#### 5.1. Інструменти аналізу тексту:

- spaCy – бібліотека для оброблення тексту, яка підтримує різноманітні завдання NLP: аналіз тексту, токенизація, розпізнавання сутностей, парсинг тощо;
- NLTK (Natural Language Toolkit) – бібліотека для оброблення природної мови в Python, що містить інструменти для токенизації, стемінгу, лематизації, аналізу синтаксису та семантики тексту, його аналізу та лінгвістичних обробок;
- IBM Watson Analytics використовує можливості NLP для автоматичного аналізу текстових даних (відгуків клієнтів, соціальних медіа або документів), щоб витягнути цінну інформацію і виявити патерни. Цей підхід дозволяє отримувати інсайти зі складних текстових джерел;
- Google Cloud Natural Language API – інструмент для аналізу текстових даних (коментарів клієнтів) для визначення настроїв, категорій і ключових тем у текстах, що допомагає в прийнятті рішень на основі текстових даних;
- Gensim – бібліотека для тематичного моделювання та оброблення великих текстових даних, зокрема для створення моделей векторів слів.

#### 5.2. Інструменти для оркестрації та автоматизації:

- Apache Airflow – інструмент для автоматизації та оркестрації робочих процесів. Airflow дозволяє автоматизувати ETL-процеси та управління завданнями в пайплайнах даних;
- Luigi – інструмент для побудови складних пайплайнів обробки даних, який забезпечує планування та управління завданнями;
- Kubeflow – інструмент для побудови пайплайнів МН в середовищі Kubernetes орієнтований на інтеграцію та оркестрацію моделей МН у хмарних середовищах;
- UiPath – платформа для роботизованої автоматизації процесів, яка може бути інтегрована з ІІІ для автоматизації рутинних завдань;
- Blue Prism – платформа для роботизованої автоматизації процесів, що підтримує автоматизацію бізнес-процесів з можливістю використання ІІІ;
- Salesforce Einstein використовує ІІІ для автоматизації аналітики в CRM, прогнозування поведінки клієнтів, виявлення трендів і надання рекомендацій щодо подальших кроків у взаємодії з клієнтами;
- HubSpot AI використовує технології ІІІ для автоматичного створення звітів, виявлення можливостей для продажу і покращення взаємодії з клієнтами, що дозволяє бізнес-аналітикам знаходити найкращі стратегії для покращення клієнтського досвіду;

– Zoho Analytics пропонує інструменти для автоматизації звітності та аналізу даних за допомогою ШІ. Зокрема, він використовує інтелектуальні панелі, які автоматично адаптуються до запитів користувачів і пропонують рекомендації.

6. Інструменти для прогнозування аналітики та аналізу ризиків:

– SAS Risk Management – платформа для управління ризиками, яке використовує аналітичні моделі для оцінки та прогнозування ризиків.

– SAS Analytics має потужні інструменти для прогнозування аналітики, в тому числі моделі МН для аналізу великих даних і побудови прогнозних моделей на основі передбачуваних тенденцій [15];

– RapidMiner – платформа для аналізу даних, яке має інструменти ШІ для виявлення закономірностей, аномалій, класифікації даних, прогнозування бізнес-показників та оцінки ризиків;

– Alteryx – потужний інструмент для обробки і аналізу даних, який використовує можливості машинного навчання для прогнозування і автоматизації аналітики. Alteryx дозволяє створювати прогностичні моделі, аналізувати дані з різних джерел та інтегрувати ШІ для точних прогнозів;

– Amazon Forecast – інструмент для прогнозування майбутніх показників, що використовує ШІ для автоматичного виявлення сезонних змін і трендів у даних. Його можна використовувати для прогнозування попиту, продажів або фінансових результатів.

7. Автоматизація та роботизація:

7.1. Інструменти для автоматизації обробки та інтеграції даних:

– Apache NiFi – інструмент для автоматизації потоків даних між різними системами. NiFi дозволяє легко інтегрувати джерела даних і передавати їх між системами у реальному часі;

– Talend – платформа для інтеграції даних, яка надає інструменти для розробки ETL процесів і підключення до різних джерел даних;

– DBT (Data Build Tool) – інструмент для трансформації даних, який забезпечує управління SQL-скриптами для інтеграції та обробки даних в сховищах даних.

7.2. Інструменти для роботи з потоковими даними у реальному часі:

– Apache Flink – інструмент для обробки потокових даних у реальному часі, підтримує складні операції на потоці даних для моніторингу, прогнозування або аналітики;

– Apache Storm – система для обробки даних у реальному часі, яка підтримує неперервні потоки обчислень;

– Amazon Kinesis – система потокового оброблення даних в AWS, що дозволяє збирати, обробляти й аналізувати дані в реальному часі [17].

7.3. Інструменти для автоматичного генерування схеми баз даних:

– ERwin Data Modeler – інструмент для моделювання даних, який використовує алгоритми ШІ для аналізу даних і створення відповідних схем;

– Oracle Autonomous Database використовує ШІ для автоматизації багатьох процесів у базах даних, серед яких: оптимізація запитів, безпека та оновлення схем.

7.4. Інструменти для управління якістю даних (Data Quality):

– Trifacta – інструмент для очищення та підготовки даних, який використовує ШІ для автоматичного виявлення та виправлення помилок у даних (наприклад, помилок форматування або дублювання);

– DataRobot – платформа для автоматизації МН, яку використовують для виявлення аномалій у даних та для їх автоматичної класифікації [18];

– Informatica Data Quality – інструмент для забезпечення якості даних, який використовує алгоритми ШІ для аналізу, виявлення проблем і рекомендацій щодо очищення даних;

– Splunk – інструмент для моніторингу й аналізу даних у реальному часі, який використовує ШІ для виявлення аномалій у даних і генерування попереджень;

– Anodot – платформа для автоматичного виявлення аномалій, яка використовує ШІ для виявлення незвичайних патернів у великих обсягах даних і попереджає про потенційні проблеми.

7.5. Інструменти для управління життєвим циклом моделей МН [19]:

– MLflow – платформа для управління життєвим циклом моделей МН, включаючи трекінг експериментів, управління моделями та їх розгортання;

– Kubeflow Pipelines – платформа для розгортання пайплайнів машинного навчання в Kubernetes, що забезпечує автоматизацію процесів тренування, тестування та впровадження моделей;

– TensorFlow Extended (TFX) – інструмент для інтеграції та розгортання моделей машинного навчання, побудованих на TensorFlow.

## Висновки

1. Проаналізовано способи застосування ШІ-інструментів в системному аналізі, серед яких: аналіз даних, автоматизація та роботизація, візуалізація даних, системи підтримки ухвалення рішень, обробка природної мови (NLP), прогнозна аналітики та аналіз ризиків, системи експертних знань.

2. Запропоновано стратегії, які допоможуть організаціям зорієнтуватися у складнощах інтеграції ШІ та машинного навчання в системний аналіз задля покращення процесів аналізу, ухвалення рішень та управління ризиками.

3. Інструменти ШІ систематизовано та зібрано у групи, залежно від їхньої специфіки і відповідно до сфери можливого використання у системному аналізі. У кожній з груп наведено та охарактеризовано декілька сучасних ШІ-інструментів для розв'язання спеціалізованих задач. Такий системний підхід дозволить фахівцям у сфері системного аналізу даних швидко зорієнтуватися з вибором можливих інструментів при розв'язанні конкретного завдання та розглянути можливі альтернативні варіанти інструментарію.

Вибір інструментів залежить від конкретних потреб системного аналізу, типу даних та цілей аналізу. Інтеграція ШІ в діяльність аналітиків даних дозволяє значно покращити ефективність і точність їхньої роботи, а також адаптуватися до змін у бізнес-середовищі.

### Список використаної літератури

1. Aleryani A. Eliciting Client Requirements in Developing Information Systems Using Artificial Intelligence (Opportunities and Challenges). *International Journal of Recent Engineering Science*. 2024. Vol. 11(3). P. 126-133. DOI: <https://doi.org/10.14445/23497157/IJRES-V11I3P115>
2. Ozkaya I. An AI Engineer Versus a Software Engineer. *IEEE Software*. 2022. Vol. 39, Issue: 6. P. 4-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/MS.2022.3161756>.
3. Wang Ch., Lee B., Drucker S., Marshall D., Gao J. Data Formulator 2: Iteratively Creating Rich Visualizations with AI. *arXiv*. 2024. Vol. 2408.16119. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.16119>
4. Johnson K., Lawrence A. AI/ML in Security Orchestration, Automation and Response: Future Research Directions. *Intelligent Automation & Soft Computing*. 2021. Vol. 28(2). P. 527-545. DOI: <https://doi.org/10.32604/iasc.2021.016240>
5. Abbasi M., Nishat R., Bond C., Graham-Knight B., Lasserre P., Lucet Y., Najjaran H. A Review of AI and Machine Learning Contribution in Predictive Business Process Management (Process Enhancement and Process Improvement Approaches). *arXiv*. 2024. Vol. 2407.11043. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.11043>
6. Gartner Unveils Top Predictions for IT Organizations and Users in 2025 and Beyond. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-10-22-gartner-unveils-top-predictions-for-it-organizations-and-users-in-2025-and-beyond>
7. Gartner Predicts AI Software Will Grow To \$297 Billion By 2027. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/gartner-predicts-ai-software-grow-297-billion-2027-louis-columbus-okpfc>
8. What is AI analytics? URL: <https://www.ibm.com/think/topics/ai-analytics>
9. Modern techniques for data cleansing and transformation. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/modern-techniques-data-cleansing-transformation-gxiaf/>
10. Стрілець М.І., Трофименко О.Г. Стратегії та перспективи розвитку системного аналізу з впровадженням штучного інтелекту. *Актуальні питання автоматизації та інформаційних технологій (АТИТ-2024)*: матер. III всеукр. наук.-практ. конф., 21 листопада 2024р., Кременчук. URL: <https://atit.kdu.edu.ua/publ.php>
11. Трофименко, О. Г., Соколов, А. В., Чикунів, П. О., Ахмамєтьєва, Г. В., Манаков С. Ю. (2024). Штучний інтелект у військовій кіберсфері. *Технології та інжиніринг*, 4(21), 85–92. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.4.8>.
12. Gartner: AI to reshape organizations and workplaces by 2025. URL: <https://backendnews.net/gartner-ai-to-reshape-organizations-and-workplaces-by-2025/>
13. 20 Top Rated Data Analytics Tools Of 2024. URL: <https://airbyte.com/top-etl-tools-for-sources/data-analytics-tools>
14. Miguel P.G. 23 Best Cloud Service Providers Reviewed For 2024. URL: <https://thectoclub.com/tools/best-cloud-service-providers/>
15. Top 24 tools for data analysis and how to decide between them. URL: <https://ua.stitchdata.com/resources/data-analysis-tools/>
16. 10 Data Analysis Tools and When to Use Them. *Coursera*. URL: <https://www.coursera.org/articles/data-analysis-tools>
17. Amazon Kinesis vs Apache Storm: Which Tool is Better for Your Next Project? URL: <https://www.projectpro.io/compare/amazon-kinesis-vs-apache-storm>
18. Data quality checks. *DataRobot*. URL: <https://docs.datarobot.com/en/docs/data/analyze-data/quality-check.html>
19. Ransford A. MLOps: A deep dive into TFX, Kubeflow, ZenML, and MLflow. URL: <https://medium.com/@ransford.addai/mlops-a-deep-dive-into-tfx-kubeflow-zenml-and-mlflow-847f57c47b03>

### References

1. Aleryani, A. (2024). Eliciting Client Requirements in Developing Information Systems Using Artificial Intelligence (Opportunities and Challenges). *International Journal of Recent Engineering Science*, 11(3), 126-133. <https://doi.org/10.14445/23497157/IJRES-V11I3P115>

2. Ozkaya, I. (2022). An AI Engineer Versus a Software Engineer. *IEEE Software*, 39(6), 4-7. <https://doi.org/10.1109/MS.2022.3161756>.
3. Wang, Ch., Lee B., Drucker, S., Marshall, D., & Gao, J. (2024). Data Formulator 2: Iteratively Creating Rich Visualizations with AI. *arXiv*, 2408.16119. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.16119>
4. Johnson, K. & Lawrence, A. (2021). AI/ML in Security Orchestration, Automation and Response: Future Research Directions. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 28(2), 527-545. <https://doi.org/10.32604/iasc.2021.016240>
5. Abbasi, M., Nishat, R., Bond, C., Graham-Knight, B., Lasserre, P., Lucet, Y., & Najjaran, H. A (2024). Review of AI and Machine Learning Contribution in Predictive Business Process Management (Process Enhancement and Process Improvement Approaches). *arXiv*, 2407.11043. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.11043>
6. Gartner Unveils Top Predictions for IT Organizations and Users in 2025 and Beyond. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2024-10-22-gartner-unveils-top-predictions-for-it-organizations-and-users-in-2025-and-beyond>
7. Gartner Predicts AI Software Will Grow To \$297 Billion By 2027. <https://www.linkedin.com/pulse/gartner-predicts-ai-software-grow-297-billion-2027-louis-columbus-okpfc>
8. What is AI analytics? <https://www.ibm.com/think/topics/ai-analytics>
9. Modern techniques for data cleansing and transformation. <https://www.linkedin.com/pulse/modern-techniques-data-cleansing-transformation-gxiaf/>
10. Trofymenko, O.G. & Strilets, M.I. (2024). Stratehii ta perspektyvy rozvytku systemnoho analizu z vprovadzhenniam shtuchnoho intelektu. [Strategies and prospects for the development of systems analysis with the introduction of artificial intelligence]. *3rd All-Ukrainian scientific and practical conference "Current issues of automation and information technologies"*, Kremenchug, November 21-22. <https://atit.kdu.edu.ua/publ.php> [in Ukrainian]
11. Trofymenko, O.G., Sokolov, A. V., Chykunov P. O., Akhmametiyeva H. V., & Manakov S. Yu. (2024). Shtuchnyi intelekt u viiskovii kibersferi [AI in the military cyber domain]. *Technologies and Engineering*, 4(21), 85-92. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.4.8>. [in Ukrainian]
12. Gartner: AI to reshape organizations and workplaces by 2025. <https://backendnews.net/gartner-ai-to-reshape-organizations-and-workplaces-by-2025/>
13. 20 Top Rated Data Analytics Tools Of 2024. <https://airbyte.com/top-etl-tools-for-sources/data-analytics-tools>
14. Miguel, P.G. 23 Best Cloud Service Providers Reviewed For 2024. <https://thetoclub.com/tools/best-cloud-service-providers/>
15. Top 24 tools for data analysis and how to decide between them. <https://ua.stitchdata.com/resources/data-analysis-tools/>
16. 10 Data Analysis Tools and When to Use Them. *Coursera*. <https://www.coursera.org/articles/data-analysis-tools>
17. Amazon Kinesis vs Apache Storm: Which Tool is Better for Your Next Project? <https://www.projectpro.io/compare/amazon-kinesis-vs-apache-storm>
18. Data quality checks. *DataRbot*. <https://docs.datarobot.com/en/docs/data/analyze-data/quality-check.html>
19. Ransford, A. MLOps: A deep dive into TFX, Kubeflow, ZenML, and MLflow. <https://medium.com/@ransford.addai/mlops-a-deep-dive-into-tfx-kubeflow-zenml-and-mlflow-847f57c47b03>

V. O. KHOLIEV

Postgraduate Student at the Department of Electronic Computers  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
ORCID: 0000-0002-9148-1561

O. YU. BARKOVSKA

Associate Professor at the Department of Electronic Computers  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
ORCID: 0000-0001-7496-4353

## MODIFICATION OF THE METHOD OF LARGE TEXT SETS CLUSTERING

*In this paper, a comparative analysis of common clustering methods such as k-means, Latent Dirichlet Distribution or LDA, Hierarchical Clustering Algorithm or HC, Density-based spatial clustering of applications with noise or DBSCAN, and Gaussian Mixture Model or GMM was conducted. The analysis was performed according to the selected criteria, such as scalability, computational complexity, presence (or absence) of a predefined number of clusters, and the evaluation approach (absolute with a clear relation to the cluster or relative using probabilities). According to the results, the DBSCAN method was chosen for further consideration due to a number of advantages, and the modification mod\_DBSCAN was proposed, which reduces the number of potential calculations at each iteration, as a result, reduces computational complexity, and also increases system performance in conditions of limited resources. The modification consists of two changes: the vectorization stage, which is based on the annotation and keywords of the text specified by the author instead of the full text, and distance estimation for the so-called noisy points, which is performed in two steps. Popular datasets for the clustering task were analyzed. The proposed modification was tested on own Academ Lib Set dataset, formed on the basis of materials in the electronic catalog of the NURE scientific library. The analysis of the results showed an improvement in Precision by 5.6%, Recall by 12.5%, and F-score by 9.65%, which proves the effectiveness of the proposed modification. Further developments include testing combinations of methods and modules into larger functional blocks to identify and eliminate potential problems, as well as further optimization of such blocks. A separate work will investigate the approach to re-clustering after the dataset is updated. The quality of the new distribution is planned to be assessed based on the Rand index.*

**Key words:** clustering, clusterization, classification, dbscan, k-means, text processing, preprocessing, text, accuracy, cluster.

В. О. ХОЛІВ

аспірант кафедри електронних обчислювальних машин  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
ORCID: 0000-0002-9148-1561

О. Ю. БАРКОВСЬКА

доцент кафедри електронних обчислювальних машин  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
ORCID: 0000-0001-7496-4353

## МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ВЕЛИКИХ ТЕКСТОВИХ МАСИВІВ

*У даній роботі було проведено порівняльний аналіз розповсюджених методів кластеризації, таких як k-means, Латентний розподіл Діріхле або LDA, Ієрархічний алгоритм кластеризації (IC), Density-based spatial clustering of applications with noise або DBSCAN, а також Модель суміші гаусіан (Gaussian Mixture Model або GMM). Аналіз проводився згідно з обраними критеріями, такими як масштабованість, обчислювальна складність, наявність (чи відсутність) умови попередньо визначеного числа кластерів, а також підхід до оцінювання (абсолютний з чітким відношення до кластеру або відносний з використання вірогідностей). Згідно з результатами, для подальшого розгляду був обраний метод DBSCAN через ряд переваг та зрештою була запропонована модифікація, яка зменшує кількість потенційних обчислень на кожній ітерації, як наслідок зменшує обчислювальну складність, що у свою чергу підвищує продуктивність системи, особливо в умовах обмежених ресурсів. Модифікація полягає у двох змінах: етапі векторизації, яка відбувається за анотацією та ключовими словами тексту, вказаними автором, замість повного тексту та оцінки відстані для так званих шумних точок, яка відбувається у два етапи. Запропоновану модифікацію методу DBSCAN було випробувано на власному датасеті Academ Lib Set, сформованому на основі матеріалів які знаходяться в електронному каталозі наукової бібліотеки ХНУРЕ. Аналіз результатів показав покращення результатів показників Precision на 5,6%, Recall на 12,5% та F-міри на 9,65%, що*

доводить дієвість запропонованої модифікації. Подальші кроки передбачають випробування поєднань методів та модулів у більшій функціональні блоки для виявлення та усунення потенційних проблем, а також подальша оптимізація таких блоків. Окремим роботою передбачається дослідження підходу до повторної кластеризації після оновлення набору даних з першочерговим розглядом підходів повторної кластеризації усіх документів (поточний метод) та такої для точок з найменшим силуетним коефіцієнтом. Оцінка якості формування нового розподілення планується на основі індексу Ранда.

**Ключові слова:** кластеризація, класифікація, *dbscan*, *k-means*, обробка тексту, препроцесінг, текст, точність, кластер.

**Introduction**

It is known that information has been accumulated since ancient times. The vast majority of information that was created was written, i.e., textual. And although since the mid-to-late twentieth century, with the development of technology, it has become possible to easily create, transmit, use and convert audio-visual information, huge amounts of already created textual information have remained at the disposal of humanity, and the textual type of information is actively used in all spheres of life. One of these areas is the academic and scientific sphere, where knowledge is still accumulated and transformed in textual form. This is due not only to the psychological and cultural traditions of mankind, but also to the fact that this form of information is the densest in terms of information load, unlike audio or visual formats.

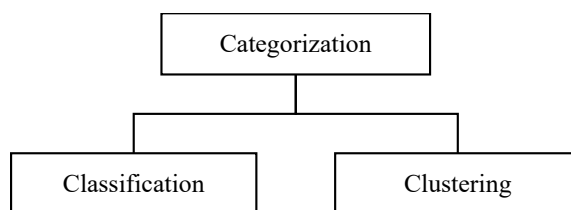
Because of this, librarianship in general and the task of organizing and storing information in an organized manner in particular remains relevant, especially in the context of the overall increase in the volume of information generation with the emergence and development of the World Wide Web. In addition to librarianship, categorization is actively used in other areas that work with information (Figure 1).

Market analysis	• Identification of consumer groups with similar preferences or needs
Medical diagnostics	• Group patients by symptoms or diagnoses for better treatment
Text processing	• Grouping articles by topic or classifying documents
Building recommendations	• Recommendation systems based on clustering users by similar preferences
Working with clients	• Automatically sort emails or support requests

**Fig. 1. Text categorization application areas**

The organization process may include different steps depending on the goals and objectives, as well as the design of the structure, but it almost always includes a step of categorizing information, i.e., assigning it to a certain category.

While in the periods of analog librarianship, such a process was classification in nature – creating a list of classes and assigning information to one (or more) classes based on a number of criteria – in the digital era, with the development of computing power and an unprecedented increase in the amount of information that needs to be categorized, another type of categorization has become available on a practical level – clustering (Figure 2).



**Fig. 2. General types of categorizations**

During clustering, the entire set of information, or some part of it is analyzed, in the process of which, based on pre-formed or dynamically discovered criteria, the algorithm independently selects clusters and assigns information to them [1-2].

When it comes to categorizing information, criteria mean the properties of information units, or rather the difference in states of these properties.

While the properties of information units, such as subject matter or number of pages, are generic and inert in themselves, it is the difference in values or specific values of these properties that are the criteria for categorization, as they are comparable (e.g., what is the subject matter, what is the number of pages, is it greater than a given threshold, etc.).

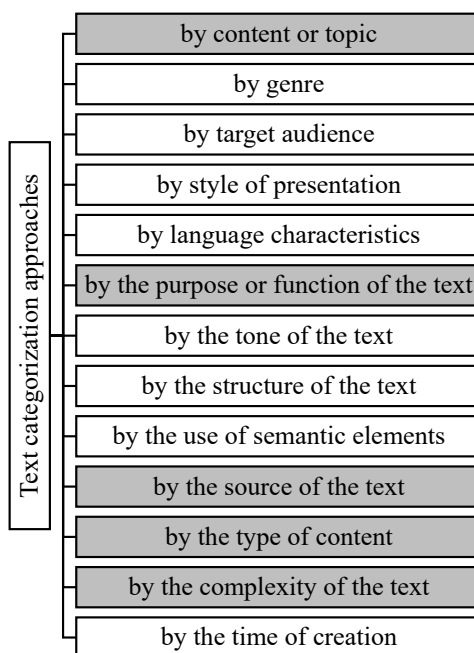


Fig. 3. Systematization of approaches to text categorization

In the context of information categorization, and more specifically, the clustering approach, a cluster is defined as a homogeneous group of objects that are very similar according to specified criteria and very dissimilar to other clusters of objects. A cluster has the following mathematical characteristics: center, radius, standard deviation, and cluster size. In turn, the center of the cluster is the average geometric location of the points in the space of variables, and the radius of the cluster is the maximum distance of the points from the center of the cluster.

Clusters can be overlapping. In this case, it is impossible to unambiguously assign an object to one of the two clusters using mathematical procedures. Such objects are called ambiguous, i.e., those that can be assigned to several clusters to the extent of similarity.

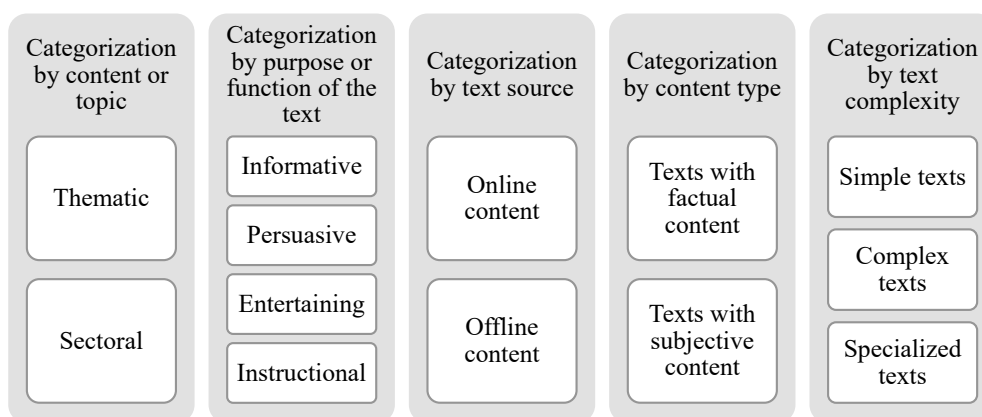


Fig. 4. Breakdown of sources by category type

The size of a cluster can be determined either by the cluster radius or by the standard deviation of the objects in the cluster. An object belongs to a cluster if the distance from the object to the center of the cluster is less than the cluster radius. If this condition is met for two or more clusters, the object is considered ambiguous.

Therefore, the condition for the emergence of a new cluster is the case when the distance of the object from the centers of all clusters is greater than their respective radii.



The result of clustering is a list of clusters and the units of information that belong to them. Another common way to visualize the results is to represent the objects as points and build a two-dimensional or three-dimensional graph – the so-called “cluster map”.

This approach is useful when the categorization criteria are known in advance, but the final categories are not known, for example, when working with an unsorted data set. This is a suitable use case for a knowledge sharing system for young scientists, which was presented in [3] for the task of distributing the contingent of users according to the criterion of the direction of scientific interests, which are expressed in the topics and directions of their scientific works.

#### Related works

As was previously described, the clustering problem is not new, and despite the lack of practical implementation at the time, many solutions to the clustering problem have been proposed in the form of one or another approach. The following are popular and widespread clustering methods.

##### K-means

One of the most popular and simplest clustering algorithms. It divides the data into a predefined number of clusters, determining the centroid for each of them randomly or using some method (for example, k-means++). After the initial centroid calculation, each data point is assigned to the cluster whose centroid is closest to it. Next, new centroids are calculated for each cluster. Reassignment of clusters to data points and replacement of centroids is repeated until the centroids stop changing or until a specified number of iterations is reached. The advantages of k-means include simplicity and efficiency, but the algorithm requires a predefined number of clusters and is sensitive to outliers. In addition, it assumes that the clusters are spherical, which does not always correspond to the real-world data.

##### Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN)

The DBSCAN algorithm is based on the idea that a cluster in the data space is a continuous region of high point density separated from other similar clusters by continuous regions of low density [4]. To implement this, it uses two parameters – the maximum distance between points to be considered neighboring, and the number of points beyond which the density will be considered high and, accordingly, part of the cluster. To begin with, a random point in the set is selected and the number of neighboring points within the specified distance is calculated. If it is equal to or exceeds the minimum parameter, then all the found points (including the random one) are considered part of a newly defined cluster. After that, this step is recursively repeated for other points in the cluster until the number of neighboring points is less than the minimum. In this case, another random unprocessed point is selected, and the steps are repeated. The special feature of this algorithm is that it allows points that have not been assigned to any cluster, the so-called “noise points”. The DBSCAN algorithm is well suited for datasets with unusual distribution shapes and also handles outliers well, but it is highly sensitive to the chosen parameter values.

##### Latent Dirichlet allocation (LDA)

Latent Dirichlet allocation [5] is an unsupervised machine learning algorithm used in natural language processing to identify hidden topics present in a large corpus of documents. It works by assigning each document to a set of topics, and then uses a generative probabilistic model to determine the probability that a particular word in the document belongs to a particular topic. The algorithm uses two parameters – the number of topics and the distribution of words in each topic. The model assumes that there is a fixed set of topics (called the “preliminary”) that are common to all documents, and for each document it looks for the distribution of these topics.

##### Hierarchical clustering (HC)

This method works as follows: first, each point is assigned to its own cluster. Then, using a specific proximity algorithm, the clusters closest to each other are determined and added to a new merged cluster. This is repeated until there is only one single remaining cluster that contains all the points. To determine the final distribution of clusters, a so-called dendrogram is constructed, which corresponds to the sequence of cluster merging. The final distribution is determined at the boundary between the two most distant mergers according to the constructed dendrogram. In this case, the cluster distance algorithm plays a crucial role.

##### Gaussian Mixture Model (GMM)

A GMM is a type of unsupervised learning algorithm, called so because it assumes that the data points to be clustered are not labeled with a value to be predicted. A GMM is usually expressed as a mixture of Gaussians, where each component represents a single variable. Each Gaussian is a probability density function that defines the probability that a data value falls within a certain distribution. The model assigns a probability to each cluster, which indicates the probability of a data point belonging to that cluster. GMM is capable of detecting clusters in data containing multiple overlapping distributions. For example, if a dataset contains data points that are grouped into two different categories, GMM can separate them into two separate clusters.

To analyze the above methods, it is necessary to determine the criteria for selecting the optimal one. In the framework of this work, the appropriate criteria are:

- scalability (the ability of the clustering algorithm to efficiently process large amounts of data or adapt to the growth of the input data size);

- computational complexity (describes the amount of time it takes for a clustering algorithm to perform its work with respect to a certain amount of data);
- the requirement to pre-determine the number of clusters;
- evaluation approach (absolute with a clear cluster association or relative using probabilities).

In accordance with the specified criteria, it is necessary to analyze the existing methods of text clustering and select the one or those that best meet them. The comparative analysis is presented in the table 1.

Table 1

**Overview of the clustering methods characteristics**

Method	Scalability	Comp. complexity	Pre-set number of clusters	Evaluation approach	Outstanding cons
K-means	good	$O(d*k*f)$ , where $d$ – number of docs in the corpus, $k$ – number of clusters, $f$ – number of features	yes	absolute	Sensitive to outliers; Spherical clusters shape
LDA	bad	$O(d*n*t)$ , where $d$ – number of docs in the corpus, $n$ – average number of words in documents, $t$ – number of topics	yes	probabilistic	Describes each document as a set of topics; Predetermined set of topics
HC	bad	$O(d^2)$ , where $d$ – number of docs in the corpus	no	absolute	High computational complexity
DBSCAN	good	$O(d*log(d))$ , where $d$ – number of docs in the corpus	no	absolute	Sensitive to parameter values
GMM	bad	$O(d*g*f^2)$ , where $d$ – number of docs in the corpus, $g$ – number of Gaussians, $f$ – number of features	yes	probabilistic	Probabilistic approach to clustering; The need for a large number of sets for more accurate distribution.

Based on the results in the table and in accordance with the specified criteria, the DBSCAN method was chosen for analysis in this paper due to such properties as the absence of an initial condition on the number of clusters, the ability to form clusters of complex shapes and different sizes, and relatively lower computational complexity.

Similar studies have already been conducted [6-9], but none of them tested various clustering methods on a scientific and academic dataset. Therefore, testing and further modification of the method to take into account the potential features of such a dataset is a relevant task.

**Aims and Tasks of the Work**

The aim of this paper is to modify the clustering method of large text sets for the purpose of its further use in the text processing module of the knowledge exchange system for young scientists for the task of primary clustering of the user pool, as well as for the task of distributing further additions to existing or new clusters.

To achieve this goal, the following tasks must be accomplished:

- review datasets that will include scientific publications, articles and papers;
- conduct a comparative analysis of clustering methods according to the specified criteria;
- perform basic clustering of the selected dataset based using the DBSCAN method to determine the benchmark performance indicators (baseline);
- propose a modification of the DBSCAN method using the decomposition of input data taking into account the architecture of the computer system, which will reduce computational complexity and speed up the algorithm in conditions of limited system resources;
- analyze the results obtained.

Since this paper is the final one in the cycle of describing the methods used in the proposed system [3], the next steps include testing combinations of methods and modules into larger functional blocks to identify and eliminate potential problems, as well as further optimization of these blocks. A separate study is planned to investigate the approach to re-clustering after updating the dataset, with priority consideration of approaches to re-clustering all documents (the current method) and one for points with the lowest silhouette coefficient. The quality of the new distribution is planned to be assessed based on the Rand index.

**Results and Discussion**

Before modifying the clustering method, we derive a generalized algorithm [6-9]. The input is the document text, which is first of all subject to preprocessing, consisting of tokenization stages – splitting the text into tokens (usually words), cleaning the resulting set of tokens from noise, such as stop words, and further lemmatization or stemming. Optionally, a blacklist can be used at the noise removal stage, with words that should not be filtered out. After that, the processed token set is vectorized using one of the appropriate methods. This stage is also called feature extraction. The resulting vector represents a point in the multidimensional feature space, and the distance of the values of these features

is usually used to assign to clusters or to select a new one (depending on the algorithm). A diagram of such a generalized algorithm is shown in Figure 5.

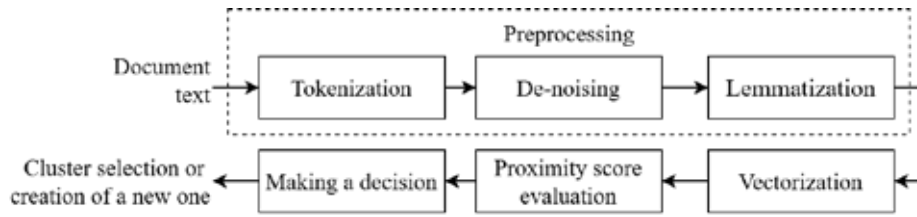


Fig. 5. Generalized clustering process

Based on the chosen DBSCAN clustering method, let's depict the proposed modification in the form of a flowchart (figure 6a). The proposed modification consists of two changes: the vectorization stage and distance estimation for the so-called noisy points. These modifications are aimed at reducing the number of potential computations, thereby reducing the computational complexity, which in turn will increase the system performance, especially in resource-constrained environments.

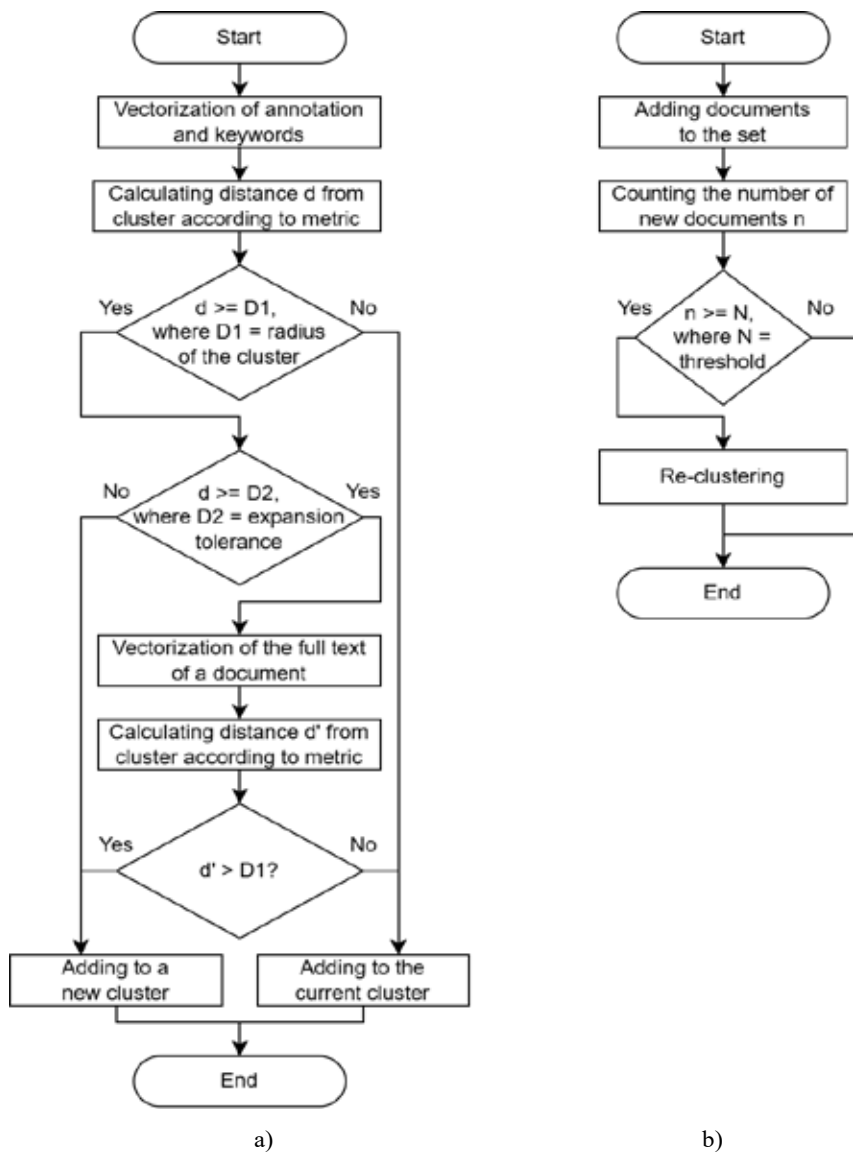
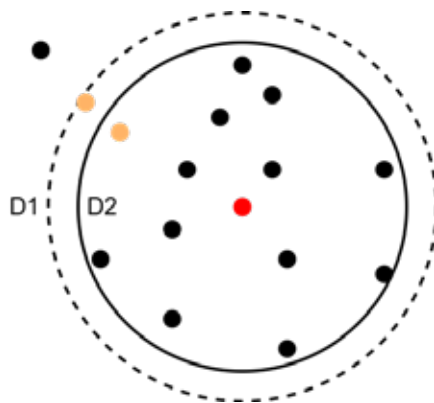


Fig. 6. Flowcharts of the proposed solutions: a) two-stage clustering, б) condition of reclustering

Unlike the traditional vectorization stage, which usually vectorizes the full text of a document, the modified stage is applied only to the abstract and keywords provided by the author or authors of the document. This greatly reduces the computations that need to be performed at this stage for each document.

During the scanning of the epsilon radius, or the so-called threshold, for neighboring points, another, larger scanning radius is added – the tolerance of the threshold. Points that fall outside the traditional epsilon but within the tolerance range are calculated in an additional round of distance calculations. For this purpose, the full text of the document is vectorized and the epsilon distance is checked.

If a point based on a full-text vector falls within these boundaries, it becomes part of a cluster (figure 7).



**Fig. 7. Visualization of point configurations corresponding to the cases of the modified algorithm, where D2 is the threshold, D1 is the threshold tolerance**

Since this algorithm is planned to be used in a knowledge sharing system for young scientists [3], it is necessary to provide a scenario of new raw data being added to the existing distribution. Since it is impractical to re-cluster for each new arrival, a naive algorithm is used that recalibrates the distribution after the arrival of a certain number of new objects (figure 6b).

Among the tasks of this study is to review the datasets to find a suitable one to test a DBSCAN clustering modification. Since obtaining real indicators of accuracy and F1-measure is possible only on real data with real topics that will ensure the operation of the information system for knowledge sharing of young scientists [3], the existing datasets were analyzed (table 2).

Table 2

**Overview of datasets for the clustering task**

Criterion	20 Newsgroups	Reuters-21578	AG News	Wikipedia Dump	Academ Lib Set
Amount of data	~20,000 documents	~21,578 documents	~120,000 documents	>10 mil documents	~5000 documents
Range of topics	News, technology, sports	Financial news, stock exchange, economy	News (world, sports, business, technology)	A wide range of topics: science, art, technology, etc.	Scientific and technical documents and publications
Language component	English	English	English	Multilingual	Ukrainian
Structure of documents	Text files grouped by topic	Annotated text files	Short text news	Heterogeneous (articles, tables, lists)	Heterogeneous (articles, tables, lists)
Annotation	Annotated	Annotated	Annotated	Partially annotated	Fully annotated
Rate of updates	Not updated	Not updated	Not updated	Annually	Bi-annually

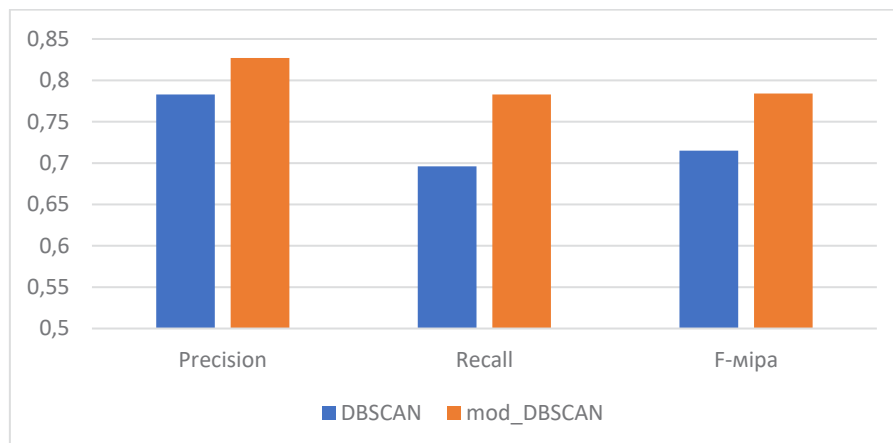
The analysis of the comparison of existing datasets revealed the following drawback – the absence of a dataset with an exclusively scientific and technical focus. Therefore, own dataset was prepared on the basis of materials in the electronic catalog of the NURE scientific library [10], – Academ Lib Set.

Table 3

**Experimental results**

Method	Precision	Recall	F-mipa
DBSCAN	0.783	0.696	0.715
mod_DBSCAN	0.827	0.783	0.784

Analyzing the values of the metrics – Precision (the proportion of correctly identified objects among all objects, showing the probability of no false positives), Recall (the proportion of correctly found objects among all real objects), F-measure (an assessment of the quality of text document clustering, combining Precision and Recall into one value) – we can see that the modified method shows the following positive increase in the values of the metrics: Precision by 5.6%, Recall by 12.5%, and F-measure by 9.65% (Figure 8).



**Fig. 8. Comparison of results for the basic and modified methods of clustering text documents DBSCAN and mod\_DBSCAN**

### Conclusion

In this study, a comparative analysis of common clustering methods such as k-means, Latent Dirichlet Allocation or LDA, Hierarchical Clustering Algorithm (HC), Density-based spatial clustering of applications with noise or DBSCAN, and Gaussian Mixture Model (GMM) was conducted. The analysis was performed according to the specified criteria, such as scalability, computational complexity, presence (or absence) of a requirement for a predefined number of clusters, and the evaluation approach (absolute with a clear assignment to a cluster or relative using probabilities). According to the results, the DBSCAN method was chosen for further evaluation due to a number of advantages, and eventually a modification was proposed that reduces the number of potential calculations at each iteration, which consequently reduces the computational complexity, which in turn increases the system performance, especially in resource-constrained environments. The modification consists of two changes: the vectorization stage, which is based on the annotation and keywords of the text specified by the author instead of the full text, and distance estimation for the so-called noisy points, which is performed in two stages.

The proposed modification of the DBSCAN method was tested on own Academ Lib Set dataset, formed on the basis of materials in the electronic catalog of the NURE scientific library. The analysis of the results showed an improvement in Precision by 5.6%, Recall by 12.5% and F-measure by 9.65%, which proves the effectiveness of the proposed modification.

Further development involves testing combinations of methods and modules into larger functional blocks to identify and eliminate potential problems, as well as further optimization of such blocks. A separate work is planned to study the approach to re-clustering after updating the dataset, with priority consideration of approaches to re-clustering all documents (the current method) and one for points with the lowest silhouette coefficient. The quality of the new distribution is planned to be evaluated based on the Rand index.

### Bibliography

1. Ahmed M. H., Tiun S., Omar N., Sani, N. S. Short Text Clustering Algorithms, Application and Challenges: A Survey. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No 1. P. 342. <https://doi.org/10.3390/app13010342>.
2. Dhar A., Mukherjee H., Dash N.S. та ін. Text categorization: past and present. *Artificial Intelligence Review*. 2021. Vol. 54. P 3007–3054. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09919-1>.
3. Барковська О., Холєв В., Пивоварова Д., Іващенко Г., Росінський Д. Система обміну знаннями молодих науковців із різних країн. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. № 5(1). С. 69–74. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.1.09>.
4. Ester M., Kriegel H., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *AAAI Press : In Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'96)*, 1996. P. 226–231.

5. Blei, David M.; Ng, Andrew Y.; Jordan, Michael I. Latent Dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*. 2003. Vol. 3, PP. 993–1022. doi:10.1162/jmlr.2003.3.4-5.993
6. Suyal H., Panwar A., Singh Negi A. Text Clustering Algorithms: A Review. *International Journal of Computer Applications*. 2014. T. 96, № 24. С. 36–40. URL: <https://doi.org/10.5120/16946-7075>.
7. Hotho A., Nürnbergger A., Paaß G. A Brief Survey of Text Mining. *Journal for Language Technology and Computational Linguistics*. 2005. T. 20, № 1. С. 19–62. URL: <https://doi.org/10.21248/jlcl.20.2005.68>.
8. Zheng, Y., Cheng, X., Huang, R., Man, Y. A Comparative Study on Text Clustering Methods. *Springer, Berlin, Heidelberg* : In *Advanced Data Mining and Applications. ADMA 2006*, vol 4093. 2006. [https://doi.org/10.1007/11811305\\_71](https://doi.org/10.1007/11811305_71).
9. Afzali M., Kumar S. Text Document Clustering: Issues and Challenges. 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), м. Faridabad, 14–16 лют. 2019 р. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/comitcon.2019.8862247>.
10. Електронний каталог – Наукова бібліотека ХНУРЕ. Головна – Наукова бібліотека ХНУРЕ. URL: <https://lib.nure.ua/el-katalog>.

### References

1. Ahmed, M. H., Tiun, S., Omar, N., & Sani, N. S. (2023). Short Text Clustering Algorithms, Application and Challenges: A Survey. *Applied Sciences*, 13(1), 342. <https://doi.org/10.3390/app13010342>
2. Dhar, A., Mukherjee, H., Dash, N.S. et al. Text categorization: past and present. *Artif Intell Rev* 54, 3007–3054 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09919-1>
3. Barkovska, O., Kholiev, V., Pyvovarova, D., Ivaschenko, G., & Rosinskiy, D. (2021). International system of knowledge exchange for young scientists. *Advanced Information Systems*, 5(1), 69–74. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.1.09>.
4. Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, and Xiaowei Xu. 1996. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'96)*. AAAI Press, 226–231.
5. Blei, David M.; Ng, Andrew Y.; Jordan, Michael I. Latent Dirichlet allocation // *Journal of Machine Learning Research* : journal / Lafferty, John. 2003. January (vol. 3, no. 4–5). P. pp. 993-1022. doi:10.1162/jmlr.2003.3.4-5.993
6. Suyal, Himanshu & Panwar, Amit & Negi, Ajit. (2014). Text Clustering Algorithms: A Review. *International Journal of Computer Applications*. 96. 36-40. doi:10.5120/16946-7075.
7. Hotho, Andreas & Nürnbergger, Andreas & Paass, Gerhard. (2005). A Brief Survey of Text Mining. *LDV Forum – GLDV Journal for Computational Linguistics and Language Technology*. 20. 19-62. doi:10.21248/jlcl.20.2005.68.
8. Zheng, Y., Cheng, X., Huang, R., & Man, Y. (2006, August). A comparative study on text clustering methods. In *International Conference on Advanced Data Mining and Applications* (pp. 644-651). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
9. Afzali, Maedeh & Kumar, Suresh. (2019). Text Document Clustering: Issues and Challenges. 263-268. 10.1109/COMITCon.2019.8862247.
10. Electronic catalog – NURE Scientific library. (n.d.). <https://lib.nure.ua/el-katalog>

**С. М. ШЕВЧЕНКО**

кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки  
імені професора Володимира Бурячка  
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка  
ORCID: 0000-0002-9736-8623

**Ю. Д. ЖДАНОВА**

кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки  
імені професора Володимира Бурячка  
Київський столичний університет імені Бориса Грінченка  
ORCID: 0000-0002-9277-4972

**О. С. ДАНИЛЮК**

магістрант кафедри інженерії програмного забезпечення  
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій  
ORCID: 0009-0004-9894-6992

## АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЛГОРИТМІВ У РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*Інформаційне середовище стає все більш насиченим і динамічним. Інформація зростає по подвійному експоненціальному закону. Процес пошуку, аналізу та фільтрації інформації ускладнюється з кожним днем, а зростаючий обсяг інформації обтяжує процес прийняття обґрунтованих рішень. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок розробки та впровадження рекомендаційних систем.*

*Дана стаття присвячена дослідженню існуючих моделей рекомендаційних систем, а саме: на основі контентної фільтрації, колаборативної фільтрації, гібридної фільтрації. На основі аналізу науково-технічної літератури визначено загальний механізм рекомендаційного процесу, здійснено огляд методів фільтрації та їх характеристик. Представлено схеми реалізації рекомендацій і можливі метрики для групування відповідних користувачів.*

*Розкриті недоліки кожного рекомендаційного процесу, а саме: холодний запуск, розрідженість, «сіра віця» для колаборативної фільтрації та пов'язана лише з даними про предмет обмеженість контентної фільтрації. Цим обґрунтовується суперпозиція (комбінація) цих двох фільтрацій для створення гібридної фільтрації.*

*У статті розглядається питання щодо якості рекомендаційних систем. Крім традиційних показників точності та повноти, сучасні підходи враховують різноманітність, новизну, несподіваність рекомендацій, робастність, інтерпретованість, справедливість.*

*Зроблено акцент на зовнішні дестабілізуючі фактори у роботі рекомендаційних систем, зокрема, існування загрози порушення конфіденційності персональних даних користувача та загрози отримати неправильні рекомендації в результаті цілеспрямованої атаки на систему рекомендацій.*

*Як приклад описано процес розробки рекомендаційної системи для підбору товарів спортивного приладдя: встановлені вимоги до функціонування даної системи; окреслено базу даних щодо користувачів та характеристик спортивного приладдя; змодельовано діаграму варіантів використання; розроблено та протестовано програмне забезпечення у вигляді Telegram-бота.*

*Результати дослідження можна впровадити в навчальний процес студентів галузі І2 Інформаційні технології.*

**Ключові слова:** рекомендаційна система, контентна фільтрація, колаборативна фільтрація, гібридна фільтрація, методи кластеризації.

**S. M. SHEVCHENKO**

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Information and Cyber Security  
named after Professor Volodymyr Buriachok  
Borys Grinchenko Kyiv University  
ORCID: 0000-0002-9736-8623

YU. D. ZHDANOVA

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Information and Cyber Security  
named after Professor Volodymyr Buriachok  
Borys Grinchenko Kyiv University  
ORCID: 0000-0002-9277-4972

O. S. DANYLIUK

Master's Student at the Department of Software Engineering  
National University of Information and Communication Technologies  
ORCID: 0009-0004-9894-6992

## ANALYSIS AND RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF ALGORITHMS IN RECOMMENDER SYSTEMS

*The information environment is becoming more saturated and dynamic. Information grows according to a double exponential law. The process of searching, analyzing and filtering information is becoming more complicated every day, and the growing volume of information complicates the process of making informed decisions. Solving this problem is possible through the development and implementation of recommender systems.*

*This article is devoted to the latest models of recommendation systems, namely: based on content filtering, collaborative filtering, hybrid filtering. Based on the analysis of scientific and technical literature, the underlying mechanism of the recommendation process was identified, and an overview of filtration methods and their characteristics was made. Presented are schemes for implementing recommendations and possible metrics for grouping relevant clients.*

*The disadvantages of each recommendation process are characterized, namely: cold start, sparseness, "gray sheep" for collaborative filtering and is associated only with data on the subject of content filtering limitations. This justifies the superposition (combination) of these two filtering to create a hybrid filtering.*

*The article considers the issue of the quality of recommender systems. In addition to traditional indicators of accuracy and completeness, modern approaches take into account diversity, novelty, unexpectedness of recommendations, robustness, interpretability, and fairness.*

*Emphasis is placed on external destabilizing factors in the work of recommendation systems, in particular, the existence of a threat of violation of the confidentiality of the user's personal data and the threat of receiving incorrect recommendations as a result of a targeted attack on the recommendation system.*

*As an example, the process of developing a recommender system for selecting sports equipment products is described: installing features before the operation of this system; the database of the characteristics of the sports equipment has been christened; the diagram of variants of the wiki was modeled; the security program was dismantled and protested by the Telegram bot.*

*The results of the study can be implemented in the educational process of students 12 Information technology.*

**Key words:** recommender system, content filtering, collaborative filtering, hybrid filtering, clustering methods.

### Постановка проблеми

Рекомендаційні системи стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Вони допомагають економити час, знаходити нові продукти та отримувати максимальне задоволення від використання цифрових сервісів. Так, 76% споживачів очікують, що компанії розумітимуть їхні потреби та вподобання, а 72% – взаємодіють лише з персоналізованим контентом [1]. Згідно дослідження [2] 71% споживачів відчувають розчарування, коли покупка є безособовою, 63% споживачів перестануть купувати у брендів, які використовують погану тактику персоналізації, 83% споживачів навіть готові поділитися своїми даними, щоб створити більш персоналізований досвід. Щодо іншої сторони цієї взаємодії, то для бізнесу рекомендаційні системи стали потужним інструментом для збільшення продажів і підвищення лояльності клієнтів. Компанії, які інвестують у персоналізацію, відзначають збільшення доходу на 15%, а найефективніші бренди отримують на 40% більше доходу, ніж їхні аналоги [1]. Щоб досягти успіху в електронній комерції, компанії повинні не лише пропонувати якісні продукти та послуги, а й демонструвати справжню турботу про потреби та бажання своїх клієнтів. На сучасному етапі персоналізація перетворилася з модного маркетингового слова в критично важливу стратегію, що сприяє залученню, лояльності та прибутку у різних галузях [1]. Це також підтверджується у роботі [3], де авторами проведено аналіз 79 публікацій з 2014 до 2023 року щодо впливу персоналізації на задоволеність споживачів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Під рекомендаційною системою будемо розуміти інтелектуальний програмний засіб, що використовує алгоритми машинного навчання для аналізу великих обсягів даних про користувачів та їхні вподобання. На основі цього аналізу система генерує персоналізовані рекомендації, які з високою ймовірністю зацікавлять користувача.

Дослідженню архітектури та різних алгоритмів у рекомендаційних системах, моделей їх впровадження, метрик угруповання користувачів присвячена достатня кількість наукових наробок. Хоча історія їх розвитку



починається не так давно: з середини дев'яностих років минулого століття. Були винайдені системи рекомендацій на основі спільної фільтрації. Спільна фільтрація (CF) – це технологія персоналізації, яка генерує рекомендації для користувачів на основі оцінок інших [4]. Системи рекомендацій відрізняються тим, як вони аналізують джерела даних, щоб виробити поняття спільності між користувачами та елементами, які можна використовувати для ідентифікації підібраної пари [5]. Грунтуючись на минулих дослідженнях, аналізуючи недоліки попередніх рекомендаційних систем, науковці продовжують удосконалювати моделі і шукати відповідні методи для поліпшення якості роботи механізму рекомендацій. Інформаційні технології розвиваються стрімко, машинне навчання та штучний інтелект дозволяють здійснити гіперперсоналізацію. Тому оновлення інформації з цього питання є завжди актуальним.

#### Формулювання мети дослідження

Окреслене визначило мету нашого дослідження – систематизування знань про різноманіття алгоритмів рекомендаційних систем та ключових метрик для персоналізації користувацького досвіду, що дозволить компаніям приймати обґрунтовані рішення щодо інвестицій у цифрові технології та досягати стратегічних бізнес-цілей.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

**1. Загальний механізм рекомендаційного процесу.** Кожна рекомендаційна система працює за стандартною схемою: спочатку збирає дані про користувачів та їхні вподобання, потім використовує ці дані для навчання алгоритмів, а на завершення формує персоналізовані рекомендації на основі отриманих знань [6, 7]. Загальний механізм рекомендаційного процесу представлено на рис. 1.

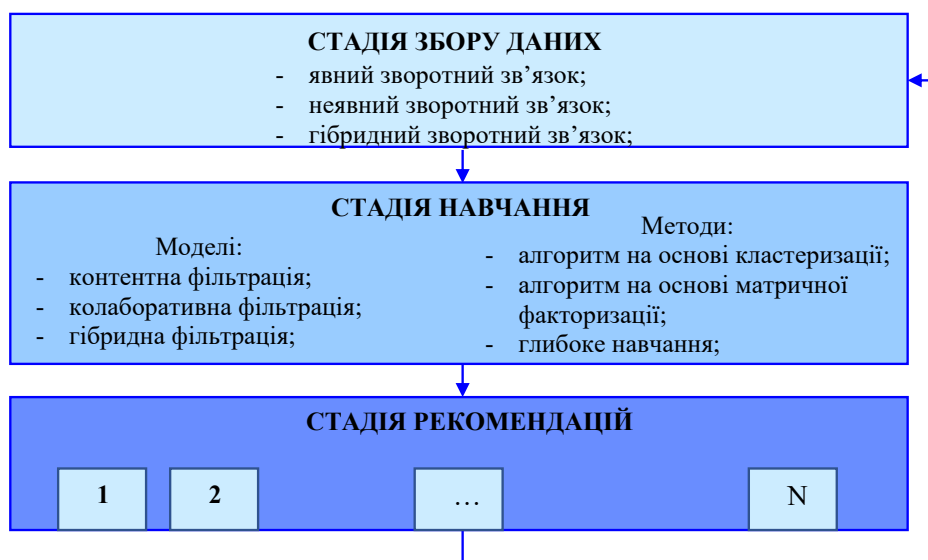


Рис. 1. Загальний механізм рекомендаційного процесу

Щоб рекомендаційна система могла пропонувати користувачу дійсно релевантні варіанти з самого початку, їй необхідно мати якомога повнішу інформацію про його вподобання. Існують три основні способи, за допомогою яких система може отримувати дані від користувача: явний, неявний та гібридний. Явний зв'язок, коли сам користувач повідомляє про свої інтереси та вподобання (наприклад, заповнює анкети, ставить оцінки), неявний – за допомогою аналізу поведінки користувача на сайті або в застосунку (наприклад, перегляд товарів, реклами, виставлення емоджі). Комбінуючи ці два підходи маємо гібридний зв'язок, внаслідок якого можна отримати більш повну картину, яка включає когнітивні навички, інтелектуальні здібності, стилі навчання, інтереси, уподобання та взаємодію з системою інтересів користувача.

На другому етапі система аналізує зібрані дані про користувачів за допомогою спеціальних алгоритмів. Цей процес дозволяє виявити закономірності в поведінці користувачів та зрозуміти, що їм подобається, а що ні [8]. Таким чином, система створює модель, яка відображає індивідуальні вподобання кожного користувача. Для того, щоб рекомендації були завжди актуальними, систему необхідно регулярно перенавчати на нових даних, які збираються в процесі використання.

На третьому етапі процес рекомендації передбачає прогнозування інтересів користувача на основі його попередньої поведінки та даних. Ефективна рекомендаційна система повинна не тільки забезпечувати високу точність прогнозів, але й пропонувати користувачам дійсно корисні та релевантні рекомендації. Занадто прості стратегії рекомендацій, такі як рекомендація найпопулярніших елементів, можуть забезпечити високу точність, але не додають нової інформації для користувача.

2. **Види рекомендаційних систем.** Аналіз літератури [3-24] дозволив виділити наступні моделі рекомендаційних систем: на основі контентної фільтрації, колаборативної фільтрації, гібридної фільтрації (рис. 2). Розглянемо кожен з них більш детально.

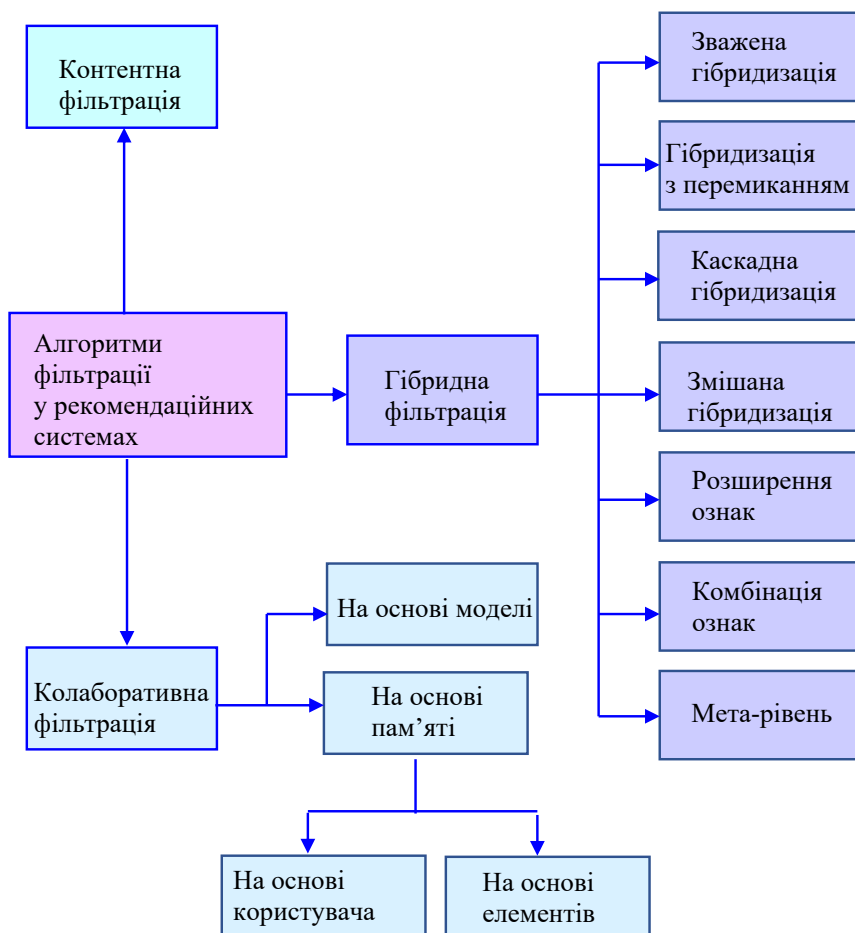


Рис. 2. Види рекомендаційних систем

### 2.1 Колаборативна фільтрація

Колаборативна (спільна) фільтрація (Collaborative Filtering) ґрунтується на «співпраці» різних користувачів для «фільтрації» великої кількості даних і генеруванні на їх основі рекомендації [8]. Спільна фільтрація є найбільш відомою, найбільше реалізованою з усіх технологій рекомендацій [7]. Алгоритми цієї фільтрації діляться на два підвиди:

1) Колаборативна фільтрація на основі пам'яті (Memory/Heuristic-Based), яка містить в собі:

1.1) фільтрацію на основі користувачів (User-Based Collaborative Filtering);

1.2) фільтрацію на основі елементів (Item-Based Collaborative Filtering);

2) Колаборативна фільтрація на основі моделі (Model-Based Collaborative Filtering).

Спільні системи рекомендацій агрегують рейтинги або рекомендації об'єктів, розпізнають спільні риси між користувачами на основі їхніх оцінок, а також генерують нові рекомендації на основі порівняльної взаємодії між користувачами [9].

Спільна фільтрація на основі користувачів (User-Based Collaborative Filtering) – це підхід, який дає рекомендації щодо елементів, які отримали високу оцінку користувачів [10].

У спільній фільтрації на основі елементів (Item-Based Collaborative Filtering) рекомендації щодо елементів базуються на подібності між предметами: подібність між двома предметами залежить від кількості людей, які взаємодіють з обома елементами, або подібність оцінок, наданих цим предметам [6].

Ступінь подібності між користувачами або елементами обчислюється за допомогою коефіцієнта кореляції Пірсона, косинусної подібності, метода ближнього сусіда KNN.

Проте, якщо недостатньо даних, спільна фільтрація на основі пам'яті (найчастіше на основі користувачів) має низку недоліків:

1) «холодний запуск»: додається новий користувач і новий елемент, тоді історія про них відсутня, оцінок немає, тому не можна рекомендувати, тому що його не оцінили [10];

2) розрідженість: невелика кількість користувачів оцінювали однакові елементи, що ускладнює надання рекомендацій іншому користувачу [11];

3) «сіра вівця»: ситуація, коли кількість користувачів з подібними вподобаннями до окремого користувача недостатня для створення рекомендацій [12].

У спільній фільтрації на основі моделі (Model-Based Collaborative Filtering) використовується машинне навчання та аналіз даних для розробки прогностичної моделі. Дана технологія дозволила частково вирішити проблеми спільної фільтрації на основі пам'яті. Однією з переваг є те, що ці системи є більш масштабованими з точки зору вимог до пам'яті та швидкості [13]. Ступінь подібності для колаборативної фільтрації на основі моделі визначається за допомогою методів кластеризації [14], матриці розріджених даних [15], формула Байєса.

### 2.2 Контентна фільтрація

Системна фільтрація на основі вмісту вибирає елементи на основі співвідношення між вмістом елементів і вподобаннями користувача на відміну від спільної системи фільтрації, яка вибирає елементи на основі співвідношення між людьми з подібними вподобаннями [16].

Система дає рекомендації, порівнюючи профіль користувача з вмістом кожного документу в колекції.

Існує кілька способів представлення термінів, щоб використовувати їх як основу для навчального контенту. Один з них – векторна модель простору. Документ  $D$  представляють як  $m$ -вимірний вектор, де кожна координата відповідає окремому терміну, а  $m$  – загальна кількість термінів, що використовуються в колекції документів. Вектор документа записується через  $w_i$  – вагу  $t_i$ , що вказує на його важливість. Якщо документ не містить  $t_i$ , то  $w_i = 0$ . Вагові коефіцієнти визначаються формулою

$$w_i = tf_i \cdot \lg \left( \frac{n}{df_i} \right),$$

де  $tf_i$  – кількість входжень терміну  $t_i$  у документ  $D$ ,

$n$  – загальна кількість документів у колекції,

$df_i$  – кількість документів, у яких термін  $t_i$  з'являється хоча б один раз.

Така схема називається  $tf-idf$ , що означає: чим більше разів термін зустрічається в документі, тим більше він буде відповідати відповідній рекомендації; чим більше цей термін зустрічається в усіх документах колекції, тим гірше він розрізняє документи.

Профілі користувачів в цій моделі можуть бути представлені одним  $P(u_1, u_2, \dots, u_k)$  або кількома векторами профілю, як і документи, а ступінь подібності можна визначити через косинус подібності

$$\cos(D, P) = \frac{D \cdot P}{|D| \cdot |P|} = \frac{\sum_k u_k \cdot w_k}{\sqrt{\sum_k u_k^2} \cdot \sqrt{\sum_k w_k^2}}.$$

Модель фільтрації на основі вмісту використовує технологію інтелектуального аналізу тексту для визначення налаштувань користувача, семантичний аналіз тексту, нейронні мережі [17].

Архітектура рекомендаційної системи на основі вмісту виглядає наступним чином (Рис. 3).

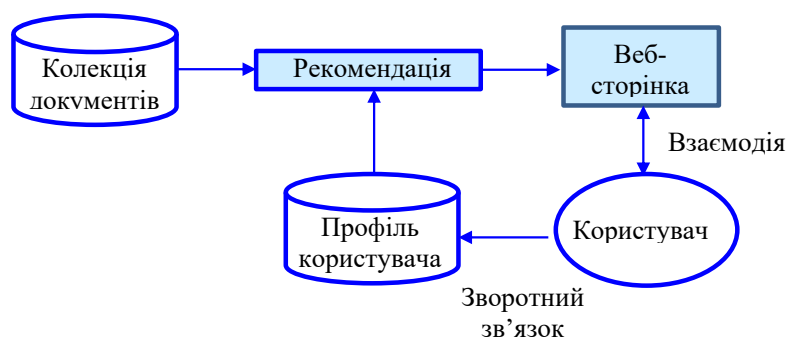


Рис. 3. Архітектура рекомендаційної системи на основі вмісту

Для покращення рекомендації може використовуватися демографічна інформація, відомості про вік, стать, національність, освіту, професію [18].

Перевагами моделі фільтрації на основі вмісту є уникнення проблеми «холодного запуску», не потрібні дані інших користувачів для початку рекомендацій. Проте ці моделі мають обмеження: не рекомендують нові елементи користувачу, а лише ту інформацію, яка тісно пов'язана з минулою оцінкою користувача [19].

**2.3 Гібридна фільтрація**

Усі попередні методи мають слабкі сторони, тому для покращення якості рекомендацій поєднують два або більше методів. У таблиці 1 представлені комбіновані методи та їх зміст [9, 13, 20, 21].

Таблиця 1

**Методи гібридної фільтрації**

Метод	Зміст
Зважена гібридизація	Оцінка рекомендованого елемента обчислюється на основі результатів усіх доступних методів рекомендацій у системі.
Гібридизація з перемиканням	Система перемикається між методами рекомендацій в залежності від поточної ситуації.
Каскадна гібридизація	Передбачає поетапний процес: один користувач рекомендує та цим вдосконалює рекомендації попередніх. Це дозволяє уникнути використання нижчого пріоритету.
Змішана гібридизація	Рекомендації з кількох методів представлені разом. Ця технологія дозволяє уникнути проблеми «холодний запуск», тому що можна використати компоненти, що базуються на вмісті.
Розширення ознак	Один з методів гібридної фільтрації використовується для створення рейтингу елемента, а потім ця інформація включається в обробку наступного методу рекомендацій. Тобто використовується навчена модель для введення в інший алгоритм.
Комбінація ознак	Розглядається спільна інформація як просто додаткова ознака, пов'язана з кожним елементом, а потім використовується фільтрація на основі вмісту над цим доповнений набором даних.
Мета-рівень	Використовує модель, створену одним методом, як вхід для іншого. Вхідною інформацією стає вся модель, тому надалі створювати легше, ніж на необроблених даних.

**3. Рекомендаційна система для підбору спортивного приладдя**

Розроблена система призначена для економії часу користувачів під час вибору спортивного приладдя, надаючи персоналізовані рекомендації. Основною платформою взаємодії виступає Telegram чат-бот, що дозволяє максимально спростити процес вибору приладдя та зробити його зручним для користувачів.

Функціонування системи складається із таких кроків:

*Крок 1.* Це обов'язкова реєстрація користувача в Telegram. Реєстрація необхідна для створення персоналізованих рекомендацій та забезпечення взаємодії з користувачами. наприклад, для надсилання оновлень чи спеціальних пропозицій.

*Крок 2.* Після реєстрації користувач може відповісти на запропоновані ботом питання для уточнення параметрів пошуку.

*Крок 3.* Для генерації рекомендацій використовується метод фільтрації на основі вмісту. Правила створюються на основі фіксованих відповідностей між характеристиками спортивного приладдя та потребами користувача. Наприклад, якщо користувач вибирає велоспорт, система рекомендує велосипеди для різних місцевостей. Користувач має можливість переглянути всі товари без обмежень за ціною, щоб ознайомитися з повним асортиментом і зробити свій вибір, або бюджетний варіант, якщо важлива економія, або товар середньої цінової категорії, що поєднує якість та доступність, або дорогі товари для тих, хто цінує інновації та найвищу якість. У разі потреби у спортивному інвентарі для силових тренувань (штанги, гантелі, тренажери) система додає варіанти, враховуючи тип (рис. 4).



**Рис. 4. Схема методу генерації рекомендації**

Щоб рекомендаційна система для спортивного приладдя, яка використовує Telegram-чатбот, працювала ефективно, необхідно розробити та впровадити параметри, за якими вона зможе фільтрувати та відбирати дані відповідно до запиту користувача. Для цього слід створити базу даних, яка міститиме інформацію про користувачів та характеристики спортивного обладнання. Параметри користувача: рівень підготовки (новачок, середній, професіонал), вид спорту (біг, теніс, фітнес), потреби (сезонність). Характеристики спортивного приладдя: тип (одяг чи інвентар), призначення (для якого виду спорту), сезонність (літнє, зимове), бренди, бюджет.

Концептуальну модель інформаційної системи виконано в об'єктно-орієнтованій парадигмі засобами UML (рис. 5).

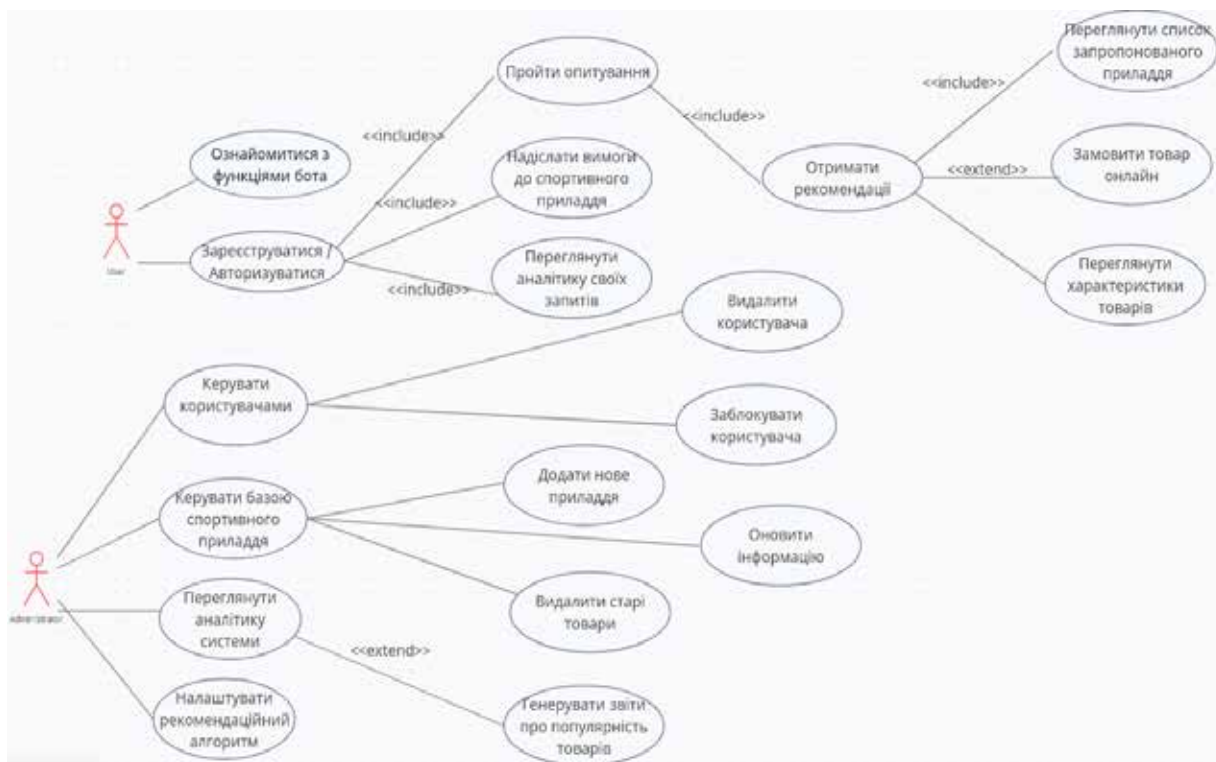


Рис. 5. Діаграма варіантів використання системи підбору спортивного приладдя

Під час розроблення рекомендаційної системи підбору спортивного приладдя були використані такі методи та мова програмування: Python, PostgreSQL, NumPy та content-based filtering, Telegram Bot API.

На рис. 6 представлено інтерфейс чат-бота рекомендаційної системи спортивного приладдя в месенджері Telegram.

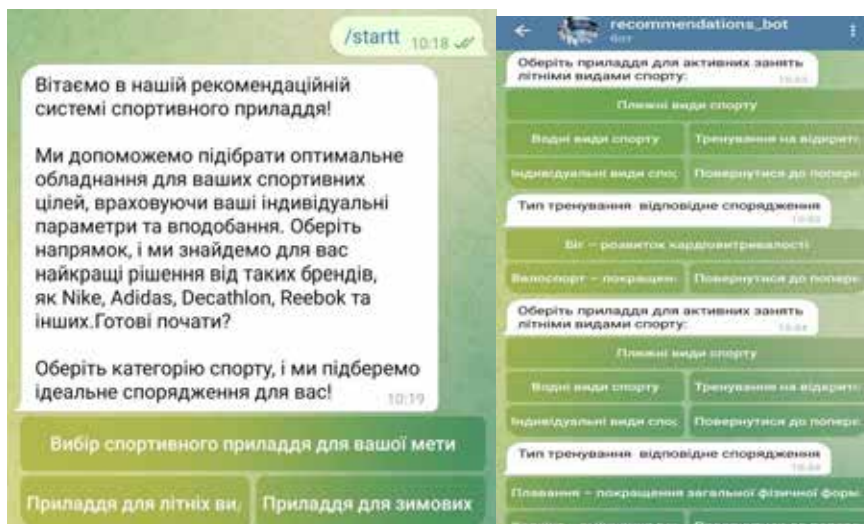


Рис. 6. Інтерфейс чат-бота рекомендаційної системи спортивного приладдя в месенджері Telegram

Розроблена рекомендаційна система є ефективним інструментом для віртуальних магазинів, спрямованим на збільшення продажів та покращення взаємодії з клієнтами.

**Висновки**

Рекомендаційна система – це комплексний процес, що охоплює збір даних про користувача, їх аналіз, формування рекомендацій та їх подання користувачеві. Тому оцінка якості рекомендаційних систем є ключовим етапом у їх розробці та впровадженні. Хоча традиційно основна увага приділялася таким показникам, як точність

прогнозування вподобань користувачів та покриття каталогу товарів, сучасні підходи до оцінки якості системи виходять за межі цих базових метрик: застосовують такі показники як різноманітність, новизна, несподіваність рекомендацій, робастність, інтерпретованість, справедливість тощо [25, 26, 27].

Незважаючи на те, що персоналізація підвищує задоволеність клієнтів, вона також вимагає тонкого балансу між налаштуваннями та різноманітністю, щоб запобігти бульбашкам фільтрів і сприяти здоровій інформаційній екосистемі. Чим більш персоналізоване дослідження, тим більше персональних даних збирається. Це викликає серйозні занепокоєння щодо конфіденційності та безпеки даних [3, 7, 25]. Оскільки компанії прагнуть запропонувати індивідуальний досвід, вони повинні гарантувати, що дані клієнтів, які вони збирають, надійно зберігаються та обробляються відповідально.

Майбутнє рекомендаційних систем пов'язане з розвитком гібридних моделей, глибокого навчання, контекстуальних і інтерактивних рекомендацій, а також з вирішенням етичних проблем.

### Список використаної літератури

1. Personalization in Market Research – Why It Matters More Than Ever in 2024. <https://ttconsultants.com/personalization-in-market-research-why-it-matters-more-than-ever-in-2024/#:~:text=In%202024%2C%20personalization%20in%20market%20research%20is%20no%20longer%20a,to%20stay%20relevant%20and%20competitive>
2. Casaca, Joaquim & Miguel, Luis. 2024. The Influence of Personalization on Consumer Satisfaction: Trends and Challenges. 10.4018/979-8-3693-3455-3.ch010. [https://www.researchgate.net/publication/383006376\\_The\\_Influence\\_of\\_Personalization\\_on\\_Consumer\\_Satisfaction\\_Trends\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/383006376_The_Influence_of_Personalization_on_Consumer_Satisfaction_Trends_and_Challenges)
3. Il Im and Alexander Hars. 2007. Does a one-size recommendation system fit all? the effectiveness of collaborative filtering based recommendation systems across different domains and search modes. *ACM Trans. Inf. Syst.* 26, 1 (November 2007), 4–es. <https://doi.org/10.1145/1292591.1292595>
4. P. Melville and V. Sindhwani, "Recommender Systems," In: C. Sammut and G. Webb, Eds., *Encyclopedia of Machine Learning*, Springer, Berlin, 2010, pp. 829-838.
5. F.O. Isinkaye, Y.O. Folajimi, B.A. Ojokoh. 2015. Recommendation systems: Principles, methods and evaluation. *Egyptian Informatics Journal*, Volume 16, Issue 3, 261-273, <https://doi.org/10.1016/j.eij.2015.06.005>.
6. Hodovychenko, M. A., & Gorbatenko, A. A. Recommender systems: models, challenges and opportunities. *Вісник сучасних інформаційних технологій*, 2023. 6(4), 308–319. <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.20>
7. Jalili, M., Ahmadian, S., Izadi, M., Moradi, P., & Salehi, M. Evaluating collaborative filtering recommender algorithms: a survey. *IEEE access*, 2018. 6, 74003–74024. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2883742.
8. Burke, Robin. Hybrid Recommender Systems: Survey and Experiments. *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 2002. 12. 10.1023/A:1021240730564
9. Mukund Deshpande and George Karypis. 2004. Item-based top-N recommendation algorithms. *ACM Trans. Inf. Syst.* 22, 1 (January 2004), 143–177. <https://doi.org/10.1145/963770.963776>
10. Abdelwahab, A., Sekiya, H., Matsuba, I., Horiuchi, Y., & Kuroiwa, S. Alleviating the sparsity problem of collaborative filtering using an efficient iterative clustered prediction technique. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 2012. 11(01), 33–53. <https://doi.org/10.1142/S0219622012500022>
11. Alabdulrahman, R., & Viktor, H. Catering for unique tastes: Targeting grey-sheep users recommender systems through one-class machine learning. *Expert Systems with Applications*, 2021. 166, 114061. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114061>.
12. Aggarwal, Charu C. *Recommender Systems: The Textbook*: Springer, 2016. 499 p. DOI 10.1007/978-3-319-29659-3, [https://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/recom/bibl/1aggarwal\\_c\\_c\\_recommender\\_systems\\_the\\_textbook.pdf](https://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/recom/bibl/1aggarwal_c_c_recommender_systems_the_textbook.pdf)
13. E. Bojnordi and P. Moradi, "A novel collaborative filtering model based on combination of correlation method with matrix completion technique", *Proc. 16th CSI Int. Symp. Artif. Intell. Signal Process. (AISP)*, pp. 191-194, 2012.
14. M. Ranjbar, P. Moradi, M. Azami and M. Jalili, "An imputation-based matrix factorization method for improving accuracy of collaborative filtering systems", *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 46, pp. 58-66, Nov. 2015.
15. R. Van Meteren and M. Van Someren, "Using content-based filtering for recommendation", *Proc. Mach. Learn. New Inf. Age MLnet/ECML Workshop*, pp. 47-56, 2000.
16. Li, B., Li, G., Xu, J., Li, X., Wang, M., & Lv, J. A personalized recommendation framework based on MOOC system integrating deep learning and big data. *Computers and Electrical Engineering*, 2023. 106, 108571. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108571>.
17. Krulwich, "Lifestyle finder: Intelligent user profiling using large-scale demographic data", *AI Mag.*, vol. 18, no. 2, pp. 37, 1997.
18. Salter, J., & Antonopoulos, N. CinemaScreen recommender agent: combining collaborative and content-based filtering. *IEEE Intelligent Systems*, 2006. 21(1), 35–41. <http://doi.org/10.1109/MIS.2006.4>

19. Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B. Recommender Systems: Introduction and Challenges. In: Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B. (eds) Recommender Systems Handbook. Springer, Boston, MA. 2015. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7637-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7637-6_1)
20. Ning, X., Desrosiers, C., & Karypis, G. A comprehensive survey of neighborhood-based recommendation methods. *Recommender systems handbook*, 2015. 37-76.
21. Чередніченко О.Ю., Янголенко О.В., Іващенко О.В., & Матвеев О.М. Моделі формування рекомендацій у інтелектуальних системах електронної комерції. *Системи обробки інформації*, 2020. випуск 1(160), 32-39. <https://doi.org/10.30748/soi.2020.160.04>
22. Pawełszek I. Customer segmentation based on activity monitoring applications for the recommendation system, *Procedia Computer Science*, 2021. Volume 192, 4751-4761, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.253>.
23. Верес Олег, Гадзало Олег. Застосування методів рекомендацій при аналізі компонентів ЕОМ. *Інформаційні системи та мережі*. 2023; том 14, с. 84-98, <https://doi.org/10.23939/sisn2023.14.084>
24. Meleshko Yu. Проблеми сучасних рекомендаційних систем та методи їх рішення. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтава: ПНТУ, 2018. Т. 4 (50). С. 120-124. doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.4.120>.
25. Meleshko Yu. Методи оцінки якості роботи рекомендаційних систем. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. Т. 5 (51). С. 92-97. – doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.092>.
26. Кучерук, В., & Глушко, М. Покращення якості рекомендаційних систем на основі кваліметричних методів вимірювання. *Measuring and computing devices in technological processes*, 2022. (2), 65–72. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-70-2-9>

#### References

1. TTConsultants (2024) Personalization in Market Research – Why It Matters More Than Ever in 2024. Retrieved from <https://ttconsultants.com/personalization-in-market-research-why-it-matters-more-than-ever-in-2024/#:~:text=In%202024%2C%20personalization%20in%20market%20research%20is%20no%20longer%20a,to%20stay%20relevant%20and%20competitive>
2. Casaca, Joaquim & Miguel, Luis. (2024). The Influence of Personalization on Consumer Satisfaction: Trends and Challenges. 10.4018/979-8-3693-3455-3.ch010. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/383006376\\_The\\_Influence\\_of\\_Personalization\\_on\\_Consumer\\_Satisfaction\\_Trends\\_and\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/383006376_The_Influence_of_Personalization_on_Consumer_Satisfaction_Trends_and_Challenges)
3. Im, I., & Hars, A. (2007). Does a one-size recommendation system fit all? the effectiveness of collaborative filtering based recommendation systems across different domains and search modes. *ACM Transactions on Information Systems*, 26(1), 4. <https://doi.org/10.1145/1292591.1292595>
4. P. Melville and V. Sindhvani.(2010) Recommender Systems. In: C. Sammut and G. Webb, Eds., *Encyclopedia of Machine Learning*, Springer, Berlin, 2010, pp. 829-838.
5. Isinkaye, F. O., Folajimi, Y. O., & Ojokoh, B. A. (2015). Recommendation systems: Principles, methods and evaluation. *Egyptian Informatics Journal*, 16(3), 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.eij.2015.06.005>
6. Hodovychenko, M. A., & Gorbatenko, A. A. (2023). Recommender systems: models, challenges and opportunities. *Herald of Advanced Information Technology*, 6(4), 308–319. <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.20>
7. Jalili, M., Ahmadian, S., Izadi, M., Moradi, P., & Salehi, M. (2018). Evaluating Collaborative Filtering Recommender Algorithms: A Survey. *IEEE Access*, 6, 74003–74024. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2883742>
8. Burke, Robin. (2002). Hybrid Recommender Systems: Survey and Experiments. *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 12, 331–370. <https://doi.org/10.1023/A:1021240730564>
9. Deshpande, M., & Karypis, G. (2004). Item-based top-N recommendation algorithms. *ACM Transactions on Information Systems*, 22(1), 143–177. <https://doi.org/10.1145/963770.963776>
10. Abdelwahab, A., Sekiya, H., Matsuba, I., Horiuchi, Y., & Kuroiwa, S. (2012). Alleviating the sparsity problem of collaborative filtering using an efficient iterative clustered prediction technique. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 11(01), 33–53. <https://doi.org/10.1142/S0219622012500022>
11. Alabdulrahman, R., & Viktor, H. (2021). Catering for unique tastes: Targeting grey-sheep users recommender systems through one-class machine learning. *Expert Systems with Applications*, 166, 114061. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114061>.
12. Aggarwal, Charu C. (2016) *Recommender Systems: The Textbook*: Springer International Publishing. 499 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29659-3>
13. Bojnordi E., & Moradi P., (2012) A novel collaborative filtering model based on combination of correlation method with matrix completion technique, Proc. 16th CSI Int. Symp. Artif. Intell. Signal Process. (AISP), pp. 191-194, 2012. <https://doi.org/0.1109/AISP.2012.6313742>

14. Ranjbar M., Morad P., Azami M. & Jalili M. (2015) An imputation-based matrix factorization method for improving accuracy of collaborative filtering systems, *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 46, pp. 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.08.010>
15. Van Meteren R. & Van Someren M. (2000) Using content-based filtering for recommendation. *Proc. Mach. Learn. New Inf. Age MLnet/ECML Workshop*, pp. 47-56. <https://www.semanticscholar.org/paper/Using-Content-Based-Filtering-for-Recommendation-Meteren/4a57e0f0641b7a70fece89c14fbf5030869ededb>
16. Li, B., Li, G., Xu, J., Li, X., Liu, X., Wang, M., & Lv, J. (2023). A personalized recommendation framework based on MOOC system integrating deep learning and big data. *Computers and Electrical Engineering*, 106, 108571. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108571>.
17. Krulwich B. (1997) Lifestyle finder: Intelligent user profiling using large-scale demographic data, *AI Mag.*, vol. 18, no. 2, pp. 37. <https://doi.org/10.1609/aimag.v18i2.1292>
18. Salter, J., & Antonopoulos, N. (2006). CinemaScreen recommender agent: combining collaborative and content-based filtering. *IEEE Intelligent Systems*, 21(1), 35–41. <http://doi.org/10.1109/MIS.2006.4>
19. Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B. (2015). Recommender Systems: Introduction and Challenges. In: Ricci, F., Rokach, L., Shapira, B. (eds) *Recommender Systems Handbook*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7637-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7637-6_1)
20. Ning, X., Desrosiers, C., & Karypis, G. (2015). A comprehensive survey of neighborhood-based recommendation methods. *Recommender systems handbook*, 37-76.
21. Cherednichenko O.Yu., Yangolenko O.V., Ivashchenko O.V., & Matveev O.M. (2020) Modeli formuvannya rekomendatsiy u intelektual'nykh systemakh elektronnoyi komertsyi. [Recommendation generation models in intelligent e-commerce systems. *Information Processing Systems*]. *Systemy obrobky informatsiyi*, випуск 1(160), 32-39 <https://doi.org/10.30748/soi.2020.160.04>
22. Pawełszek I. (2021) Customer segmentation based on activity monitoring applications for the recommendation system, *Procedia Computer Science*, Volume 192, 4751-4761, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.253>.
23. Veres O, Hadzalo O. (2023) Zastosuvannya metodiv rekomendatsiy pry analizi komponentiv EOM [Application of recommendation methods in the analysis of computer components. *Information Systems and Networks*]. *Information Systems and Networks*, vol. 14, 84-98, <https://doi.org/10.23939/sisn2023.14.084>
24. Meleshko Yu. (2018) Problemy suchasnykh rekomendatsiynykh system ta metody yikh rishennya. [Problems of modern recommender systems and methods for their solution] *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Zbirnyk naukovykh prats* 4(50), 120-124. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.4.120>.
25. Meleshko Yu. (2018) Metody otsinky yakosti roboty rekomendatsiynykh system [Methods for assessing the quality of recommender systems] *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Zbirnyk naukovykh prats*. 5 (51). 92-97. [doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.092](https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.092).
26. Kucheruk, V., & Hlushko, M. (2022). Pokrashchennya yakosti rekomendatsiynykh system na osnovi kvalimetrychnykh metodiv vymiryuvannya. [Improving the quality of recommender systems based on qualimetric measurement methods] *Measuring and computing devices in technological processes*, (2), 65–72. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-70-2-9>



## УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 338.5:336.225.678

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.49>

О. М. ЄРЕМЯН

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри фінансів, обліку та оподаткування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8170-7598

**ТРАНСФЕРТНЕ ЦІНОУТВОРЕННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ  
ОПОДАТКУВАННЯ ТРАНСНАЦІОНАЛЬНИХ КОМПАНІЙ**

*У статті досліджено трансфертне ціноутворення як ключовий механізм для транснаціональних компаній щодо управління своїми податковими зобов'язаннями шляхом встановлення внутрішніх цін для операцій між дочірніми компаніями в різних країнах. Ця практика має на меті забезпечити дотримання міжнародного податкового законодавства при оптимізації оподаткування, а не ухиленні від нього. Метою дослідження є аналіз видів господарських операцій, які відносяться до контрольованих, вивчення зарубіжного досвіду використання і контролю механізму трансфертного ціноутворення та надання рекомендацій для України.*

*Дослідження підкреслює важливість розуміння різних методів визначення трансфертних цін, включаючи метод порівняльної неконтрольованої ціни (CUP), метод ціни перепродажу, метод вартості плюс, метод чистої маржі транзакції (TNMM) і метод розподілу прибутку. Кожен метод має конкретні характеристики та застосовність, причому метод CUP є особливо ефективним, коли порівнювані транзакції існують на відкритому ринку.*

*Міжнародні рекомендації, зокрема рекомендації ОЕСР, відіграють важливу роль у регулюванні практики трансфертного ціноутворення, наголошуючи на принципі «втягнутої руки» для забезпечення справедливого розподілу податкових надходжень між юрисдикціями. У відповідь на занепокоєння щодо ухилення від сплати податків, Україна запровадила суворіші вимоги до звітності та заходи міжнародного співробітництва для підвищення прозорості.*

*У дослідженні зроблено висновок, що ефективний аудит і правозастосування мають важливе значення для дотримання податкового законодавства, і компанії повинні застосовувати найкращі практики трансфертного ціноутворення, щоб зменшити ризики. Рекомендації включають розуміння законодавчої бази, ведення точної документації, розгляд розширених угод про ціноутворення (APA) і регулярний перегляд стратегій ціноутворення. Доведено, що добре розроблена стратегія трансфертного ціноутворення є життєво важливою для транснаціональних корпорацій, щоб орієнтуватися в податковому законодавстві та оптимізувати свої фінансові операції.*

**Ключові слова:** трансфертне ціноутворення, податок на прибуток, податкова оптимізація, міжнародне оподаткування, ризики, податкове планування, податковий контроль, стратегія.

O. M. YEREMIAN

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Finance, Accounting and Taxation  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8170-7598

**TRANSFER PRICING AS A TOOL FOR FOR OPTIMIZING THE TAXATION  
OF MULTINATIONAL COMPANIES**

*This article examines transfer pricing as a key mechanism for multinational companies to manage their tax liabilities by setting internal prices for transactions between subsidiaries in different countries. This practice ensures compliance with international tax laws while optimizing taxation rather than avoiding it. This study aims to analyze the types of business transactions that are considered controlled, to study foreign experience in the use and control of the transfer pricing mechanism, and to provide recommendations for Ukraine.*

*The study emphasizes the importance of understanding the different transfer pricing methods, including the comparable uncontrolled price (CUP) method, resale price method, cost plus method, transaction net margin method (TNMM) and profit sharing method. Each method has specific guidelines and applicability, with the CUP method being particularly effective when comparable transactions exist in the open market.*

*International guidelines, in particular the OECD guidelines, play an important role in regulating transfer pricing practices, emphasizing the arm's length principle to ensure fair distribution of tax revenues between jurisdictions. In response to concerns about tax evasion, Ukraine has introduced strict reporting requirements and international cooperation measures to increase transparency.*

*The study concludes that effective auditing and enforcement are essential for tax compliance, and companies should apply transfer pricing best practices to mitigate risks. Recommendations include understanding the legal framework, maintaining accurate documentation, considering advanced pricing agreements (APAs) and regularly reviewing pricing strategies. It has been proven that a well-developed transfer pricing strategy is vital for multinationals to navigate tax legislation and optimize their financial operations.*

**Key words:** transfer pricing, income tax, tax optimization, international taxation, risks, tax planning, tax control, strategy.

### Постановка проблеми

Трансфертне ціноутворення є ключовим механізмом, який використовують транснаціональні компанії для розподілу доходів і витрат між різними дочірніми компаніями в різних країнах. Така практика дозволяє компаніям стратегічно переміщувати прибутки в юрисдикції з нижчими податковими ставками, тим самим оптимізуючи свій загальний податковий тягар [1, с. 85]. Встановлюючи внутрішні ціни на товари, послуги та інтелектуальну власність, що передається між афілійованими особами, фірми можуть ефективніше керувати своїми податковими зобов'язаннями. Основна мета трансфертного ціноутворення полягає в тому, щоб забезпечити проведення операцій між пов'язаними сторонами на ринкових умовах, подібно до операцій між непов'язаними сторонами, щоб уникнути ухилення від сплати податків і забезпечити дотримання міжнародного податкового законодавства. Отже, трансфертне ціноутворення служить інструментом для оптимізації оподаткування, а не ухилення від сплати, якщо воно застосовується належним чином, узгоджуючи правила податкового контролю, встановлені різними країнами.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Істотний внесок у дослідження процесів трансфертного ціноутворення зроблено вітчизняними авторами, такими як Гречко А., Дзюба П., Колдовський М., Круковська Л., Олійник Н., Товкун Л., Черевко О., Прокопенко А., Селезень П. та інші. Правильне формування ціни є основою здійснення якісного податкового планування, що є орієнтиром в діяльності підприємств та подальшого податкового контролю. Тому, актуальність даної сфери лише зростає з часом і потребує наукового пошуку.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз видів господарських операцій, які відносяться до контрольованих, вивчення зарубіжного досвіду використання і контролю механізму трансфертного ціноутворення та надання рекомендацій для України.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Трансфертне ціноутворення (далі – ТЦУ) стосується правил і методів ціноутворення за операціями між підприємствами, які перебувають у спільній власності або під контролем. Це важливий аспект міжнародного податкового законодавства, який забезпечує належний розподіл прибутків між різними юрисдикціями та дотримання компаніями головного принципу ТЦУ – «витагнутої руки» [9]. Цей принцип бореться з негативними наслідками трансфертного ціноутворення та використанням офшорних схем і вимагає, щоб ціни між пов'язаними сторонами відображали ринкові умови.

Одним із важливих аспектів трансфертного ціноутворення є встановлення трансфертних цін, для цього використовується кілька методів, за допомогою яких здійснюють перевірку, чи відповідають контрольовані операції принципу «витагнутої руки». Такі методи визначені в міжнародних нормативних документах (Настанови ОЕСР) [6] і вже закріплені в українському законодавстві (Податковий кодекс України) [8]. Кожен з цих методів має власний набір вказівок і застосовність до різних типів операцій. У таблиці 1 проведемо огляд основних методів, які використовуються у трансфертному ціноутворенні.

Проведене дослідження дозволило зробити висновок, що для встановлення трансфертних цін можливе використання кількох методів, кожен із яких має власний набір вказівок і застосовність до різних типів операцій. Так метод порівняльної неконтрольованої ціни (CUP) є популярним підходом і особливо ефективний, коли на відкритому ринку відбувається порівняння операція. Іншим широко використовуваним методом є метод Cost Plus, цей метод вигідний для операцій із напівфабрикатами або послугами, що надаються однією дочірньою компанією іншій [3, с. 18]. З іншого боку, метод ціни перепродажу використовується, коли продукт купується у пов'язаної сторони, а потім продається незалежній стороні. Він визначає трансфертну ціну шляхом вирахування стандартної норми валового прибутку від ціни перепродажу третім сторонам [4, с. 59].

Отже, вибір методу залежить від особливостей галузі. Правильне застосування того чи іншого методу вимагає досвіду і знань, а методи трансфертного ціноутворення гарантують, що ціни, встановлені для внутрішньо-фірмових операцій, відображають ринкові реалії, таким чином забезпечуючи дотримання міжнародних податкових норм.

Таблиця 1

## Методи трансфертного ціноутворення та їх застосування\*

Метод	Характеристика	Приклад застосування
1. Метод порівняльної неконтрольованої ціни (CUP)	Метод CUP є одним із найбільш прямих і надійних методів трансфертного ціноутворення. Він порівнює ціну, що стягується за товари чи послуги в контрольованій операції, з ціною, що стягується в подібних неконтрольованих операціях.	Компанія А продає компонент своїй дочірній компанії за 100 доларів США, а аналогічні компоненти продаються на відкритому ринку за 90 доларів США, метод CUP припускає, що контрольована ціна може потребувати коригування, щоб узгодити її з ринковими умовами.
2. Метод ціни перепродажу	Цей метод часто використовують дистриб'ютори. Він визначає трансфертну ціну на основі ціни перепродажу продукту. Формула включає відрахування ціни продажу незалежному покупцю та віднімання валової прибутку, заробленого торговим посередником.	Дочірня компанія купує продукт за 50 доларів США та продає його незалежній третій стороні за 100 доларів США, а галузевий стандарт валової прибутковості становить 30%, трансфертну ціну можна скоригувати до 70 доларів США.
3. Метод «витрати плюс»	Метод «витрати плюс» базується на виробничій собівартості продукту плюс надбавка до прибутку. Цей метод особливо корисний для виробничих компаній. Саме цей метод застосовується в разі реалізації товарів між пов'язаними особами.	Дочірня компанія несе виробничі витрати в розмірі 80 доларів США на продукт і застосовує націнку в розмірі 25%, трансфертна ціна буде встановлена на рівні 100 доларів США. Цей метод гарантує, що суб'єкт господарювання покриває свої витрати, а також отримує прийнятну норму прибутку.
4. Метод транзакційної чистої маржі (TNMM)	TNMM оцінює маржу чистого прибутку відносно відповідної бази, такої як витрати, продажі або активи, яку перевірена сторона досягає в контрольованій операції.	Компанія звітує про рентабельність чистого прибутку 10% від продажів у контрольованій операції та 15% рентабельності у порівнянних неконтрольованих операціях, коригування може бути виправданим для вирівнювання норми прибутку.
5. Метод розподілу прибутку	Метод розподілу прибутку використовується, коли транзакції дуже інтегровані, і їх важко оцінити окремо. Цей метод розподіляє прибутки чи збитки від контрольованої операції на основі відносної вартості внесків кожної сторони.	Дві дочірні компанії спільно розробляють продукт, прибуток можна розділити на основі їхніх відповідних внесків у розробку, виробництво та маркетинг.

Джерело: узагальнено автором на підставі [6; 8]

Міжнародні рекомендації та правила відіграють ключову роль у нагляді за впровадженням практики трансфертного ціноутворення. У міжнародній практиці регулювання питань з трансфертного ціноутворення здійснює Організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР). Рекомендації Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) є наріжним каменем міжнародного регулювання трансфертного ціноутворення, забезпечуючи основу для розробки країнами своєї політики [6]. Ці вказівки підкреслюють принцип «витягнутої руки», який гарантує, що операції між асоційованими підприємствами оцінюються так, якби вони проводилися між непов'язаними сторонами. Дотримуючись цих міжнародних стандартів, країни можуть мінімізувати розмивання податкової бази та переміщення прибутку, гарантуючи, що кожна юрисдикція отримує свою справедливую частку податкових надходжень. Крім того, керівні принципи ОЕСР допомагають у вирішенні суперечок і запобіганні подвійному оподаткуванню, тим самим сприяючи більш стабільному та передбачуваному міжнародному податковому середовищу [5, с. 214]. Дотримання цих інструкцій має вирішальне значення для транснаціональних компаній, щоб підтримувати прозорість і уникати значних штрафів, пов'язаних із невиконанням.

У відповідь на зростаючу проблему ухилення від сплати податків уряду та міжнародні організації активізували зусилля по боротьбі з цією незаконною практикою, не виключенням є і Україна [2, с. 48]. Перелік держав, операції з резидентами яких є підставою для податкового контролю у сфері трансфертного ціноутворення в Україні, зазначений у спеціальному Переліку Кабінету Міністрів України. Даний перелік країн був затверджений Постановою 1045 [10]. Такі заходи, як суворіші вимоги до звітності та міжнародні угоди про обмін інформацією, були впроваджені для підвищення прозорості та співпраці між податковими органами. Наприклад, загальний стандарт звітності (CRS), розроблений Організацією економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), полегшує автоматичний обмін інформацією про фінансові рахунки між країнами, що ускладнює фізичним особам і корпораціям приховування доходів в офшорах. Ці ініціативи спрямовані на усунення лазівок і забезпечення того, щоб усі платники податків вносили свою справедливую частку, таким чином сприяючи справедливості та чесності в глобальній податковій системі.

Таким чином, можна стверджувати, що перевірка та правозастосування відіграють вирішальну роль у механізмах податкового контролю, допомагаючи забезпечити дотримання податкового законодавства та стримувати ухилення від сплати податків. Завдяки ретельним перевіркам податкові органи можуть перевірити точність фінансової звітності та виявити розбіжності, які можуть свідчити про стратегії ухилення або уникнення. Аспект правозастосування передбачає застосування покарань, штрафів або навіть кримінальних звинувачень до тих, хто

визнаний винним у порушенні податкового законодавства. Такий підхід не тільки допомагає повернути несплачені податки, але й діє як стримуючий фактор для потенційних порушників. Для ефективного аудиту та правозастосування потрібен навчений персонал і передові технологічні інструменти для аналізу величезних обсягів даних, що ускладнює для компаній участь у шахрайських діях без виявлення [1, с. 87]. Ця комплексна стратегія підкреслює важливість підтримки надійних систем податкового контролю для захисту цілісності як національного, так і міжнародного податкового середовища.

Відповідно, у світлі посилення податковими службами контролю за трансфертним ціноутворенням, власникам компаній доцільно розробити і вживати певні кроки, щоб запобігти ризикам у цій галузі. Для цього необхідно здійснювати аналіз контрольованих операцій, обирати оптимальні методи ціноутворення, знати ознаки цих ризиків з метою оподаткування. Щоб податківці рідше цікавилися бізнес-діяльністю, при заповненні звітності потрібно намагатися уникати помилок, з цією метою необхідно використовувати найкращі практики і застосовувати наступні рекомендації щодо ТЦУ (табл. 2).

Таблиця 2

## Комплекс найкращих практик і рекомендацій щодо ТЦУ\*

Рекомендація	Комплекс дій
Зрозуміти законодавчу базу та вимоги до відповідності	Ознайомитися з правилами трансфертного ціноутворення та податковим законодавством, які застосовуються у вашій юрисдикції. У різних країнах існують окремі правила та вказівки, як-от Рекомендації ОЕСР щодо трансфертного ціноутворення або розділ Кодексу внутрішніх доходів США. Переконайтеся, що ваша компанія дотримується всіх місцевих і міжнародних норм, щоб уникнути штрафів і юридичних проблем. Слідкуйте за будь-якими законодавчими змінами вкрай важливо для підтримки відповідності.
Запровадити ефективну документацію щодо трансфертного ціноутворення	Вести вичерпну та точну документацію для обґрунтування вашої політики трансфертного ціноутворення. Це включає підготовку головного файлу, локального файлу та звіту по країні, якщо це можливо. У документації мають бути детально описані ваші бізнес-операції, методології ціноутворення та економічне обґрунтування ваших стратегій трансфертного ціноутворення. Це не тільки допомагає в перевірках, але й демонструє прозорість і сумлінність податковим органам.
Прийняти розширені угоди про ціни (АРА)**	Розглянути можливість укладення АРА з податковими органами, щоб отримати певність і уникнути суперечок щодо угод про трансфертне ціноутворення. АРА – це проактивна угода між платником податків і однією чи кількома податковими юрисдикціями, яка встановлює методологію трансфертного ціноутворення для операцій. Вони особливо корисні для складних транзакцій і можуть призвести до зниження аудиторського ризику та податкової впевненості.
Регулярно переглядати та оновлювати стратегії трансфертного ціноутворення	Періодично оцінювати свої стратегії трансфертного ціноутворення, щоб переконаватися, що вони відповідають поточним бізнес-операціям і ринковим умовам. Це передбачає перегляд моделей ціноутворення, порівняльні дослідження та економічний аналіз. Застосування проактивного підходу допомагає виявити та виправити будь-які розбіжності чи неефективності, тим самим оптимізуючи податкові результати та мінімізуючи ризики звинувачень в ухиленні від сплати податків.

Джерело: узагальнено автором

Отже, на нашу думку, трансфертне ціноутворення є ключовим елементом управління ризиками та податкового планування. Воно допомагає уникнути фіскальності та знизити ризики донарахування податків. Тому запорукою для успішної роботи компанії є грамотно розроблена стратегія ТЦУ.

Стратегії оптимізації оподаткування охоплюють низку правових методів, спрямованих на мінімізацію податкових зобов'язань за допомогою стратегічного планування, що забезпечує значні переваги для транснаціональних корпорацій. Ці методи є невід'ємною частиною корпоративних фінансових стратегій, гарантуючи, що компанії можуть законно зменшити свої податкові зобов'язання, дотримуючись нормативної бази [3, с. 21].

Проведене дослідження дозволило дійти висновку, що основні стратегії включають використання трансфертного ціноутворення, податкових пільг і стимулів, які відповідають міжнародним рекомендаціям, наприклад тим, які викладені ОЕСР [6]. Застосовуючи ці стратегії, компанії можуть оптимізувати розподіл своїх доходів, керувати податковими ризиками та покращити грошові потоки. Крім того, розуміння та реалізація таких стратегій вимагає глибоких знань податкового законодавства, правил бухгалтерського обліку та здатності творчо інтерпретувати ці правила відповідно до конкретних потреб компанії. При розробці стратегії необхідно застосовувати систему моніторингу актуальності питань з трансфертного ціноутворення, враховуючи їх переваги та обмеження (табл. 3).

Так як на практиці, у процесі розробки стратегії ТЦУ виникає безліч проблемних питань [7, с. 619], які можуть спіткати великих платників податків, доцільно запропонувати наступні рекомендації для їх вирішення:

– щодо трансфертного ціноутворення: необхідно розробити надійну документацію та політику ціноутворення, узгоджену з міжнародними рекомендаціями (наприклад, ОЕСД), щоб забезпечити відповідність і прозорість;

– щодо податкової оптимізації: залучати досвідчених податкових консультантів для розробки стратегій, які відповідають правовим рамкам і враховують етичні наслідки;

Таблиця 3

## Переваги та обмеження щодо питань з трансфертного ціноутворення\*

Назва	Переваги	Обмеження
Трансфертне ціноутворення	Дозволяє транснаціональним компаніям розподіляти прибутки та витрати між дочірніми компаніями в різних країнах, оптимізуючи розподіл ресурсів і забезпечуючи операційну ефективність	Складне регулювання може призвести до проблем із дотриманням законодавства, а неправильне ціноутворення може призвести до значних штрафів і напружених відносин з податковими органами.
Податкова оптимізація	Компанії можуть стратегічно планувати свої фінанси, щоб легально зменшити податкові зобов'язання, звільнивши ресурси для реінвестування або іншої комерційної діяльності	Агресивні стратегії можуть межувати з ухиленням від сплати податків, ризикуючи юридичними наслідками та завдати шкоди репутації, якщо регулятори визнають їх неетичними.
Податок на прибуток	Належне управління може сприяти дотриманню місцевого та міжнародного податкового законодавства, мінімізуючи ризик штрафних санкцій і сприяючи доброму корпоративному громадянству	Орієнтуватися в різних податкових законах у різних юрисдикціях може бути складно, що потребує значного досвіду та ресурсів.
Податковий контроль	Запровадження ефективних заходів податкового контролю забезпечує дотримання законодавства та допомагає визначити можливість економії податків, зменшуючи ризик шахрайства чи помилок.	Впровадження надійних систем вимагає інвестицій у технології та кваліфікований персонал, що може бути дорогим для менших підприємств.

Джерело: узагальнено автором

- щодо податку на прибуток: інвестувати в навчання та технології, щоб бути в курсі міжнародного податкового законодавства та використовувати програмні рішення для точного подання податкових декларацій і звітності;
- щодо ухилення від сплати податків: сприяти розвитку етичної корпоративної культури та встановити жорсткий внутрішній контроль для запобігання незаконній діяльності;
- щодо податкового контролю: використовувати автоматизацію та аналітику для ефективного податкового моніторингу та контролю, зменшуючи залежність від ручних процесів.

Надані рекомендації допоможуть компаніям ефективно управляти фінансами в рамках закону, здійснюючи податкове планування і управління ризиками та уникати проблем з податковими органами.

#### Висновки

Отже, трансфертне ціноутворення та його розвиток як у міжнародній практиці, так і в Україні стало важливим питанням останнім часом. Тому розуміння та застосування різних методів трансфертного ціноутворення має важливе значення для транснаціональних корпорацій для забезпечення дотримання міжнародних стандартів оподаткування та мінімізації ризику спорів з податковими органами. Кожен метод має свої переваги та відповідний контекст, і часто компаніям може знадобитися використовувати більше одного методу, щоб досягти справедливої та відповідної структури ціноутворення. Ретельно аналізуючи специфіку транзакцій і використовуючи відповідні методи, бізнес може ефективніше орієнтуватися в складнощах трансфертного ціноутворення і розробляти власні стратегії. Такий підхід забезпечує прозорість бізнес-процесів. Це допомагає компаніям дотримуватися законодавства та уникати проблем з податковими органами.

#### Список використаної літератури

1. Гетьман К.О. Правове регулювання відповідальності за порушення вимог трансфертного ціноутворення. *Право та інновації*. 2021. № 3 (35). С. 85–90. DOI: [https://doi.org/10.37772/2518-1718-2021-3\(35\)-12](https://doi.org/10.37772/2518-1718-2021-3(35)-12)
2. Єремян О. М. Податок на прибуток в Україні : оподаткування нерезидентів. Innovative educational technologies: european experience and its application in training in economics and management : Proceedings of scientific and pedagogical internship (May 20 – June 30, 2024, Riga, Latvia). Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. P. 48–50. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-452-8-17>
3. Жиглей І. В., Легенчук С. Ф., Орлов І. В. Трансфертне ціноутворення як засіб мінімізації податкових маніпуляцій у розрахунках з нерезидентами. *Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу*. 2022. № 3(50). С. 14–22. DOI: [https://doi.org/10.26642/pbo-2021-3\(50\)-14-22](https://doi.org/10.26642/pbo-2021-3(50)-14-22)
4. Корінь І. С. Розвиток трансфертного ціноутворення в умовах глобалізації та шляхи підвищення ефективності режиму трансфертних цін. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія : Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2021. № 38. С. 57–62. DOI: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2021-38-10>
5. Мельниченко Р. В. Податковий контроль трансфертного ціноутворення: правові засади : монографія. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2020. 344 с. DOI: <http://doi.org/10.31617/m.knute.2021-42>
6. Настанови ОЕСР щодо трансфертного ціноутворення для транснаціональних компаній та податкових служб : Організація економічного співробітництва та розвитку. 2010. Липень 22. 439 с. URL: [http://www.afo.com.ua/doc/Nastanovy\\_OESR.pdf](http://www.afo.com.ua/doc/Nastanovy_OESR.pdf)

7. Онищенко О. В., Хоменко Л. М., Авраменко О. І. Еволюція трансфертного ціноутворення в Україні : податковий аспект. *Миколаївський національний університет імені В. О. Сухомлинського*. 2018. № 21. С. 615–620. URL: <http://global-national.in.ua/archive/21-2018/117.pdf>

8. Податковий кодекс України : Закон України від 02.12.2010 № 2755-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>

9. Про затвердження Порядків встановлення відповідності умов контрольованої операції щодо сировинних товарів принципу «втягнутої руки» : наказ Міністерства фінансів України від 18.01.2022 № 19. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0662-22#Text>

10. Про затвердження переліку держав (територій), які відповідають критеріям, установленим підпунктом 39.2.1.2 підпункту 39.2.1 пункту 39.2 статті 39 ПКУ : Постанова КМУ від 27.12. 2017р. № 1045. Дата оновлення: 05.06.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/1045-2017-%D0%BF>

### References

1. Hetman, K.O. (2021). Pravove rehuliuвання vidpovidalnosti za porushennia vymoh transfertnoho tsinoutvorennia. [Legal regulation of liability for damage to transfer pricing]. *Pravo ta innovatsii*. 2021. № 3(35). pp. 85–90. [in Ukrainian] DOI: [https://doi.org/10.37772/2518-1718-2021-3\(35\)-12](https://doi.org/10.37772/2518-1718-2021-3(35)-12)

2. Yeremian, O. M. (2024). Podatok na prybutok v Ukraini: opodatkovannia nerezydentiv [Tax on income in Ukraine: taxation of non-residents]. *Innovative educational technologies: european experience and its application in training in economics and management : Proceedings of scientific and pedagogical internship (May 20 – June 30, 2024, Riga, Latvia)*. Riga, Latvia : Baltija Publishing. pp. 48–50. [in Ukrainian] DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-452-8-17>

3. Zhyhlei, I. V., Lehenchuk, S. F., & Orlov, I. V. (2022). Transfertne tsinoutvorennia yak zasib minimizatsii podatkovykh manipuliuvan u rozrakhunkakh z nerezydentamy [Transfer pricing as a means of minimizing tax manipulation in operations with non-residents]. *Problemy teorii ta metodolohii bukhhalterskoho obliku, kontroliu i analizu*, 3(50), pp. 4–22. [in Ukrainian] DOI: [https://doi.org/10.26642/pbo-2021-3\(50\)-14-22](https://doi.org/10.26642/pbo-2021-3(50)-14-22)

4. Korin, I. S. (2021). Rozvytok transfertnoho tsinoutvorennia v umovakh hlobalizatsii ta shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti rezhymu transfertnykh tsin [Development of transfer pricing in the conditions of globalization and ways to increase the efficiency of the transfer price regime]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove gospodarstvo*, 38, 57–62 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2021-38-10>

5. Melnychenko R. V. *Podatkovyi kontrol transfertnoho tsinoutvorennia: pravovi zasady : monohrafiia* [Subsidiary control of transfer pricing: legal ambushes: monograph]. Kyiv: Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 344 p. [in Ukrainian]. DOI: <http://doi.org/10.31617/m.knute.2021-42>

6. Orhanizatsiia ekonomichnoho spivrobotnytstva ta rozvytku. (2010, Lypen 22). Nastanovy OESR shchodo transfertnoho tsinoutvorennia dlia transnatsionalnykh kompanii ta podatkovykh sluzhb, 439 s. [in Ukrainian]. Available at: [http://www.afo.com.ua/doc/Nastanovy\\_OESR.pdf](http://www.afo.com.ua/doc/Nastanovy_OESR.pdf)

7. Onyshchenko, O. V., Khomenko, L. M., & Avramenko, O. I. (2018). Evoliutsiia transfertnoho tsinoutvorennia v Ukraini: podatkovyi aspekt [Evolution of transfer pricing in Ukraine: tax aspects]. *Mykolaivskiy natsionalnyi universytet imeni V. O. Sukhomlynskoho*, 21, 615–620 [in Ukrainian]. Available at: <http://global-national.in.ua/archive/21-2018/117.pdf>

8. Verkhovna Rada Ukrainy. (2010, Hruden 02). Podatkovyi kodeks Ukrainy [Tax Code of Ukraine]: Zakon Ukrainy (№ 2755-VI) [in Ukrainian]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>

9. Ministerstvo finansiv Ukrainy. (2022, Sichen 18). Pro zatverdzhennia Poriadkiv vstanovlennia vidpovidnosti umov kontrolovanoi operatsii shchodo syrovynnykh tovariv pryntsypu «vytiahnutoi ruku»: nakaz (№ 19) [in Ukrainian]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0662-22#Text>

10. Kabinet Mynystrov Ukrainy. (2017, Hruden 27). Pro zatverdzhennia pereliku derzhav (terytorii), yaki vidpovidaiut kryteriiam, ustanovlenym pidpunktom 39.2.1.2 pidpunktom 39.2.1 punktu 39.2 statii 39 PKU [About the confirmation of the transfer of powers (territories), which meet the criteria established by sub-clause 39.2.1.2, sub-clause 39.2.1, clause 39.2 of Article 39 of the PCU] : Resolution of the Cabinet of Ministers (№. 1045). Date updated: 06/05/2024 [in Ukrainian]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/1045-2017-%D0%BF>

О. П. ЗУБАЛЬ

здобувач бакалаврського рівня освіти за спеціальністю  
281 «Публічне управління та адміністрування»  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0004-5746-7522

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА РЕОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НАСЕЛЕНИМ ПУНКТОМ ЗАДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

*Робота присвячена аналізу сучасних підходів до вдосконалення та реорганізації системи управління населеними пунктами під час післявоєнного відновлення. Акцентовано увагу на відсутності сформованого поняття «управління населеним пунктом». Досліджено роль організаційної структури як складової управління, що визначає межі діяльності та розподіл повноважень в органах публічної влади, акцентовано на неможливості застосування єдиного підходу до побудови системи управління через різноманітність особливостей населених пунктів. Розглянуто значення концепції «Smart Governance» як основи для адаптації європейського досвіду, що може слугувати орієнтиром для модернізації української системи управління населеним пунктом.*

*Особливу увагу приділено можливості застосування штучного інтелекту для побудови організаційної структури системи управління населеним пунктом задля ефективного відновлення територій, що найбільше постраждали від війни. Виявлено необхідність дослідження сучасних підходів до розробки індивідуальних стратегій для кожного населеного пункту з урахуванням культурних, економічних та інфраструктурних особливостей.*

*На основі європейської та євроатлантичної орієнтації України пропонується підхід до формування організаційної структури управління, зокрема шляхом застосування штучного інтелекту для врахування максимальної кількості специфічних факторів, що впливають на побудову організаційної структури системи управління. Окреслено напрями наукового пошуку та подальших досліджень.*

**Ключові слова:** населений пункт, система управління населеним пунктом, організаційна структура системи управління населеним пунктом, післявоєнне відновлення, публічна влада, штучний інтелект.

O. P. ZUBAL

Bachelor's Degree Applicant in Specialty 281 "Public Administration"  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0004-5746-7522

## THEORETICAL AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO IMPROVEMENT AND REORGANIZATION OF HUMAN SETTLEMENT MANAGEMENT SYSTEMS FOR EFFECTIVE POST-WAR RECONSTRUCTION

*The work is devoted to the analysis of modern approaches to the improvement and reorganization of human settlement management systems during post-war reconstruction. Attention is focused on the lack of a formed concept of "human settlement management". The role of the organizational structure as a component of management, which determines the limits of activity and the distribution of powers in public authorities, has been studied, and the impossibility of applying a single approach to building a management system due to the diversity of localities is emphasized. The importance of the concept of "Smart Governance" as a basis for the adaptation of European experience, which can serve as a reference point for the modernization of the Ukrainian settlement management system, is considered.*

*Special attention is paid to the possibility of using artificial intelligence to build the organizational structure of the human settlement management system for the effective restoration of the territories most affected by the war. The necessity of researching modern approaches to the development of individual strategies for each settlement, taking into account cultural, economic and infrastructural features, was revealed.*

*On the basis of the European and Euro-Atlantic orientation of Ukraine, an approach to the formation of the organizational structure of management is proposed, in particular by using artificial intelligence to take into account the maximum number of specific factors affecting the construction of the organizational structure of the management system. The directions of scientific research and further research are outlined.*

**Key words:** human settlement, human settlement management system, organizational structure of the human settlement management system, post-war reconstruction, public power, artificial intelligence.

### Постановка проблеми

В умовах війни, абсолютної невизначеності зрозумілою є орієнтація більшості населення України на поточні проблеми, життя «сьогоднішнім днем». Проте такий підхід є недопустимим для системи публічного управління та адміністрування в державі. Влада в Україні, як на рівні всієї країни, так і на рівні кожного населеного пункту, вже наразі має розробляти та реалізовувати програми, плани та стратегії відновлення в кожній галузі життєдіяльності населення на основі сформованих нею прогнозів, належно виконуючи таким чином свої функції як система управління.

Кожен населений пункт України має свої особливості: культурну й історичну спадщину, пріоритетну галузь економіки, тип місцевості, рівень ушкоджень від війни та інше, що унеможливує розробку єдиного конкретного плану дій публічної влади щодо відновлення та/або соціально-економічного розвитку кожної громади після війни. З огляду на це, актуальним постає дослідження сучасних підходів до формування загальних рекомендацій органам публічної влади щодо шляхів вдосконалення та реорганізації системи управління населеним пунктом.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зарубіжні та вітчизняні науковці вже розглядали низку важливих питань в контексті управління населеним пунктом. Так, наприклад, О. Черняков, О. Сумина ще на початку XXI ст. зазначали, що організаційні структури органів місцевого самоврядування вже не відповідали мінливому середовищу та повинні мати адаптивний характер; С. Вінтоник, О. Кравченко розглядали потребу вдосконалення організаційної структури місцевих органів виконавчої влади та наголошували на її переважній шаблонності; М. Крепак, В. Горачук, В. Коцур виявили подвійний зв'язок між функціями місцевого самоврядування та суспільними відносинами на місцях, що доводить необхідність у їх постійній кореляції; М. Сливко аналізував організаційні структури органів місцевого самоврядування в умовах децентралізації; Л. Карр, В. Стейл вивчали різні підходи до управління на місцях; С. Брандофіно, Д. Моралес аналізували шляхи впровадження інноваційних технологій, зокрема штучний інтелект, в системи управління на місцях; М. Фішер, Д. Мансбрідж, Д. Паркінсон доводили ефективність системного підходу до застосування сучасних технологій на рівні регіонів; Ю. Бацман, К. Толкуша, М. Ковтун, Н. Максiменцева, М. Максiменцев розглянули можливості та ризики впровадженні ШІ в публічне управління, Л. Корнута європейський досвід в цьому контексті, В. Гошовська, О. Кравчук – вектори досліджень шляхів застосування ШІ, проте лише в контексті законотворення.

З огляду на відсутність пропозицій універсального характеру щодо вдосконалення та реорганізації систем управління кожного населеного пункту, аналізу впровадження сучасних підходів в даному контексті та шляхів більш ефективного післявоєнного відновлення через інноваційне оновлення організаційних структур систем управління населеними пунктами, були визначені тема, мета та проблематика дослідження.

### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є аналіз сучасних підходів до вдосконалення та реорганізації систем управління населеним пунктом задля ефективного післявоєнного відновлення.

### Викладення основного матеріалу дослідження

В Україні законодавчо закріплено визначення населеного пункту як компактно заселеного місця проживання людей, що утворилося внаслідок історичних традицій, господарської та іншої діяльності, має сталий склад населення, власну назву та відокремлену територію із встановленими у передбаченому законом порядку межами [1].

Неокресленим залишається поняття «управління населеним пунктом». У мирний довоєнний час цей термін можна було б ототожнити з поняттям місцевого самоврядування – здатністю територіальної громади самостійно або під відповідальністю органів та посадових осіб місцевого самоврядування вирішувати питання місцевого значення в межах Конституції і законів України [2], оскільки саме ця система управління в кожному населеному пункті відповідальна за його належний стан та соціально-економічний розвиток його територіальної громади.

Під час же воєнного стану органи місцевого самоврядування здійснюють повноваження щодо управління населеним пунктом, надані їм Конституцією України, Законом України «Про правовий режим воєнного стану» та іншими законами України, разом з військовими адміністраціями – тимчасовими державними органами влади [3].

Можливо саме така особливість щодо відповідальних суб'єктів даної системи управління є однією з причин того, що термін «управління населеним пунктом» досі є невизначеним у сфері публічного управління та адміністрування. Проте, навіть абстрагуючись від проблематики щодо закріплення системи управління населеним пунктом за місцевим чи державним рівнем влади, відсутність цього поняття з погляду формулювання та класифікації специфічних характеристик системи даного виду управління створює певні обмеження для наукових досліджень щодо шляхів вдосконалення та реорганізації систем управління населеним пунктом.

В Україні зафіксовано майже 30 тис. населених пунктів [4], кожен з яких може кардинально відрізнитись від іншого за кількісними та якісними показниками. Звісно, для такої кількості територіально-адміністративних одиниць і з огляду на їх різноманітність, і з огляду на право мешканців децентралізовано приймати рішення щодо кожного населеного пункту, неможливо створити єдиний регламентований «формат» управління – однакову організаційну структуру органів влади, що керують населеним пунктом.



Саме організаційна структура органу публічної влади визначає межі його діяльності, оскільки регламентує рівні підпорядкованості та відображає розподіл відповідальності й повноважень щодо прийняття рішень. Організаційна структура системи управління населеним пунктом – поняття, в якому відображаються всі основні характеристики й елементи структури суб'єкта управління: поділ (спеціалізація) праці за посадами, групування посад за підрозділами, склад посад і підрозділів, компетенція та ієрархія посад, порядок зв'язків між посадами, підрозділами [5].

В умовах постійної нестабільності, майбутній потребі оперативного налагодження роботи по відновленню територіальних громад, може виникати потреба в зміні розмірів підрозділів та їх укомплектуванні більш кваліфікованим персоналом; груповій організації праці; орієнтації поточної роботи на конкретні запити мешканців; швидкій реакції на зміни; проявах антикризового управління; гнучкому переналагоджуванню роботи органу влади; орієнтації на міцні зв'язки з територіальною громадою.

З огляду на вищезгадане спостерігається необхідність у належній обґрунтованості побудови організаційної структури системи управління населеним пунктом, оскільки з раніше зазначених причин різноманітності характеристик населених пунктів, і відповідно завдань і функцій, які мають бути покладені на орган публічної влади, що визначають наявність відповідних структурних елементів системи управління, та праві на децентралізоване управління територіальних громад, неможливим є створення єдиної стандартизованої організаційної структури системи управління населеним пунктом.

Проте, зважаючи на європейський та євроатлантичний курс України, закріплений Конституцією [6], логічним є звернення до досвіду Європейського Союзу щодо вдосконалення та реорганізації систем управління населеним пунктом.

Як відомо, європейські країни як демократичні розвинуті держави користуються однією з найефективніших систем управління в державі Good Governance, що рекомендована ООН [7]. Концепція Good Governance (належне врядування) стала основою для появи нової – Smart Governance (розумне врядування) [8]. Розумне врядування є доповненням та своєрідним підсиленням належного. Належне врядування зосереджене на тому, наскільки прозорою, чесною та відкритою є система управління. Розумне врядування має на меті покращити належне врядування для встановлення та захисту демократії, сприяння спілкуванню та співпраці з мешканцями, бізнесом, зовнішнім середовищем завдяки цифровізації. Міжнародна академічна видавнича компанія, що спеціалізується на публікації результатів наукових досліджень, IGI Global визначає розумне врядування як «використання технологій та інновацій для сприяння та підтримки покращеного прийняття рішень і планування в урядових установах» [9].

З огляду на концепцію розумного врядування, на яку орієнтуються європейські країни, своєчасним для належного розвитку та оновлення систем управління населеним пунктом є розгляд можливостей застосування сучасних технологій до обґрунтованої побудови організаційної структури системи управління населеним пунктом. Сучасним програмним забезпеченням, яке за своєю функцією здатне обробляти великі масиви інформації та на її основі робити відповідні висновки за поставленою задачею, є штучний інтелект (ШІ).

Наразі законодавство щодо регулювання використання ШІ в Україні знаходиться на етапі розробки. Проте, зважаючи на законодавчу базу ЄС, на яку орієнтується і українське законотворення, основною умовою регламентованого застосування ШІ в будь-якій сфері життєдіяльності є захищеність прав людини та чітке розмежування інтелектуальної власності [10]. Беручи до уваги ці беззаперечні вимоги, вже наразі можливим є проектування потенційних шляхів використання ШІ з метою вдосконалення та реорганізації систем управління населеним пунктом.

З цього боку, використання сучасних підходів до побудови структури систем управління населеним пунктом задля ефективного післявоєнного відновлення характеризується не як повернення до передвоєнного стану управління в державі, а як побудова абсолютного нового. Ті населені пункти, які постраждали від війни найбільше, де майже повністю зруйнована минула система управління населеним пунктом через виїзд мешканців, неможливість підтримки належного рівня відтворення життя на території, могли б стати «першовідкривачами» застосування ШІ до побудови обґрунтованої організаційної структури системи управління населеним пунктом.

Аргументами до цього припущення можна навести, по-перше, початкову спрямованість наявних наразі суб'єктів управління населеним пунктом на розробку планів та стратегій повоєнного відновлення територіальної громади, оскільки головне поточне завдання публічної влади територій на межі та в центрі бойових дій полягає у підтримці максимально можливого забезпечення основних потреб мешканців. Додаткові заходи задля соціально-економічного розвитку даних населених пунктів складно впроваджувати під час збройної агресії через відсутність можливості у публічної влади гарантувати безпеку громадянськості та бізнесу, що спонукає суб'єктів управління акцентувати увагу на формуванні майбутнього бачення територіальної громади та відповідно до нього шукати шляхи максимально ефективного та швидкого відновлення.

По-друге, у системах управління населеними пунктами, які знаходяться на межі або в центрі бойових дій, також через орієнтацію публічної влади на післявоєнне відновлення, може бути менший супротив впровадженню

сучасних технологій ШІ. Наразі існують хибні упередження про «заміну» людей роботами, втрату через застосування інновацій посади, зниження заробітної платні тощо. Проте, говорячи про впровадження машинних алгоритмів ШІ, зазначається насамперед про виконання ними рутинних, аналітичних завдань з більшою ефективністю (через відсутність людського фактору, корупційних впливів та використання меншої кількості ресурсів та часу). Впровадження ШІ скоріше вимагатиме не звільнення всіх «замінених» працівників, а підвищення їх кваліфікації до рівня виконання більш складних функцій, які потребують людського втручання.

По-третє, публічній владі населених пунктів, які найбільше постраждали від війни та продовжують зазнавати втрат, вже наразі було б логічно розпочати ведення обліку всіх наявних ресурсів, розробку прогнозів кількості мешканців територіальної громади після завершення бойових дій, моніторинг інфраструктурних ушкоджень, збір даних про всі соціально-економічні особливості населеного пункту для розуміння масштабів відновлення та потенційних обсягів потрібного фінансування, що також може стати впливовими чинниками для алгоритму ШІ при формуванні організаційної структури системи управління населеним пунктом.

По-четверте, саме на населені пункти, які потребують найбільшої допомоги у післявоєнному відновленні, буде акцентована діяльність європейських партнерів. Суб'єкти управління населеними пунктами могли б вже наразі звертатись до представництва визначених країн, які братимуть участь у відбудові певної області та/або населеного пункту [11], по допомогу у розробці конкретного алгоритму ШІ, який врахував би всі особливості населеного пункту як певні параметри до побудови організаційної структури системи управління населеним пунктом.

### Висновки

Населені пункти України відрізняються один від одного за різними параметрами: кількість населення, тип місцевості, соціально-економічна розвиненість, рівень ушкоджень від війни тощо. З цієї причини неможливо створити єдиний план відновлення, що відповідав би стану всіх населених пунктів, саме тому важливим є дослідження загальних підходів до вдосконалення та реорганізації систем управління населеним пунктом.

Поняття «управління населеним пунктом» в Україні не закріплено припустимо з тієї причини, що до початку воєнного стану, цей вид управління можна було ототожнити з управлінням на місцевому рівні (системою місцевого самоврядування). Належне функціонування системи управління населеним пунктом забезпечується її організаційною структурою, яка має бути побудована відповідно до потреб та особливостей певної територіальної громади. У мінливих обставинах війни та необхідних майбутніх швидких темпів відновлення територій виникає потреба у створенні гнучких організаційних структур систем управління, здатних адаптуватися до змін і викликів, забезпечуючи належний рівень життєвідтворення на території.

Публічна влада населених пунктів на межі або в центрі бойових дій вже наразі разом з розробкою планів та стратегій відновлення могла б вивчати підходи до вдосконалення та реорганізації своїх структур та стати прикладом застосування штучного інтелекту до побудови обґрунтованої організаційної структури системи управління населеним пунктом.

Також необхідно зауважити на необхідності розробки майбутніх наукових досліджень у напрямках визначення поняття «управління населеним пунктом», адаптації досвіду ЄС у побудові обґрунтованих організаційних структур органів публічної влади та використанні технологій ШІ в системі публічного управління та адміністрування, розробки рекомендацій щодо формування українського законодавства з регулювання використання ШІ, пошуку шляхів впровадження сучасного програмного забезпечення у діяльність системи управління населеним пунктом.

### Список використаної літератури

1. Про порядок вирішення окремих питань адміністративно-територіального устрою України : Закон України від 28.07.2023 р. № 3285-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3285-20#Text>
2. Про місцеве самоврядування в Україні : Закон України від 21.05.1997 № 280/97-ВР : станом на 30 жовт. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-вр#Text>
3. Про правовий режим воєнного стану : Закон України від 12.05.2015 № 389-VIII : станом на 27 лип. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text>
4. Области. Децентралізація в Україні. URL: [https://decentralization.ua/state?sort\\_direction=&sort\\_by=](https://decentralization.ua/state?sort_direction=&sort_by=)
5. Енциклопедія державного управління : у 8 т. / Нац. акад. держ. упр. при Президентові України ; наук.-ред. колегія : Ю. В. Ковбасюк (голова) та ін. – К. : НАДУ, 2011. Т. 2 : Методологія державного управління / наук.-ред. колегія : Ю. П. Сурмін (співголова), П. І. Надолішній (співголова) та ін. – 2011. – 692 с.
6. Конституція України : від 28.06.1996 № 254к/96-ВР : станом на 1 січ. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр#Text>
7. Good Governance: Definition and Characteristics – UCLG ASPAC. UCLG ASPAC. URL: <https://uclg-aspac.org/good-governance-definition-and-characteristics/>.
8. What is smart governance? Tomorrow.City – The biggest platform about urban innovation. URL: <https://www.tomorrow.city/what-is-smart-governance/>.

9. İkizer İ. Do Smart City Solutions Contribute to the Achievement of the Sustainable Development Goals? Smart Cities, Citizen Welfare, and the Implementation of Sustainable Development Goals. IGI Global. 2022. P. 22–44. URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7785-1.ch002>

10. Біла книга з регулювання ШІ в Україні: бачення Мінцифри. Міністерство цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/docs/Регулювання%20ШІ.pdf>.

11. Післявоєнне відновлення України: які країни взяли шефство над містами та областями. Слово і Діло. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/03/01/infografika/suspilstvo/pislyavoyenne-vidnovlennya-ukrayiny-yaki-krayiny-vzyaly-shefstvo-nad-mistamy-ta-oblastyamy>.

#### References

1. On the procedure for solving certain issues of the administrative and territorial system of Ukraine: Law of Ukraine № 3285-IX. (2023, July 28) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3285-20#Text> (in Ukrainian)

2. On local self-government in Ukraine: Law of Ukraine № 280/97-VR (1997, May 05). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-вр#Text> (in Ukrainian)

3. On the legal regime of martial law: Law of Ukraine № 389-VIII (2015, May 12). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text> (in Ukrainian)

4. Regions. Decentralization in Ukraine. URL: [https://decentralization.ua/state?sort\\_direction=&sort\\_by=](https://decentralization.ua/state?sort_direction=&sort_by=) (in Ukrainian)

5. Y. P. Surmin. (2011) *Metodolohiia derzhavnoho upravlinnia*. [Methodology of state administration.] (Vol. 2) – Kyiv: NADU. – 692 p. (in Ukrainian)

6. Constitution of Ukraine: № 254k/96-ВР: (1996, June 28) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254k/96-вр#Text> (in Ukrainian)

7. UCLG ASPAC. (2021). Good Governance: Definition and Characteristics. URL: <https://uclg-aspac.org/good-governance-definition-and-characteristics/>. (in English)

8. Tomorrow.City (2024). What is smart governance? URL: <https://www.tomorrow.city/what-is-smart-governance/>. (in English)

9. İkizer İ. (2022). Do Smart City Solutions Contribute to the Achievement of the Sustainable Development Goals? Smart Cities, Citizen Welfare, and the Implementation of Sustainable Development Goals. IGI Global. P. 22–44. URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7785-1.ch002> (in English)

10. Ministry of Digital Transformation of Ukraine. (2024). White paper on the regulation of AI in Ukraine: the vision of the Ministry of Digital. URL: <https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/docs/Регулювая%20ШІ.pdf>. (in Ukrainian)

11. Word and Deed. (2023). Post-war recovery of Ukraine: which countries took over cities and regions. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/03/01/infografika/suspilstvo/pislyavoyenne-vidnovlennya-ukrayiny-yaki-krayiny-vzyaly-shefstvo-nad-mistamy-ta-oblastyamy>. (in Ukrainian)

О. В. КОКОРЕВА

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри менеджменту, маркетингу і туризму  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-9918-2278

## ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО МОТИВАЦІЇ ПРАЦІ ПРАЦІВНИКІВ У МЕДИЧНИХ УСТАНОВАХ

Стаття присвячена дослідженню інноваційних підходів до мотивації працівників у медичних установах, що є важливим аспектом забезпечення ефективного надання медичних послуг. У дослідженні акцентується увага на ключових елементах мотивації, зокрема індивідуалізованих підходах, комфортному робочому середовищі та інтеграції сучасних технологій. У статті підкреслюється важливість поєднання матеріальних і нематеріальних стимулів, адаптованих до унікальних потреб сфери охорони здоров'я.

Особливу увагу приділено індивідуалізованим підходам, які враховують специфічні потреби та пріоритети кожного працівника. Програми професійного розвитку, наставництво для молодих спеціалістів і гнучкий графік роботи сприяють підвищенню задоволеності роботою та залученості. Використання сучасних технологій, таких як медичні інформаційні системи, автоматизація рутинних завдань і телемедичні рішення, спрощує адміністративні процеси, зменшує навантаження на медичний персонал і створює можливості для постійного професійного зростання. Крім того, створення комфортного робочого середовища є необхідним для підтримки добробуту працівників і їхньої продуктивності. Ці інновації не лише підвищують задоволеність працівників, а й сприяють утриманню кваліфікованих фахівців у сфері охорони здоров'я. Результати дослідження підкреслюють, що впровадження інноваційних мотиваційних підходів є критично важливим для формування висококваліфікованої, лояльної та мотивованої робочої сили в медичних установах. Такі механізми покращують якість медичних послуг, оптимізують організаційні процеси та зміцнюють конкурентоспроможність медичних закладів у динамічному навколишньому середовищі. Це дослідження робить внесок у сферу управління людськими ресурсами в охороні здоров'я, пропонуючи ідеї та інструменти для створення продуктивної, залученої та стабільної медичної робочої сили. Ці підходи особливо актуальні для вирішення сучасних викликів і забезпечення довгострокового успіху організацій охорони здоров'я.

**Ключові слова:** мотивація праці, інноваційні підходи, медичні установи, сучасні технології, індивідуалізований підхід, комфортне робоче середовище.

O. V. KOKORIEVA

PhD in Economics, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Management, Marketing and Tourism  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-9918-2278

## INNOVATIVE APPROACHES TO EMPLOYEE MOTIVATION IN MEDICAL INSTITUTIONS

The article is devoted to exploring innovative approaches to motivating employees in medical institutions, an essential aspect of ensuring effective healthcare delivery. The research emphasizes key elements of motivation, including individualized approaches, a comfortable working environment, and the integration of modern technologies. The article highlights the importance of combining material and non-material incentives tailored to the unique demands of the healthcare sector.

Individualized approaches are particularly emphasized, as they address the specific needs and priorities of each employee. Programs for professional development, mentorship for young specialists, and flexible work schedules contribute to higher job satisfaction and engagement. The use of modern technologies, such as medical information systems, automation of routine tasks, and telemedicine solutions, simplifies administrative processes, reduces the burden on medical staff, and fosters opportunities for continuous professional growth.

Additionally, the creation of a comfortable working environment is essential for sustaining employee well-being and productivity. Elements such as ergonomic workplaces, psychological support programs, and rest areas help mitigate stress and prevent burnout. These innovations not only enhance employee satisfaction but also support the retention of skilled professionals in the healthcare sector.

The findings underline that adopting innovative motivational approaches is critical for forming a highly skilled, loyal, and motivated workforce in medical institutions. Such mechanisms improve the quality of medical services, optimize organizational processes, and strengthen the competitive position of healthcare facilities in a dynamic environment.

*This research contributes to the field of human resource management in healthcare, offering insights and tools for creating a productive, engaged, and sustainable medical workforce. These approaches are particularly relevant for addressing current challenges and ensuring the long-term success of healthcare organizations.*

**Key words:** work motivation, innovative approaches, medical institutions, modern technologies, individualized approach, comfortable working environment.

### Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку вітчизняної охорони здоров'я в умовах економічної кризи та воєнних дій, організація діяльності медичних установ, управління персоналом в них набуває особливої значущості. При цьому необхідно враховувати, що заклади охорони здоров'я є виробниками особливого товару в формі медичних послуг – збереження здоров'я нації.

Керівники закладів охорони здоров'я стикаються з низкою викликів, серед яких забезпечення фінансової стійкості, впровадження пацієнтоорієнтованого підходу, підвищення якості послуг, збереження та розвиток медичного персоналу, підвищення їхньої кваліфікації, а також імплементація інноваційних підходів до мотивації праці працівників у медичних установах. Інноваційні методи, які включають використання цифрових технологій, гнучких форматів роботи, індивідуалізованих програм професійного розвитку та систем нематеріальних стимулів, дозволяють підвищити ефективність праці та задоволеність роботою.

Впровадження сучасних мотиваційних механізмів сприятиме покращенню якості правового забезпечення, зниженню рівня стресу та підвищенню рівня професійної реалізації працівників.

Таким чином, тема дослідження є актуальною та має значення для розробки практичних рекомендацій, спрямованих на створення комфортних умов праці для працівників у медичній сфері.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теоретичні та практичні аспекти мотивації працівників розглядалися у працях таких дослідників, як Л. Бульба, В. Васюта, А. Вернадський, М. Войнаренко, О. Грیشнова, І. Завадський, Г. Іванченко, К. Козак, А. Левін, І. Тимченко, С. Цимбалюк та інших. У їхніх роботах досліджено різні підходи до мотивації персоналу, основні чинники впливу на результативність праці та механізми стимулювання працівників.

Однак особливості розробки та впровадження інноваційної системи мотивації в медичних установах залишаються недостатньо вивченими. Незважаючи на значний внесок вітчизняних і зарубіжних учених у розвиток цієї тематики, необхідність у подальших дослідженнях пов'язана з унікальними умовами та викликами, які супроводжують діяльність медичного персоналу.

Ця проблема вимагає нових теоретичних розробок і практичних рішень, спрямованих на створення ефективної системи мотивації, яка враховує специфіку роботи медичних працівників, їхній емоційний стан, стресові умови праці та потребу у професійному розвитку. Отже, вивчення інноваційних підходів до мотивації праці в медичних установах є актуальним завданням сучасної науки та практики.

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Попри численні дослідження, присвячені мотивації праці в різних галузях, питання мотивації працівників у медичних установах залишається недостатньо розкритим. Зокрема, недостатньо уваги приділено: адаптації інноваційних мотиваційних методів до специфіки роботи працівників у медичних установах, де часто доводиться вирішувати чутливі та стресові ситуації; розробці комплексних програм мотивації, які враховують як матеріальні, так і нематеріальні потреби працівників; аналізу впливу сучасних технологій та цифрових інструментів на підвищення залученості працівників до виконання професійних обов'язків; створенню індивідуалізованих підходів до мотивації, що враховують психологічні та професійні особливості фахівців; дослідженню довгострокових ефектів інноваційних мотиваційних підходів на стабільність і якість роботи працівників у медичних установах.

Ці аспекти формують прогалини в наукових дослідженнях, які необхідно заповнити для розробки ефективних стратегій мотивації, здатних відповідати сучасним викликам і потребам.

### Формулювання мети дослідження

Мета статті полягає в аналізі та обґрунтуванні інноваційних підходів до мотивації праці працівників у медичних установах, а також розробці практичних рекомендацій для підвищення їхньої професійної активності, задоволеності роботою та ефективності виконання посадових обов'язків.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Мотивація не є рисою характеру, її присутність чи відсутність варіюється залежно від ситуації, тому потрібно, з одного боку, мати уявлення про результати теоретичних досліджень у сфері управління персоналом, а з другого – зрозуміти соціально-історичний контекст, у якому формуються ті чи інші концепції [1, с. 105].

Інноваційна форма управління персоналом включає сфери і методи, що використовуються на різних етапах розвитку ринкової економіки:

- залучення персоналу з наданням мінімально ринкової конкурентоспроможної заробітної платні;
- розходи на навчання – мінімально потрібні;

- форми навчання – переважно у процесі роботи;
- стиль керівництва – переважно демократичний;
- регламентація дій працівника – практично завжди сувора;
- мотивація до праці – індивідуальне матеріальне стимулювання;
- функції кадрових служб – переважно облікові;
- планування розвитку персоналу – короткострокове;
- піклування про соціальний захист працівників – по можливості;
- оцінка ефективності персоналу – переважно за короткостроковими фінансовими критеріями [2, с. 167-175].

Інновації відіграють ключову роль у вдосконаленні систем мотивації працівників у медичних установах, адже впровадження нововведень позитивно впливає на загальну ефективність роботи організації та продуктивність персоналу. До основних переваг інноваційних підходів можна віднести:

- підвищення конкурентоспроможності медичного закладу: інноваційні рішення в системі мотивації дозволяють створити привабливі умови праці, що допомагає залучати висококваліфікованих фахівців, утримувати їх у команді та забезпечувати високу якість медичних послуг;
- ефективне використання ресурсів: інноваційні методи, такі як цифровізація процесів, впровадження гнучких графіків і автоматизація рутинних завдань, сприяють раціональному використанню людських і матеріальних ресурсів, підвищуючи продуктивність персоналу;
- поліпшення кадрового потенціалу: інноваційні підходи, що включають індивідуалізовані програми мотивації, професійного розвитку та створення комфортного середовища праці, стимулюють співробітників до ефективної роботи. Працівники медичних установ, які отримують можливість професійного зростання та працюють у сприятливих умовах, демонструють вищий рівень залученості та задоволеності.

Персонал медичних установ є одним із найцінніших активів організації. Створення інноваційного середовища у закладі охорони здоров'я сприяє формуванню мотивації працівників до професійного розвитку та ефективної діяльності. Керівництво, впроваджуючи сучасні підходи, стимулює інноваційне мислення та ініціативність серед персоналу, надихає співробітників на обмін знаннями, досвідом, навичками, а також пропозиціями щодо вдосконалення робочих процесів. Таке середовище сприяє не лише підвищенню залученості працівників, а й покращенню командної взаємодії, що особливо важливо у складних умовах медичної діяльності. Інноваційний підхід дозволяє персоналу відчувати свою значущість у досягненні загальних цілей організації, сприяючи підвищенню ефективності роботи та якості надання медичних послуг.

Інноваційні підходи до мотивації праці працівників у медичних установах базуються на поєднанні матеріальних і нематеріальних стимулів, адаптованих до специфіки роботи в сфері охорони здоров'я. У межах дослідження можна виокремити кілька ключових аспектів (табл. 1).

Таблиця 1

**Ключові аспекти інноваційних підходів до мотивації праці працівників у медичних установах**

Ключові аспекти інноваційних підходів до мотивації працівників	Опис	Приклади реалізації	Очікувані результати
Матеріальна мотивація	Забезпечення конкурентної оплати праці та додаткових фінансових стимулів.	Система преміювання за якість роботи. Додаткові бонуси за складні завдання.	Підвищення продуктивності та зниження плинності кадрів.
Нематеріальна мотивація	Використання нематеріальних стимулів для підвищення залученості працівників	Проведення тренінгів та семінарів. Публічне визнання досягнень	Підвищення професійної компетентності та задоволеності роботою
Індивідуалізований підхід	Врахування особистих потреб і пріоритетів працівників	Програми наставництва для молодих спеціалістів. Гнучкі умови для досвідчених працівників	Задоволення індивідуальних потреб і зростання лояльності до організації.
Сучасні технології	Використання цифрових інструментів для оптимізації робочих процесів.	Автоматизація рутинних завдань. Використання правових платформ.	Зниження рівня стресу та підвищення ефективності виконання професійних завдань.
Комфортне робоче середовище	Створення сприятливих умов для продуктивної роботи.	Ергономічні робочі місця. Гнучкий графік роботи. Зони відпочинку.	Підвищення задоволеності працею та зменшення професійного вигорання.

Матеріальна мотивація праці займає найважливіше місце серед інших чинників. Розмір заробітної плати відповідно до посади регулюється рівнем освіти, якості диплома (середній, вищий, спеціальний навчальний заклад) [3].

Для різних категорій медичного персоналу – лікарів, медсестер, адміністративних працівників – існують окремі тарифні сітки, що враховують їхню кваліфікацію та професійний досвід. Такий підхід є цілком виправданим,

оскільки збільшення стажу роботи безпосередньо в медичній практиці сприяє підвищенню професійної майстерності, покращенню клінічних навичок та здатності лікарів і фахівців оперативно реагувати на складні ситуації. Досвідчені медичні працівники краще прогнозують можливі ускладнення у процесі лікування, своєчасно запобігають ризикам для пацієнтів і приймають найефективніші рішення в критичних обставинах. Такий підхід до формування заробітної плати мотивує медичний персонал до постійного вдосконалення своїх навичок і накопичення досвіду, що безпосередньо впливає на якість надання медичних послуг та репутацію медичної установи.

Практика показує, що мотиваційний механізм у медичних установах втрачає ефективність, якщо матеріальні стимули не підкріплюються нематеріальними. Саме тому в сучасних медичних організаціях усе частіше застосовуються різноманітні форми морального стимулювання, які відіграють важливу роль у підвищенні залученості та продуктивності працівників:

- професійний розвиток і навчання, що має охоплювати організацію семінарів, тренінгів, майстер-класів для підвищення кваліфікації; надання можливостей для участі в міжнародних конференціях і форумах; сприяння продовженню стажувань у провідних медичних закладах;

- кар'єрний ріст і визнання, що має охоплювати прозорі умови для просування по службі; введення номінацій і нагород для працівників «кращий лікар місяця», «відмінний молодший медичний персонал» та ін.; визнання досягнень публічно з використанням стендів, соціальних мереж медичного закладу або внутрішні заходи;

- покращення умов праці, що має охоплювати створення комфортних робочих місць (ергономічний дизайн, сучасне обладнання); організація зон для відпочинку та релаксації; гнучкий графік роботи з урахуванням специфіки медичної діяльності;

- соціальна підтримка, яка має базуватися на забезпеченні доступу до психологічної підтримки – тренінгів зі стресостійкості, консультації з психологами; програми страхування для працівників та їхніх сімей; організація заходів для дітей працівників (дитячі свята, літні табори);

- колективні заходи та підтримка корпоративного духу має забезпечуватися через регулярну організацію командних заходів таких як пікніки, спортивні змагання, дні здоров'я; залучення до благодійних проєктів і акцій, які підкреслюють значущість їхньої роботи для суспільства;

- автономія та залучення в ухваленні рішень має забезпечуватися наданням можливості брати участь у плануванні роботи відділень чи закладу загалом; підтримка ініціатив працівників, які спрямовані на вдосконалення робочих процесів.

Впровадження таких стимулів допоможе створити сприятливу атмосферу в колективі, підвищити рівень задоволеності працівників роботою та зміцнити їхню лояльність до медичної установи.

Індивідуалізований підхід до мотивації персоналу передбачає врахування унікальних потреб, пріоритетів та характеристик кожного працівника для досягнення максимальної ефективності його роботи та задоволення професійними умовами. У медичних установах цей підхід має особливе значення, оскільки робота медичного персоналу пов'язана з високим рівнем відповідальності, стресу та потребою в професійному розвитку. Ключовими аспектами індивідуалізованого підходу мають бути:

- наставництво та підтримка молодих фахівців, а саме: призначення досвідчених наставників для нових співробітників; регулярне оцінювання прогресу молодих лікарів чи медсестер із фідбеком; підтримка у вирішенні перших складних випадків чи завдань;

- персоналізовані програми професійного розвитку, що мають охоплювати індивідуальні плани підвищення кваліфікації, що враховують спеціалізацію працівника; оплата навчання, курсів або сертифікацій за обраним напрямком; доступ до додаткових ресурсів для професійного зростання, наприклад літератури, он-лайн курсів або симуляторів;

- гнучкість графіку роботи, що має забезпечуватися за рахунок адаптації графіків відповідно до особистих обставин працівника (сімейні потреби чи стан здоров'я); можливість вибору змін, виходячи з особистих переваг або фізичних можливостей; забезпечення короткотривалих відпусток або відгулів за необхідності;

- індивідуальна оцінка результатів роботи, що має базуватися на проведенні регулярних зустрічей з кожним працівником для обговорення труднощів і майбутніх цілей; визнання особистих заслуг і внеску кожного працівника у роботу установи; персоналізовані бонуси чи нагороди за видатні досягнення;

- підтримка ініціатив працівників через реалізацію ідей для покращення робочих процесів; залучення працівників до прийняття рішень, що стосуються їхньої професійної діяльності; впровадження гнучкої системи розподілу обов'язків, яка враховує сильні сторони кожного співробітника;

- урахування психологічних психологічних і емоційних потреб через запровадження індивідуальної підтримки у складних емоційних ситуаціях, пов'язаних із професійною діяльністю; організація сеансів психологічної допомоги чи коучингу для покращення психологічного комфорту працівників; забезпечення балансування між професійним і особистим життям.

Інтеграція сучасних технологій у медичних установах не тільки підвищує якість медичних послуг, а й суттєво впливає на мотивацію персоналу. Використання новітніх технологічних рішень сприяє спрощенню робочих

процесів, зменшенню стресу від рутинних завдань та покращенню професійного розвитку працівників. Так, впровадження сучасних технологій має включати:

- впровадження медичних інформаційних систем (МІС), тобто забезпечення автоматичного ведення карт пацієнтів, розкладів прийомів і записів результатів обстежень; ведення системи електронного документообігу, таким чином зменшується час на заповнення паперових форм і швидкий доступ до необхідної інформації; автоматизація складських процесів через ефективне управління запасами медикаментів та обладнання;
- використання телемедицини – забезпечення можливості для працівників проводити консультації онлайн, що знижує навантаження на лікарів і дозволяє ефективно використовувати їхній час, а також дистанційне навчання через вебінари, он-лайн курси та відеоконференції;
- системи для моніторингу та аналітики – використання технологій для моніторингу здоров'я пацієнтів у реальному часі, наприклад, через смарт-пристрої, а також використання інструментів для аналізу ефективності роботи персоналу та розподілу навантаження, що допомагає уникнути перевантажень і планувати графіки;
- технології в навчанні та професійному розвитку, а саме VR і AR-технології: використання симуляторів для навчання персоналу складним медичним процедурам у безпечному середовищі; онлайн-платформи для отримання сертифікацій і підвищення кваліфікації в режимі 24/7; віртуальні бібліотеки та бази знань для доступу до сучасних наукових публікацій;
- використання спеціалізованих мобільних додатків для працівників, а саме: додатки для управління робочим часом, перегляду графіків змін і взаємодії з колегами; інструменти для отримання зворотного зв'язку від керівництва та пацієнтів;
- цифрові рішення для підвищення комфорту працівників, через впровадження чат ботів і автоматичних систем відповіді на запити, які допомагають зменшити адміністративне навантаження; платформи для корпоративної комунікації та співпраці, які полегшують взаємодію між відділеннями та працівниками (в тому числі імплементація інтернет речей (IoT) у медичні практики – використання розумних пристроїв для моніторингу стану пацієнтів і швидкого реагування на критичні ситуації, інтеграція системи для контролю стану обладнання його безперервної роботи).

Комфортне робоче середовище є одним із найважливіших нематеріальних стимулів, які сприяють покращенню продуктивності працівників, зниженню рівня стресу та підвищенню загальної задоволеності роботою. Для працівників медичних установ, які часто працюють у складних умовах, створення комфортного середовища є особливо актуальним. Сюди можна віднести:

- створення фізичного комфорту, а саме сучасне обладнання та інфраструктура – оснащення робочих місць сучасними технологіями, які спрощують виконання завдань (ергономічні меблі, високоякісне освітлення, вентиляція); чистота та гігієна – регулярне прибирання, забезпечення засобами дезінфекції та комфортних зон гігієни для працівників; зони відпочинку – облаштування комфортних кімнат для перерв із зручними меблями, кухонним приладдям та можливістю релаксації;
- забезпечення емоційної підтримки через дружню атмосферу в колективі, психологічної допомоги, позитивного ставлення керівництва через регулярне визнання досягнень працівників, підтримку їхніх ініціатив;
- забезпечення безпечними умовами праці, розробка алгоритмів для роботи в надзвичайних умовах – чітке регулювання дій у кризових ситуаціях (епідемії, аварії); стабільність робочого середовища – впевненість працівників у тому, що заклад виконує всі вимоги з охорони праці;
- забезпечення соціальних аспектів комфорту, а саме: гнучкість графіку роботи, додаткові соціальні блага – забезпечення транспортом для доїзду, пільги на харчування, безкоштовні медичні огляди;
- забезпечення технічної підтримки, тобто справності всього медичного обладнання та доступу до сучасних технологій; наявність IT-інфраструктури, яка полегшує роботу (наприклад, автоматизовані системи управління); швидке реагування на технічні несправності та їх усунення.

### Висновки

Дослідження підкреслило значущість впровадження інноваційних підходів до мотивації працівників медичних установ, які є ключовим чинником підвищення продуктивності та задоволеності працею. Індивідуалізований підхід, підтримка комфортного робочого середовища та використання сучасних технологій сприяють створенню умов, що підтримують професійний розвиток, зменшують стрес та підвищують залученість персоналу.

Зокрема, впровадження індивідуалізованих програм професійного розвитку та наставництва дозволяє враховувати унікальні потреби кожного працівника, що позитивно позначається на їхньому професійному зростанні. Сучасні технології, такі як медичні інформаційні системи, телемедицина та автоматизація рутинних завдань, сприяють зниженню адміністративного навантаження та підвищенню ефективності роботи.

Комфортне робоче середовище, що включає гнучкість у графіку, психологічну підтримку та безпечні умови праці, допомагає працівникам залишатися продуктивними та мотивованими. Всі ці аспекти сприяють створенню стійкої та лояльної робочої сили, що є запорукою успіху медичних установ у сучасних умовах.



Отже, застосування інноваційних підходів до мотивації праці персоналу дозволить не лише підвищити якість медичних послуг, але й сприятиме зростанню загальної ефективності роботи установи та її конкурентоспроможності в умовах сучасного медичного простору.

#### Список використаної літератури

1. Грищенко, В. Ф., Чернова, М. С. Інноваційні підходи до удосконалення системи мотивації персоналу підприємств України у сучасних умовах господарювання. *Маркетинг і менеджмент інновацій*, 2011. (1), С. 103–112.
2. Гунченко, М. В. Особливості формування та реалізації кадрової політики підприємства у сфері мотивації праці. *Науковий вісник Херсонського державного університету*, 2014. (8) (1), С. 80–82. (Серія: Економічні науки).
3. Гур'янова, Л. І. Формування системи мотивації праці на підприємстві. *Економіка і менеджмент культури*, 2013. (1), С. 85–88.

#### References

1. Hryshchenko, V. F., & Chernova, M. S. (2011). Innovatsiini pidkhody do udoskonalennia systemy motyvatsii personalu pidpriemstv Ukrainy u suchasnykh umovakh hospodariuvannia [Innovative approaches to improving the motivation system of enterprise personnel in modern economic conditions]. *Marketing i menedzhment innovatsii*, (1), S. 103–112.
2. Hunchenko, M. V. (2014). Osoblyvosti formuvannia ta realizatsii kadrovoi polityky pidpriemstva u sferi motyvatsii pratsi [Features of formation and implementation of enterprise personnel policy in the field of labor motivation]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu*, (8) (1), S. 80–82. (Serii: Ekonomichni nauky).
3. Hurianova, L. I. (2013). Formuvannia systemy motyvatsii pratsi na pidpriemstvi [Formation of the labor motivation system at the enterprise]. *Ekonomika i menedzhment kultury*, (1), S. 85–88.

**Л. П. СІДЕЛЬНИКОВА**

доктор економічних наук, професор,  
завідувач кафедри фінансів, обліку та оподаткування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-7182-2923

**В. В. ЗОСИМЧУК**

здобувач першого (бакалаврського) рівня  
кафедри фінансів, обліку та оподаткування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0006-2730-4188

## ФІСКАЛЬНІ ЕФЕКТИ СИСТЕМИ МІСЦЕВОГО ОПОДАТКУВАННЯ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

*Місцеве оподаткування є вагомим інструментом фінансової політики, що сприяє формуванню бюджетних ресурсів територіальних громад та забезпеченню їх фінансової незалежності. Повномасштабне вторгнення РФ на територію нашої держави згенерувало значні негативні впливи на різні сфери національної економіки, у тому числі і систему місцевого оподаткування. Воєнний стан суттєво змінив обсяги та структуру надходжень місцевих податків і зборів, особливо на деокупованих територіях та в територіальних громадах, наближених до лінії бойового зіткнення, що вимагає впровадження додаткових заходів для забезпечення фінансової стабільності місцевих бюджетів. Метою статті є аналіз фінансових ефектів системи місцевого оподаткування на території Херсонської області в умовах воєнного стану та оцінка впливу війни на формування власних фінансових ресурсів територіальних громад на деокупованих територіях. Досліджено фінансову ефективність системи місцевого оподаткування в Україні в період ведення військових дій. Проаналізовано вплив війни на акумуляцію податкових джерел доходів місцевих бюджетів Херсонської області. Визначені основні тенденції формування структури і динаміки податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області у 2021-2023 роках. Розглянуто структуру системи місцевого оподаткування у складі місцевих бюджетів Херсонської області. Проаналізовано трансформації фінансових ефектів місцевого оподаткування в умовах війни. Визначені чинники негативного впливу на обсяги мобілізації єдиного податку. Деталізовано фінансові ефекти податку на майно у розрізі його складових. Обґрунтовано, що чинна система місцевого оподаткування в період повоєнного відновлення має бути істотно переформатована, адже у діючому форматі вона неспроможна забезпечити достатні бюджетні ресурси для розбудови деокупованих та постраждалих від бойових дій територій. Акцентовано увагу, що саме оптимізація місцевих податків і зборів повинна стати ключовим чинником стимулювання регіональної економіки.*

**Ключові слова:** місцеві фінанси, податкова система, регіональна бюджетна політика, місцеві бюджети, доходи, місцеве оподаткування.

**L. P. SIDELNYKOVA**

Doctor of Economics, Professor,  
Head of the Department of Finance, Accounting and Taxation  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-7182-2923

**V. V. ZOSYMCHUK**

Bachelor's Degree Student  
at the Department of Finance, Accounting and Taxation  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0006-2730-4188

## FISCAL EFFECTS OF THE LOCAL TAXATION SYSTEM IN KHERSON REGION UNDER MARTIAL LAW

*Local taxation is an important instrument of fiscal policy that contributes to the formation of budgetary resources of territorial communities and ensures their financial independence. Russia's full-scale invasion of our country has generated significant negative impacts on various sectors of the national economy, including the local taxation system. Martial law has significantly changed the amount and structure of local tax and fee revenues, especially in the de-occupied territories and in territorial communities close to the contact line, which requires additional measures to ensure the*

*financial stability of local budgets. The purpose of the article is to analyse the fiscal effects of the local taxation system in the Kherson region under martial law and to assess the impact of the war on the formation of own financial resources of territorial communities in the de-occupied territories. The fiscal efficiency of the local taxation system in Ukraine during the period of military operations is investigated. The impact of the war on the accumulation of tax sources of local budget revenues in Kherson region is analysed. The main trends in the formation of the structure and dynamics of tax revenues of local budgets of the Kherson region in 2021-2023 are determined. The structure of the local taxation system in the local budgets of Kherson region is considered. The transformation of fiscal effects of local taxation in the conditions of war is analysed. The factors of negative impact on the amount of single tax mobilisation are identified. The fiscal effects of the property tax are detailed by its components. It is substantiated that the current system of local taxation in the period of post-war reconstruction should be significantly reformatted, since in its current format it is unable to provide sufficient budgetary resources for the development of de-occupied and war-affected territories. It is emphasised that optimisation of local taxes and fees should become a key factor in stimulating the regional economy.*

**Key words:** local finance, tax system, regional budget policy, local budgets, revenues, local taxation.

### Постановка проблеми

На сучасному етапі економічного розвитку місцеве оподаткування відіграє важливу роль у формуванні бюджетних ресурсів, забезпечуючи фінансову незалежність територіальних громад для виконання місцевих повноважень та задоволення потреб громадян у таких сферах, як освіта, охорона здоров'я, соціальний захист і житлово-комунальні послуги. Фіскальна роль місцевого оподаткування полягає не лише у наповненні бюджетів громад, а й у зміцненні фінансової системи держави в цілому. Втім, у сфері місцевого оподаткування існують і виклики, серед яких обмеженість бази оподаткування у деяких регіонах, недостатня ефективність адміністрування місцевих податків, нерівномірний розподіл податкових надходжень між регіонами з різним економічним потенціалом. Крім того, значні негативні впливи на різні сфери національної економіки, у тому числі і систему місцевого оподаткування, згенерувало повномасштабне вторгнення РФ на територію нашої держави. Воєнний стан суттєво змінив обсяги та структуру надходжень місцевих податків і зборів, особливо на деокупованих територіях та в територіальних громадах, наближених до лінії бойового зіткнення, що вимагає впровадження додаткових заходів для забезпечення фінансової стабільності місцевих бюджетів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Тенденції формування бюджетних ресурсів територіальних громад досліджували такі видатні українські вчені як О. Василик, Г. Возняк, Д. Загірняк, Т. Канєва, М. Карлін, О. Кириленко, Л. Лисяк, І. Луніна, К. Павлюк, М. Пасічний, І. Сторонянська, І. Чугунов, С. Юрій та інші. Питання особливостей функціонування системи місцевого оподаткування у світовій і вітчизняній фіскальній практиці вивчали В. Андрущенко, Н. Бак, Л. Баранник, І. Волохова, Т. Городецька, О. Гостева, О. Дем'янчук, А. Нікітішин, В. Письменний, А. Славкова, М. Слатвінська та інші. Акценти воєнного часу у формуванні локальних бюджетних ресурсів, в тому числі через механізми місцевого оподаткування, розставили у своїх працях В. Глухова, С. Дідур, А. Дуб, Т. Коляда, О. Кузьменко, Т. Мединська, І. Назаркевич, Л. Рябушка, О. Саєнко, В. Чорна та інші.

Разом з тим, особливої уваги потребують дослідження сучасного стану та подальших перспектив фінансового забезпечення територіальних громад деокупованих територій або територій, на яких ведуться активні бойові дії, з виокремленням проблематики місцевого оподаткування як основи фінансової бази органів місцевого самоврядування.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є аналіз фіскальних ефектів системи місцевого оподаткування на території Херсонської області в умовах воєнного стану та оцінка впливу війни на формування власних фінансових ресурсів територіальних громад на деокупованих територіях.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Місцеве оподаткування є вагомим інструментом фіскальної політики держави та її регіонів. Воно не лише сприяє формуванню ресурсів місцевих бюджетів, але й забезпечує економічну стабільність, стимулює регіональний розвиток та підвищує якість послуг, що надаються населенню. Не можна не погодитися з А. Славковою, яка зазначає, що фіскальний потенціал місцевих бюджетів є ключовим елементом їх фінансової стійкості та напряду залежить від обсягу власних податкових надходжень, які включають місцеві податки та збори [1, с. 215]. Отже, ефективне функціонування системи місцевого оподаткування є необхідною умовою для успішної реалізації реформи децентралізації та зміцнення фінансової спроможності територіальних громад.

Фіскальна ефективність системи місцевого оподаткування в Україні визначається її здатністю забезпечувати стабільні та достатні надходження до місцевих бюджетів для виконання покладених на них функцій та може бути охарактеризована через узагальнені показники, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

## Фіскальна ефективність системи місцевого оподаткування України

Показник	2021 рік	2022 рік	2023 рік
Питома вага місцевих податків та зборів у ВВП, %	1,65	1,62	1,53
Питома вага місцевих податків та зборів у доходах Зведеного бюджету України, %	5,41	3,84	3,22
Питома вага місцевих податків та зборів у податкових надходженнях Зведеного бюджету України, %	6,18	6,28	6,11
Питома вага місцевих податків та зборів у доходах місцевих бюджетів України, %	15,48	15,19	15,32
Питома вага місцевих податків і зборів у податкових надходженнях місцевих бюджетів України, %	25,93	21,43	23,01

Джерело: складено авторами за даними джерел [2; 3]

Дані таблиці 1 засвідчують вагому фіскальну роль місцевих податків і зборів у формуванні бюджетних ресурсів органів місцевого самоврядування протягом періоду дослідження. Так, за рахунок системи місцевого оподаткування формується майже чверть податкових надходжень та 15% доходів місцевих бюджетів України. Разом з тим, питома вага місцевих податків та зборів у ВВП є незначною і поступово скорочується: 2021 рік – 1,65%; 2022 рік – 1,62%; 2023 рік – 1,53%.

Через безпрецедентне зростання в період війни обсягів безповоротної допомоги від зарубіжних партнерів, які суттєво переформатували структуру бюджетних коштів, спостерігаємо значне скорочення частки місцевих податків і зборів у доходах зведеного бюджету – з 5,41% у 2021 році до 3,84% та 3,22% у 2022-2023 роках відповідно. Питома вага місцевих податків та зборів у податкових надходженнях Зведеного бюджету України протягом аналізованого періоду залишається на стабільно невисокому рівні у 6%.

В цілому, слід зазначити, що російська агресія негативно впливає на потенційні обсяги надходжень від місцевих податків і зборів через зниження економічної активності, руйнування виробничої інфраструктури та об'єктів нерухомості, зменшення кількості платників податків. Місцеві бюджети, залежні від внутрішніх ресурсів, стали більш вразливими до зовнішніх економічних шоків. Водночас, центральний уряд надає підтримку місцевим громадам через бюджетні трансферти, що дозволило їм зберегти основні соціальні та інфраструктурні функції, навіть у складних умовах війни.

Далі проаналізуємо вплив війни на акумуляцію податкових джерел формування доходів місцевих бюджетів Херсонської області, яка є однією з найбільш постраждалих від російської агресії. Об'єктивним є значне скорочення обсягів надходжень, адже в перший рік повномасштабного вторгнення РФ було тимчасово окуповано 88% території регіону. У листопаді 2022 року обласний центр і Правобережна Херсонщина були звільнені, але безпекова ситуація залишається більш ніж складною, що негативно впливає на мобілізацію податків і зборів, у тому числі місцевих. Станом на 2023 рік, з 49 територіальних громад Херсонської області 32 залишаються під тимчасовою окупацією, що становить понад 70% території регіону. Деокуповані громади продовжують зазнавати ворожих обстрілів, що ускладнює їхній розвиток та відновлення, а кількість населення в них скоротилася на 65% порівняно з 2022 роком, зменшившись до 154 133 осіб.

В таблиці 2 розглянемо динаміку податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області у 2021-2023 роках.

Таблиця 2

## Динаміка податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області

Показники	2021 рік	2022 рік	2023 рік	2022/2021		2023/2022	
				абс. відх., млн. грн.	темп приросту, %	абс. відх., млн. грн.	темп приросту, %
Податок на доходи фізичних осіб	4129,7	3008,3	2264,0	-1121,4	-27,15	-744,3	-24,74
Податок на прибуток підприємств	103,1	10,7	17,0	-92,4	-89,62	+6,3	+58,88
Рентна плата та плата за використання інших природних ресурсів	32,8	21,6	6,4	-11,2	-34,15	-15,2	-70,37
Акцизний податок	404,0	84,5	56,9	-319,5	-79,08	-27,6	-32,66
Податок на майно	802,7	194,1	90,9	-608,6	-75,82	-103,2	-53,17
Єдиний податок	887,3	440,7	284,9	-446,6	-50,33	-155,8	-35,35
Збір за місця для паркування транспортних засобів	0,2	0,0	0,0	-0,2	-100,00	0,0	0,00
Туристичний збір	6,6	0,3	0,0	-6,3	-95,45	-0,3	-100,00
Екологічний податок	6,0	2,4	1,6	-3,6	-60,00	-0,8	-33,33
Разом податкових надходжень	6372,4	3762,6	2721,7	-2609,8	-40,95	-1040,9	-27,66

Джерело: складено авторами за даними джерел [3]

Дані таблиці 2 свідчать, що в умовах війни обсяги податкових надходжень, мобілізованих до місцевих бюджетів Херсонської області, щороку знижуються, причому доволі значними темпами: у 2022 році – на 2609,8 млн. грн., або 40,95%; у 2023 році – на 1040,9 млн. грн., або 27,66%. Закцентуємо увагу, що темпи скорочення місцевих податків і зборів значно перевищують інтенсивність зниження загальних податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області.

Особливий режим формування місцевих бюджетів в умовах воєнного стану вніс певні зміни у пріоритетність податкових джерел їх утворення. В таблиці 3 розглянемо структуру податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області в період, що передував повномасштабному вторгненню РФ, та в умовах війни.

Таблиця 3

### Структура податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області

Показник	2021 рік		2022 рік		2023 рік	
	сума, млн. грн.	питома вага, %	сума, млн. грн.	питома вага, %	сума, млн. грн.	питома вага, %
Податок на доходи фізичних осіб	4129,7	64,81	3008,3	79,95	2264,0	83,18
Податок на прибуток підприємств	103,1	1,62	10,7	0,28	17,0	0,62
Рентна плата та плата за використання інших природних ресурсів	32,8	0,51	21,6	0,57	6,4	0,24
Акцизний податок	404,0	6,34	84,5	2,25	56,9	2,09
Податок на майно	802,7	12,60	194,1	5,16	90,9	3,34
Єдиний податок	887,3	13,92	440,7	11,71	284,9	10,46
Збір за місця для паркування транспортних засобів	0,2	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Туристичний збір	6,6	0,10	0,3	0,01	0,0	0,00
Екологічний податок	6,0	0,09	2,4	0,06	1,6	0,06
Разом податкових надходжень	6372,4	100,00	3762,6	100,00	2721,7	100,00

Джерело: складено авторами за даними джерел [3]

Дані таблиці 3 свідчать, що в період протистояння повномасштабній російській агресії домінуючим джерелом формування місцевих бюджетів Херсонської області залишається податок на доходи фізичних осіб (далі – ПДФО), причому його питома вага в структурі податкових надходжень стрімко зростає: 2021 рік – 64,81%; 2022 рік – 79,95%; 2023 рік – 83,18%. Хоча номінальні обсяги ПДФО з початком повномасштабного вторгнення поступово скорочуються, все одно вони є значними, адже забезпечені податком, який утримується, насамперед, із заробітних плат працівників бюджетної сфери Херсонської області (навіть при дистанційному форматі роботи), а також з грошового забезпечення військовослужбовців і представників силових структур.

Таким чином, у 2023 році сукупна частка решти (за виключенням ПДФО) податкових надходжень до бюджетів регіону не перевищує 17%. І хоча єдиному податку і податку на майно вдалося зберегти відповідно другу та третю позиції у структурі податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області, їхня питома вага поступово скорочується:

- єдиний податок: 2021 рік – 13,92%; 2022 рік – 11,71%; 2023 рік – 10,46%;
- податок на майно: 2021 рік – 12,60%; 2022 рік – 5,16%; 2023 рік – 3,34%.

Місцеві збори в умовах війни до місцевих бюджетів Херсонської області не надходять.

В таблиці 4 розглянемо структуру системи місцевого оподаткування у складі податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області.

Таблиця 4

### Структура місцевого оподаткування у складі податкових надходжень місцевих бюджетів Херсонської області

Показник	2021 рік		2022 рік		2023 рік	
	сума, млн. грн.	питома вага, %	сума, млн. грн.	питома вага, %	сума, млн. грн.	питома вага, %
Податок на майно	802,7	47,31	194,1	30,56	90,9	24,19
Єдиний податок	887,3	52,29	440,7	69,39	284,9	75,81
Збір за місця для паркування транспортних засобів	0,2	0,01	0,0	0,00	0,0	0,00
Туристичний збір	6,6	0,39	0,3	0,05	0,0	0,00
Разом місцевих податків і зборів	1696,8	100,00	635,1	100,00	375,8	100,00

Джерело: складено авторами за даними джерел [3]

Дані таблиці 4 свідчать, що фіскальне значення системи місцевого оподаткування при формуванні бюджетних ресурсів органів місцевого самоврядування Херсонщини в умовах війни стрімко знижується.

Ключовою складовою системи місцевого оподаткування Херсонської області залишається єдиний податок. Попри значне скорочення його обсягів в умовах воєнного стану (в 2022 році – вдвічі; у 2023 році – втричі порівняно з 2021 роком), його питома вага серед місцевих податків та зборів поступово зростає: 2021 рік – 52,29%; 2022 рік – 69,39%; 2023 рік – 75,81%.

Суттєве зменшення обсягів надходжень єдиного податку пов'язане зі значним скороченням ділової активності малого і середнього підприємництва через тимчасову окупацію значної території Херсонської області, ведення активних бойових дій, релокацію бізнесу в умовно безпечні регіони України, вимушену міграцію населення. Так, у 2022 році припинили діяльність 4925 фізичних осіб-підприємців, зареєстрованих на території Херсонської області; у 2023 році – ще 4172 осіб. Крім того, в період з 1 квітня 2022 року до 1 серпня 2023 року ФОП – платники єдиного податку першої та другої груп мали право не сплачувати єдиний податок. Зменшення надходжень єдиного податку від четвертої групи платників пов'язане з тимчасовою окупацією російськими військами значної частини сільськогосподарських угідь і тривалим процесом розмінування земельних ділянок на звільнених територіях.

Податок на майно складає у 2021 році майже половину надходжень від системи місцевого оподаткування до місцевих бюджетів Херсонської області – 47,31%. Разом з тим, тимчасова окупація значної частини нашого регіону істотно скоротила обсяги надходжень цього податку (в 2022 році – в 4 рази; у 2023 році – в 9 разів порівняно з 2021 роком). Відповідно, суттєво зменшилася і його питома вага в структурі мобілізованих місцевих податків і зборів: у 2022 році – до 30,56%; у 2023 році – до 24,19%.

Частка місцевих зборів в системі місцевого оподаткування Херсонської області у 2021 році не перевищувала 0,4%. В умовах війни зазначені збори не справляються.

В таблиці 5 розглянемо структуру податку на майно, мобілізованого на території Херсонської області у 2021-2023 роках, адже він має три вагомі складові, які до 2015 року функціонували, як окремі податки.

Таблиця 5

## Структура податку на майно, мобілізованого на території Херсонської області

Показники	2021 рік		2022 рік		2023 рік	
	сума, млн. грн.	питома вага, %	сума, млн. грн.	питома вага, %	сума, млн. грн.	питома вага, %
Податок на нерухоме майно, відмінне від земельної ділянки	125,0	15,57	46,6	24,01	22,9	25,19
Транспортний податок	2,7	0,34	0,8	0,41	0,5	0,55
Плата за землю	675,0	84,09	146,7	75,58	67,5	74,26
Разом податок на майно	802,7	100,00	194,1	100,00	90,9	100,00

Джерело: складено авторами за даними джерел [3]

Дані таблиці 5 свідчать, що домінантне значення у структурі надходжень податку на майно має така його складова як плата за землю. Разом з тим, частка цього елемента майнового оподаткування у Херсонській області протягом 2021-2023 років поступово зменшується. Натомість, зростає частка податкових надходжень від оподаткування нерухомості: 15,57%; 24,01%; 25,19% загального обсягу майнового оподаткування відповідно. Третя складова системи майнового оподаткування Херсонської області, а саме: транспортний податок, забезпечує вкрай низькі надходження до місцевих бюджетів.

Акцентуємо увагу, що в умовах війни всі складові податку на майно, мобілізованого до місцевих бюджетів Херсонської області, мають тенденцію до стрімкого зниження, що стало наслідком, у тому числі, змін та доповнень, внесених до Податкового кодексу України на період дії воєнного стану [4].

Мова йде, по-перше, про зміни до пп. 69.22 п. 69 підрозд. 10 розд. XX «Перехідні положення» Податкового кодексу України, про ненарахування і несплату податку на нерухоме майно, відмінне від земельної ділянки, щодо таких об'єктів житлової та/або нежитлової нерухомості:

- розташованих на територіях активних бойових дій чи на тимчасово окупованих рф територіях України;
- знищених внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією рф проти України;

- пошкоджених (таких, що потребують реконструкції чи реставрації, капітального ремонту) через бойові дії, терористичні акти, диверсії, які були спричинені збройною агресією росії проти України [4].

По-друге, на період з 1 березня 2022 року по 31 грудня року, наступного за роком, у якому припинено або скасовано воєнний стан, не нараховується та не сплачується плата за землю за:

- земельні ділянки, що розташовані на територіях, на яких ведуться (велися) бойові дії,
- земельні ділянки, що розташовані на територіях, тимчасово окупованих збройними формуваннями рф;

– земельні ділянки, визначені обласними військовими адміністраціями як засмічені вибухонебезпечними предметами та/або на яких наявні фортифікаційні споруди. Зазначимо, що тільки на деокупованих територіях Херсонської області розмінуванню підлягає майже 7 тис. км кв. [5, с. 216].

Вказане положення розповсюджується на:

- земельні частки (паї) та земельні ділянки, що перебувають у приватній власності;
- земельні ділянки, які перебувають у користуванні на праві постійного користування;
- орендовані земельні ділянки державної та/або комунальної власності.

Крім того, за 2022 та 2023 роки не нараховувалося та не сплачувалося загальне мінімальне податкове зобов'язання за такі земельні ділянки [4].

Третім чинником зменшення податкових надходжень до місцевих бюджетів від майнового оподаткування стало скорочення в умовах війни елітного автопарку, зареєстрованого у Херсонській області, який підпадає під оподаткування транспортним податком.

Підсумовуючи, зазначимо, що російська військова агресія значно знизила фіскальну ефективність місцевого оподаткування в Херсонській області та скоротила обсяги надходжень місцевих податків і зборів до місцевих бюджетів регіону. Крім того, лібералізація оподаткування в період війни, як зазначають О. Кузьменко та В. Чорна, є вимушеним антикризовим заходом [6, с. 54], який істотно скорочує локальні податкові надходження на деокупованих територіях.

### Висновки

Основними проблемами, які значно знижують фіскальну ефективність місцевих податків і зборів в Україні, є такі: по-перше, нерівномірний розвиток регіонів та обмежена податкова база в сільських і депресивних територіях, що продукують фінансову залежність від державних трансфертів для багатьох громад; по-друге, адміністрування місцевих податків потребує вдосконалення, зокрема через автоматизацію процесів, забезпечення прозорості та покращення обліку платників податків; по-третє, відсутність дієвого механізму контролю за сплатою податків обмежує можливості територіальних громад у зборі потенційних доходів.

Повномасштабне вторгнення РФ внесло негативні коригування у механізм функціонування системи місцевого оподаткування, особливо на деокупованих територіях та в громадах, наближених до лінії бойового зіткнення. Вирівнювання істотного «просідання» надходжень місцевих податків і зборів в період повоєнного відновлення – процес довготривалий, адже тільки розмінування всіх територій України може зайняти більше п'яти років. Тому в середньостроковій перспективі не варто очікувати значних надходжень єдиного податку від платників четвертої групи та плати за землю до місцевих бюджетів громад, які постраждали від російського вторгнення. Аналогічна тенденція очікується і щодо податку на нерухоме майно, відмінне від земельної ділянки, адже доволі велика кількість об'єктів житлової та нежитлової нерухомості зруйнована і не підлягає відновленню.

Відродження малого та середнього бізнесу (а отже, – сплата єдиного податку) залежить, насамперед, від сальдо міграційних процесів. Значна кількість фізичних осіб, які до повномасштабної російської агресії займалися підприємницькою діяльністю, поступово асимілюють на нових місцях проживання, адаптуючись до умов нової країни або іншого регіону України, налагоджують нові родинні та соціальні зв'язки і не планують повернення.

Місцеві збори, передбачені Податковим кодексом України, обумовлюють мізерні надходження і не відіграють суттєвої ролі у забезпеченні органів місцевого самоврядування фінансовими ресурсами.

Отже, чинна система місцевого оподаткування в період повоєнного відновлення має бути істотно реформатована, адже у діючому форматі вона неспроможна забезпечити достатні бюджетні ресурси для розбудови деокупованих та постраждалих від бойових дій територій. Саме оптимізація місцевих податків і зборів повинна стати ключовим чинником стимулювання регіональної економіки.

Окрему увагу слід приділити підтримці постраждалих суб'єктів підприємницької діяльності. Наприклад, реструктуризація податкових боргів суб'єктів малого та середнього бізнесу, які зазнали втрат під час окупації або внаслідок ведення бойових дій, може допомогти їм повернутися до активної діяльності. Також можна розглянути можливість запровадження цільових місцевих податків, надходження від яких будуть спрямовані на відновлення критичної інфраструктури, такої як лікарні, школи та житловий фонд.

Таким чином, розвиток місцевого оподаткування на деокупованих та постраждалих від бойових дій територіях, у тому числі Херсонської області, має бути спрямований на досягнення балансу між стимулюванням економічного відновлення і забезпеченням соціальної підтримки. Для цього необхідна координація зусиль органів державної влади та місцевого самоврядування, а також міжнародних партнерів.

### Список використаної літератури

1. Славкова А. А. Податкові надходження в доходах місцевих бюджетів України та їх фіскальний потенціал. *БізнесІнформ*. 2024. № 2. С. 210-220.
2. Звітність про виконання Зведеного бюджету України. *Open Budget*. URL: <https://openbudget.gov.ua> (дата звернення: 21.11.2024).

3. Валовий внутрішній продукт (ВВП) в Україні. *Сайт Міністерства фінансів України*. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/gdp/> (дата звернення: 21.11.2024).
4. Податковий кодекс України : Закон України від 02.12.2010 р. № 2755-VI. Дата оновлення: 01.12.2024. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (дата звернення: 06.12.2024).
5. Дуб А. Р., Мединська Т. В. Податкова політика в умовах війни та її вплив на формування доходів місцевих бюджетів. *Проблеми економіки*. 2022. № 4. С. 214-221.
6. Кузьменко О. В., Чорна В. Г. Особливості сплати підприємствами місцевих податків під час дії правового режиму воєнного стану. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія «Право»*. 2023. Вип. 78. Ч. 2. С. 54-59.

#### References

1. Slavkova A. A. (2024). Podatkovi nadkhodzhennia v dokhodakh mistsevykh biudzhetiv Ukrainy ta yikh fiskalni potentsial [Tax revenues in the revenues of local budgets of Ukraine and their fiscal potential]. *BiznesInform – BusinessInform*, vol. 2, pp. 210-220.
2. Zvitnist pro vykonannia Zvedenoho biudzhetu Ukrainy [Reporting on the execution of the Consolidated Budget of Ukraine]. *Open Budget*. Available at: <https://openbudget.gov.ua> (accessed: November 21, 2024).
3. Valovyi vnutrishnii produkt (VVP) v Ukraini [Gross domestic product (GDP) in Ukraine]. *Website of the Ministry of Finance of Ukraine*. Available at: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/gdp/> (accessed: November 21, 2024).
4. Podatkovi kodeks Ukrainy : Zakon Ukrainy vid 02.12.2010 r. # 2755-VI [Tax Code of Ukraine: Law of Ukraine dated 02.12.2010 r. # 2755-VI]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (accessed: December 6, 2024).
5. Dub A. R., Medynska T. V. (2022). Podatkova polityka v umovakh viiny ta yii vplyv na formuvannia dokhodiv mistsevykh biudzhetiv [Tax policy in the conditions of war and its impact on the formation of local budget revenues]. *Problemy ekonomiky – Problems of the economy*, vol. 4, pp. 214-221.
6. Kuzmenko O. V., Chorna V. H. (2023). Osoblyvosti splaty pidpriemstvamy mistsevykh podatkiv pid chas dii pravovoho rezhymu voiennoho stanu [Peculiarities of payment of local taxes by enterprises during the martial law regime]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriiia «Pravo» – Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Series 'Law'*, vol. 78 (2), pp. 54-59.



## ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 352.075

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.53>

Д. В. ВАСИЛЕНКО

старший викладач кафедри експлуатації та озброєння військової техніки  
Військовий інститут танкових військ  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»  
ORCID: 0000-0003-2685-105X

## РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ОРГАНІВ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

У статті досліджено критичну роль інформаційно-аналітичних інструментів у процесі прийняття рішень органами публічного управління під час кризових ситуацій. Дослідження акцентує увагу на зростаючій необхідності впровадження систем підтримки прийняття рішень для оптимізації управлінських процесів в умовах часових обмежень та підвищеного ризику. У дослідженні представлено всебічний огляд викликів, з якими стикаються органи публічного управління при використанні інформаційно-аналітичних систем в екстрених умовах. Серед ключових проблем виділено: складнощі з інтеграцією різномірних даних, забезпечення достовірності інформації, гарантування інформаційної безпеки, подолання технічних перешкод та налагодження ефективної міжвідомчої взаємодії. Запропоновано концептуальну модель інтегрованої інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень органами публічного управління в надзвичайних ситуаціях. Система розроблена як модульна, масштабована, сумісна та має мультимодальні інтерфейси для забезпечення адаптивності та простоти використання на різних пристроях та в різних умовах. У статті наголошується на важливості впровадження передових технологій, таких як штучний інтелект та обробка даних у реальному часі, для надання своєчасної та точної інформації особам, які приймають рішення. Пропонується створити національний центр передового досвіду з аналітики управління надзвичайними ситуаціями для сприяння інноваціям і передовим практикам у вказаній галузі. Окреслено стратегічні напрями вдосконалення нормативно-правового, організаційного та технологічного забезпечення розвитку інформаційно-аналітичної діяльності в сфері кризового публічного управління. Наголошено на критичній важливості покращення співпраці та узгодженості дій між різними органами влади з метою формування цілісного інформаційного середовища у галузі захисту цивільного населення. Запропоновано практичні заходи щодо застосування прогресивних методів та технологій для вдосконалення інформаційної та аналітичної підтримки публічного управління надзвичайними ситуаціями.

**Ключові слова:** інформаційно-аналітичне забезпечення, підтримка прийняття рішень, публічне управління, надзвичайні ситуації, кризовий менеджмент, цифрові технології.

D. V. VASYLENKO

Senior Lecturer at the Department of Operation  
and Armament of Military Equipment  
Military Institute of Tank Forces  
of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
ORCID: 0000-0003-2685-105X

## DEVELOPMENT OF INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT FOR DECISION-MAKING BY PUBLIC ADMINISTRATION BODIES IN EMERGENCY SITUATIONS

The article examines the critical role of information and analytical tools in the decision-making process of public administration bodies during crisis situations. The study emphasizes the growing need to implement decision support systems to optimize management processes under time constraints and increased risk. The research presents a comprehensive overview of the challenges faced by public administration bodies when using information and analytical systems in emergency conditions. Among the key issues highlighted are: difficulties with integrating heterogeneous data, ensuring information reliability, guaranteeing information security, overcoming technical obstacles, and establishing effective inter-agency cooperation. A conceptual model of an integrated information and analytical decision support system for public administration bodies in emergency situations is proposed. The system is designed to be modular, scalable, compatible, and features multimodal interfaces to ensure adaptability and ease of use on various devices and in different conditions. The article emphasizes the importance of implementing advanced technologies, such as artificial intelligence and real-time data processing, to provide timely and accurate information to decision-makers.

*The creation of a national centre of excellence for emergency management analytics is proposed to promote innovation and best practices in this field. Strategic directions for improving the regulatory, organizational, and technological support for the development of information and analytical activities in the field of crisis public management are outlined. The critical importance of improving cooperation and coordination between various government agencies to form a cohesive information environment in the field of civil protection is emphasized. Practical measures are proposed for applying progressive methods and technologies to enhance information and analytical support for public management of emergency situations.*

**Key words:** *information and analytical support, decision-making support, public administration, emergencies, crisis management, digital technologies.*

### Постановка проблеми

У сучасному світі, де надзвичайні ситуації стають все більш складними та непередбачуваними, впровадження інноваційних технологічних рішень у сферу державного управління перетворилося на необхідність. Застарілі методи управління поступово відходять у минуле, поступаючись місцем комплексним стратегіям, які підкреслюють гостру потребу в розробці та застосуванні передових систем підтримки прийняття рішень (СППР), спеціально адаптованих для кризового менеджменту. Значимість СППР у публічному управлінні, особливо в умовах надзвичайних ситуацій, стрімко зростає, адже зазначені системи відіграють ключову роль у вдосконаленні процесу прийняття рішень органами влади, в умовах часових обмежень.

Технологічний прогрес, еволюція суспільних очікувань та зростаюча комплексність сучасних криз суттєво змінили сферу публічного адміністрування. В прагненні до підвищення прозорості, оперативності та ефективності управління кризовими ситуаціями, органи влади все частіше звертаються до СППР як інструменту, що забезпечує прийняття виважених та своєчасних рішень. Очікується, що оптимізація процесів прийняття рішень позитивно вплине на різні сфери суспільного життя, сприяючи більш швидкому та надійному реагуванню влади на кризові явища. Потенційні переваги вдосконалених СППР для публічного управління варіюються від оптимізації адміністративних процедур до сприяння формуванню політики, заснованої на достовірних даних, в умовах надзвичайних ситуацій, що створює додаткові можливості для підвищення спроможності органів публічної влади та їх здатності протистояти викликам сучасності.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Багато українських і закордонних дослідників присвятили свої праці вивченню питань інформаційно-аналітичної підтримки органів публічного управління під час кризових ситуацій. Зокрема, О. Барило, К. Белікова, С. Потеряйко, О. Сальнікова, Ю. Саух, О. Твердохліб, І. Титаренко, О. Труш та інші науковці досліджували концептуальні та методологічні аспекти інформаційно-аналітичної роботи в сфері державного управління, а також розвиток інформаційних систем для прийняття рішень в умовах кризового менеджменту. Окрема увага приділялася впровадженню новітніх цифрових технологій у галузь цивільного захисту. Проте стрімкий прогрес у сфері інформаційних технологій та виникнення нових загроз вимагають подальших досліджень для вдосконалення інформаційно-аналітичного забезпечення органів публічної влади в надзвичайних обставинах, що зумовлено потребою в адаптації до мінливих умов та ефективному реагуванні на сучасні виклики.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз системи підтримки прийняття рішень органами публічного управління на основі інформаційно-аналітичного забезпечення з акцентом на надзвичайні ситуації.

### Викладення основного матеріалу дослідження

У сучасних умовах ключовим фактором успішного функціонування органів публічної влади є їхня здатність ефективно оперувати інформацією, що передбачає не лише наявність потужних інформаційних ресурсів, але й досконале володіння процесами їх обробки та аналізу. Такий підхід стає визначальним для якісного управління на державному та місцевому рівнях. Зростаюча роль інформації у публічному секторі вимагає кардинальних змін у підходах до її використання. Органи влади постають перед необхідністю впровадження інноваційних систем інформаційно-аналітичного забезпечення, що включає розробку передових методів збору даних, застосування сучасних аналітичних інструментів та створення інтегрованих інформаційних платформ. Особливу увагу слід приділити формуванню взаємопов'язаних баз даних та забезпеченню їх ефективної взаємодії. Вказаний підхід дозволить оптимізувати процеси прийняття управлінських рішень та підвищити якість надання публічних послуг, що є ключовими завданнями сучасного публічного управління [1]. Ефективне інформаційно-аналітичне забезпечення складається із взаємопов'язаних методів, заходів та засобів ефективного збору, відбору, передачі, трансформації, зберігання та відображення інформації про різні сфери життєдіяльності об'єкта управління [2].

Якісна інформація має бути адекватною, повною, оперативною та корисною для досягнення цілей публічного управління, особливо в надзвичайних ситуаціях. Оцінка якості роботи системи інформаційно-аналітичного забезпечення цивільного захисту може допомогти визначити раціональний спосіб прийняття рішень, що забезпечує якість, повноту, оперативність та корисність у надзвичайних ситуаціях [3].

Трансформація механізмів ухвалення рішень у сфері публічного управління демонструє стрімкий розвиток, зумовлений науково-технічною революцією, переосмисленням управлінських концепцій та дедалі більшою опорою на дані при виробленні стратегій. Впровадження цифрових інновацій у публічний сектор призвело до кардинальних змін у структурі систем підтримки прийняття рішень, особливо помітних у галузі кризового менеджменту. Основне призначення СППР полягає у вирішенні проблем, які характеризуються недостатньою структурованістю або повною відсутністю чіткої структури, що значно ускладнює процес прийняття рішень традиційними методами [4; 5]. Вказані системи стають особливо важливими в контексті надзвичайних ситуацій, коли швидке та точне прийняття рішень може мати наслідки для порятунку життя.

Важливим теоретичним підґрунтям для реалізації потенціалу інформаційно-аналітичного забезпечення в умовах надзвичайних ситуацій є концепція ситуаційної обізнаності [6]. Згідно з концепцією, ефективність прийняття рішень в динамічних та складних умовах залежить від трьох рівнів ситуаційної обізнаності: сприйняття елементів поточної ситуації; розуміння поточної ситуації; прогнозування майбутнього стану. Іншою важливою теоретичною основою є концепція управління знаннями в контексті кризового менеджменту. У науковій літературі пропонується розглядати інформаційно-аналітичне забезпечення як процес трансформації даних в інформацію, а інформації – в знання, які можуть бути використані для прийняття рішень. Концепція підкреслює необхідність не лише накопичення інформації, але й її систематизації, аналізу та перетворення в практично корисні знання [7]. Теорія складних адаптивних систем надає розуміння інформаційно-аналітичного забезпечення в умовах надзвичайних ситуацій. Згідно з теорією, ефективне управління в складних та динамічних умовах вимагає здатності системи до самоорганізації, адаптації та навчання [8].

Важливо також зазначити роль теорії прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності для удосконалення інформаційно-аналітичного забезпечення кризового управління. Зокрема, концепція обмеженої раціональності підкреслює, що в умовах обмеженого часу та ресурсів особи, що приймають рішення, не шукають оптимальні, а часто задовольняються «достатньо добрими» рішеннями [9]. Використання нечітких когнітивних карт і штучних нейронних мереж, що розвиваються, може значно підвищити ефективність і надійність прийняття рішень в державному управлінні, особливо в секторах безпеки і оборони [10].

Основні виклики у забезпеченні інформаційно-аналітичної підтримки органів державного управління у надзвичайних ситуаціях приведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Виклики у забезпеченні інформаційно-аналітичної підтримки органів державного управління у надзвичайних ситуаціях**

Виклики	Сутність проблематики
Інтеграція даних	Складність інтеграції даних із різними джерелами, які можуть бути несумісними або мати різні формати, що ускладнює їх обробку та аналіз.
Точність і достовірність інформації	Забезпечення високої якості даних, їх достовірності та актуальності є критичним місцем, що може призвести до неправильних рішень.
Безпека інформації	Захист інформації від несанкціонованого доступу та забезпечення конфіденційності даних є суттєвою проблемою, особливо в умовах надзвичайних ситуацій.
Технологічні бар'єри	Відсутність сучасних технологій або їх недостатнє впровадження в органах публічного управління може обмежити можливості для ефективного збору та аналізу даних.
Координація між органами публічної влади	Взаємодія між іншими державними органами та установами може бути реалізована через наявність єдиних стандартів і процедур, що виконують процес виконання рішень.

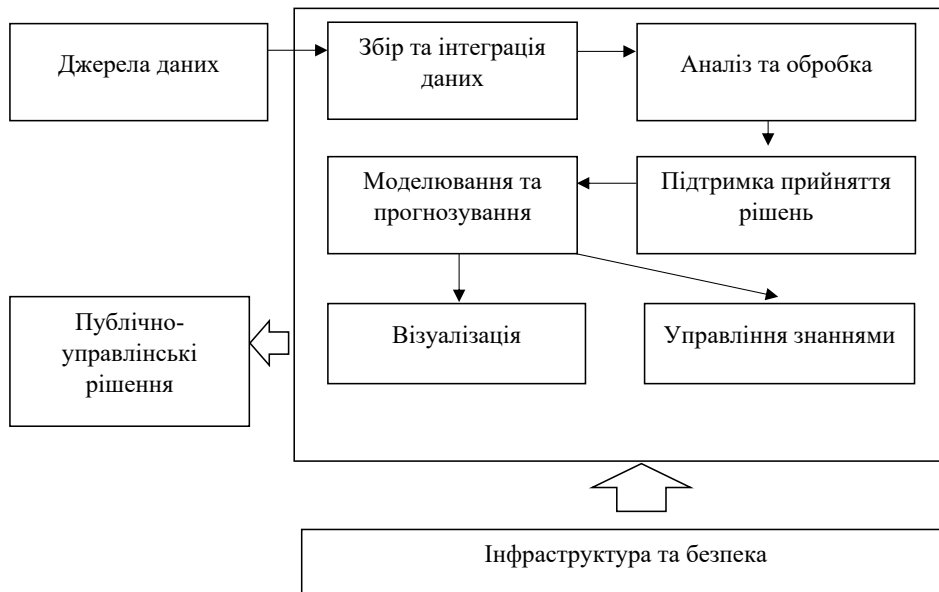
*Джерело: сформовано автором*

Вказані завдання вимагають комплексного підходу до розробки та впровадження інформаційно-аналітичних систем, що включають удосконалення технологій, підвищення кваліфікації персоналу та забезпечення ефективної координації між повними органами публічного управління.

На основі аналізу сучасних тенденцій та кращих світових практик можливо запропонувати концептуальну модель інтегрованої інформаційно-аналітичної системи підтримки розроблення публічно-управлінських рішень в умовах надзвичайних ситуацій, яку представлено на рис. 1.

Ключовими компонентами запропонованої моделі є:

1. Підсистема збору та інтеграції даних забезпечує отримання інформації з різних джерел та їх консолідацію в єдиному сховищі даних.
2. Підсистема аналізу та обробки даних включає інструменти для очищення, нормалізації та аналізу даних, у тому числі з використанням методів машинного навчання та інтелектуального аналізу даних.
3. Підсистема моделювання та прогнозування дозволяє створювати сценарії розвитку ситуації, оцінювати ризики та прогнозувати наслідки.



**Рис. 1. Концептуальна модель інтегрованої інформаційно-аналітичної системи підтримки розроблення та прийняття публічно-управлінських рішень в умовах надзвичайних ситуацій**

4. Підсистема візуалізації забезпечує наочне представлення інформації у вигляді інтерактивних дашбордів, карт, графіків для підвищення ситуаційної обізнаності осіб, що приймають рішення.

5. Підсистема підтримки прийняття рішень на основі аналізу даних та результатів моделювання формує рекомендації щодо оптимальних дій.

6. Підсистема управління знаннями забезпечує накопичення, систематизацію та поширення досвіду та кращих практик реагування на надзвичайні ситуації.

7. Інфраструктурна підсистема забезпечує надійне функціонування всіх компонентів системи, включаючи захист від кіберзагроз та забезпечення безперервності роботи в кризових умовах.

Ключовими принципами побудови запропонованої системи мають бути: модульність та масштабованість архітектури, що дозволяє адаптувати систему до мінливих умов; інтероперабельність, що забезпечує взаємодію з іншими системами та обмін даними у стандартизованих форматах; мультимодальність інтерфейсів, що дозволяє працювати з системою з різних пристроїв та в різних умовах.

На основі проведеного аналізу, можливо запропонувати окремі підходи до розвитку системи підтримки прийняття рішень органами публічного управління на основі інформаційно-аналітичного забезпечення в надзвичайних ситуаціях.

Вбачається за доцільне впровадження інтегрованої інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень у надзвичайних ситуаціях на основі концептуальної моделі, представленої на рис. 1. Система має містити розширені можливості збору даних, аналізу, моделювання, візуалізації та управління знаннями. Для обміну даними між різними органами публічної влади для покращення координації та обміну інформацією під час надзвичайних ситуацій потребує розроблення стандартизованих протоколів та інтерфейсів.

В межах реалізації завдань системи необхідним є створення національного центру передового досвіду аналітики управління надзвичайними ситуаціями, щоб стимулювати інновації та досвід у галузі. Сучасні підходи до ефективної реалізації рішень можуть передбачати використання штучного інтелекту та методів машинного навчання для покращення можливостей прогнозування та автоматизації рутинних аналітичних завдань. Питання посилення можливостей держави слід розглядати в межах використання моделей державно-приватного партнерства для залучення досвіду та ресурсів приватного сектору з метою посилення інформаційно-аналітичної підтримки управління надзвичайними ситуаціями.

### Висновки

У сучасних умовах, де кризові ситуації стають все більш складними та непередбачуваними, ключову роль у забезпеченні ефективного антикризового управління відіграє вдосконалення інформаційно-аналітичної підтримки процесу прийняття рішень у сфері публічного управління. Інноваційні системи, що допомагають приймати виважені рішення під час надзвичайних ситуацій, мають об'єднувати найсучасніші технологічні досягнення, зокрема, використання штучного інтелекту, алгоритмів машинного навчання та методів обробки

інформації в режимі реального часу, що забезпечить осіб, відповідальних за прийняття рішень, актуальними та достовірними даними.

Запропонована концептуальна модель інформаційно-аналітичної платформи представляє собою комплексне рішення для вирішення завдань публічного управління в кризових умовах. Вона охоплює весь спектр необхідних функцій: від збору та аналізу даних до їх візуалізації, моделювання сценаріїв та управління накопиченими знаннями. Проте, для успішного впровадження зазначених систем необхідно подолати ряд викликів, серед яких – забезпечення безперебійної інтеграції різнорідних даних, гарантування інформаційної безпеки, подолання технологічних обмежень та налагодження ефективної співпраці між різними органами влади.

Слід підкреслити, що створення та впровадження передових інформаційно-аналітичних систем для підтримки публічного управління в надзвичайних ситуаціях є пріоритетним напрямком для подальших наукових досліджень та практичних розробок. Використовуючи інноваційні технології та вирішуючи визначені проблеми, органи публічного управління можуть значно підвищити свою спроможність приймати обґрунтовані рішення та ефективно управляти кризами, покращуючи громадську безпеку та стійкість до надзвичайних ситуацій.

### Список використаної літератури

1. Sudnickas T., Smalskys V., Gavkalova N., Dzenis V., Dzenis O. Mechanisms of Information and Analytical Support of Local State Administrations. *Journal of Information Technology Management*. 2021. № 13. P. 188–203.
2. Мельник Т. Складові належного інформаційно-аналітичного забезпечення публічного управління регіональним розвитком. *Ефективність державного управління*. 2020. № 4(65). С. 139–154.
3. Bielikova K. H., Tverdokhlib O. S., Poteriaiko S. P. Information and analytical support for making well-informed administrative decisions in civil protection system. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2022. № 2. P. 73–78.
4. Hou L. X., Mao L. X., Liu, H. C. et al. Decades on emergency decision-making: a bibliometric analysis and literature review. *Complex Intell. Syst.* 2021. № 7. P. 2819–2832.
5. Du L., Feng Y., Tang L., Kang W., Lu W. Networks in disaster emergency management: a systematic review. *Natural Hazards*. 2020. № 1(103). P. 1–27. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04009-5>.
6. Endsley M. R. Situation awareness. *Handbook of human factors and ergonomics*. Wiley & Sons, 2021. P. 434–455.
7. Anand A., Buhagiar K., Kozachenko E., Parameswar, N. Exploring the role of knowledge management in contexts of crisis: a synthesis and way forward. *International Journal of Organizational Analysis*. 2023. № 31(7). P. 2953–2978.
8. Liu J., Dong C. Understanding the Complex Adaptive Characteristics of Cross-Regional Emergency Collaboration in China: A Stochastic Evolutionary Game Approach. *Fractal and Fractional*. 2024. № 8(2). P. 98. <https://doi.org/10.3390/fractalfract8020098>.
9. Schilirò D. Economic decisions and Simon's notion of bounded rationality. *International Business Research*. 2018. № 11(7). P. 64–75.
10. Salnikova O., Marutian R., Vereschak O. Development of information and analytical procurement methodology of public administration in the sphere of providing civil control over the sector of security and defense of Ukraine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 1(3 (121)). P. 57–65.

### References

1. Sudnickas, T., Smalskys, V., Gavkalova, N., Dzenis, V., & Dzenis, O. (2021). Mechanisms of Information and Analytical Support of Local State Administrations. *Journal of Information Technology Management*, 13, 188-203 [in English].
2. Melnyk, T. O. (2020). Skladovi nalezhnoho informatsiino-analitychnozabezpechennia publicnoho upravlinnia rehionalnym rozvytkom [Components of good information and analytical support to public administration of regional development]. *Efficiency of Public Administration*, 4 (65), 139–154 [in Ukrainian].
3. Bielikova, K. H., Tverdokhlib, O. S., & Poteriaiko, S. P. (2022). Information and analytical support for making well-informed administrative decisions in civil protection system. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2, 73–78 [in English].
4. Hou, L. X., Mao, L. X., Liu, H. C. et al. (2021). Decades on emergency decision-making: a bibliometric analysis and literature review. *Complex Intell. Syst.*, 7, 2819–2832 [in English].
5. Du, L., Feng, Y., Tang, L., Kang, W., & Lu, W. (2020). Networks in disaster emergency management: a systematic review. *Natural Hazards*, 103(1), 1-27. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04009-5> [in English].
6. Endsley, M. R. (2021). Situation awareness. *Handbook of human factors and ergonomics*. Wiley & Sons, 434–455 [in English].
7. Anand, A., Buhagiar, K., Kozachenko, E., & Parameswar, N. (2023). Exploring the role of knowledge management in contexts of crisis: a synthesis and way forward. *International Journal of Organizational Analysis*, 31(7), 2953–2978 [in English].

8. Liu, J., & Dong, C. (2024). Understanding the Complex Adaptive Characteristics of Cross-Regional Emergency Collaboration in China: A Stochastic Evolutionary Game Approach. *Fractal and Fractional*, 8(2), 98 [in English].
9. Schilirò, D. (2018). Economic decisions and Simon's notion of bounded rationality. *International Business Research*, 11(7), 64–75 [in English].
10. Salnikova, O., Marutian, R., & Vereschak, O. (2023). Development of information and analytical procurement methodology of public administration in the sphere of providing civil control over the sector of security and defense of Ukraine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3 (121)), 57–65 [in English].

Л. П. ГОРБАТА

доктор філософії (PhD),

доцент кафедри публічного управління та адміністрування

Національний авіаційний університет

ORCID: 0009-0007-6576-8925

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ ДАНИХ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

У статті розглянуто особливості використання відкритих даних для інформаційного забезпечення сталого розвитку територіальних громад в Україні. Відкриті дані стали важливим інструментом для зміцнення прозорості, підзвітності та стимулювання інновацій у різних галузях, зокрема у державному управлінні. Проаналізовано роль відкритих даних у забезпеченні сталого розвитку територіальних громад. Надаючи доступ до актуальної та релевантної інформації, відкриті дані можуть допомогти політикам, науковцям і громадянам приймати обґрунтовані рішення, спрямовані на сталий розвиток територіальних громад. Також розглянуто переваги відкритих даних для сталого розвитку та описано передові практики їх застосування у сфері розвитку територіальних громад; питання використання відкритих даних для сприяння сталому розвитку територіальних громад. Проаналізовано сутність та значення відкритих даних як важливого ресурсу для ухвалення ефективних рішень, спрямованих на соціально-економічний розвиток громад, захист довкілля та підвищення якості життя. Зокрема, досліджено, як дані, доступні у відкритих джерелах, можуть сприяти прозорості, підзвітності та залученню громадськості до процесу управління. Наведено приклади успішного застосування відкритих даних у різних сферах, таких як управління інфраструктурою, енергозбереження, містобудування, а також моніторинг екологічних показників та соціальних послуг. Узагальнено методи аналізу та обробки даних, які дозволяють більш точно прогнозувати потреби громад, забезпечувати своєчасне реагування на виклики та оптимізувати використання ресурсів. Доведено, що наявність і доступність відкритих даних сприяють більш активній взаємодії між владою, громадськими організаціями та мешканцями. Особливо акцентується увага на значенні інституційної підтримки, правового регулювання та технічних рішень, які сприяють відкритості даних. Визначено основні бар'єри для використання відкритих даних у територіальних громадах, серед яких недосконалі інфраструктура даних, низький рівень цифрової грамотності та нестача фінансових ресурсів. Впровадження системи відкритих даних у територіальних громадах є важливим інструментом досягнення цілей сталого розвитку, зокрема, підвищення соціальної згуртованості, економічної стійкості та екологічної безпеки.

**Ключові слова:** сталий розвиток громад, відкриті дані, територіальні громади, інформація, інструменти забезпечення.

L. P. HORBATA

Doctor of Philosophy (PhD),

Associate Professor at the Department of Public Management  
and Administration

National Aviation University

ORCID: 0009-0007-6576-8925

## USE OF OPEN DATA IN THE CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIAL COMMUNITIES

The article examines the features of using open data to provide information for the sustainable development of territorial communities in Ukraine. Open data has become an important tool for strengthening transparency, accountability and stimulating innovation in various sectors, in particular in public administration. The role of open data in ensuring the sustainable development of territorial communities is analyzed. By providing access to current and relevant information, open data can help politicians, scientists and citizens make informed decisions aimed at the sustainable development of territorial communities. The benefits of open data for sustainable development are also considered and best practices for their application in the field of development of territorial communities are described; the issue of using open data to promote sustainable development of territorial communities is discussed. The essence and significance of open data as an important resource for making effective decisions aimed at the socio-economic development of communities, environmental protection and improving the quality of life is analyzed. In particular, it is investigated how data available in open sources can contribute to transparency, accountability and public involvement in the management process. Examples of successful application of open data in various areas, such as infrastructure management, energy conservation, urban development, as well as monitoring of environmental indicators and social services are given. Methods of data analysis and processing are summarized, which allow for more accurate forecasting of community needs, ensuring timely response to challenges

*and optimizing the use of resources. It is proven that the availability and accessibility of open data contribute to more active interaction between authorities, public organizations and residents. Particular attention is paid to the importance of institutional support, legal regulation and technical solutions that promote data openness. The main barriers to the use of open data in territorial communities are identified, including imperfect data infrastructure, low digital literacy and lack of financial resources. The implementation of an open data system in territorial communities is an important tool for achieving sustainable development goals, in particular, increasing social cohesion, economic sustainability and environmental security.*

**Key words:** *sustainable development of communities, open data, territorial communities, information, provision tools.*

### Постановка проблеми

Сучасне суспільство характеризується зростаючим усвідомленням значення сталого розвитку, спрямованого на задоволення потреб сьогодення без шкоди для здатності майбутніх поколінь задовольняти власні потреби. Територіальні громади відіграють ключову роль у досягненні цілей сталого розвитку, оскільки саме вони активно залучені до вирішення місцевих проблем, таких як екологічна деградація, соціальна нерівність та економічна нестабільність. Відкриті дані, що являють собою загальнодоступну інформацію, яку можна вільно використовувати, поширювати та модифікувати, мають значний потенціал для розширення можливостей громад ефективно справлятися з цими викликами.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існують різні підходи до визначення терміна «відкриті дані». Проблема відкритості досліджена у роботах таких учених, як А. Газін, І. Грищенко, П. Малков, І. Радченко та ін. Н. Грицяк, І. Лопушинський, Н. Нижник, О. Маруженко у своїх дослідженнях наголошують на тому, що держава через свої органи та організації є як основним виробником, так і найбільшим споживачем інформації. Комплексний науковий аналіз ролі органів виконавчої влади України як суб'єкта інформаційних правовідносин у процесі становлення інформаційного суспільства було проведено І. Арістовою та М. Кузнецовою. Інноваційні сервіси відкритих даних, спрямовані на забезпечення ефективного функціонування електронного уряду, досліджували П. Клімушин і Д. Спасібов, тоді як М. Дурман і І. Тохтарова розглядали відкриті дані як засіб інформаційної підтримки прозорості публічної влади.

У розробку цієї теми значний внесок зробили також зарубіжні дослідники. Наприклад, Тім Бернерс-Лі запропонував п'ятизіркову модель для розгортання відкритих даних; Е. Саммерс – сприяв розвитку візуалізації відкритих даних; К. Гаттерідж – розробив спеціалізований курс з відкритих даних для програмістів; а К. Форсберг запропонував методи візуального підсвічування відкритих даних.

Попри це, тема «відкритих даних» як інструменту у діяльності органів публічної влади для забезпечення сталого розвитку територіальних громад досліджена частково. Ця обставина обумовила вибір теми, а також визначення мети і завдань цього дослідження.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є з'ясування ролі використання відкритих даних у діяльності органів публічної влади в умовах сталого розвитку територіальних громад.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Право на доступ до інформації є показником демократичності суспільства та конституційним правом людини, гарантованим статтею 34 Конституції України [3], яка закріплює право кожного вільно збирати, зберігати, використовувати й поширювати інформацію в різних формах на свій вибір. Важливим кроком у процесі впровадження європейських стандартів прозорості та відкритості в діяльність органів публічної влади стало прийняття Закону України «Про доступ до публічної інформації» від 13.01.2011 № 2939-VI [2]. Для забезпечення доступу до публічної інформації необхідним є використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), які у другій половині ХХ століття стали каталізатором змін у суспільстві.

Визначення ООН встановлює, що відкриті державні дані – це інформація, яку держава оприлюднює в інтернеті для вільного доступу, розповсюдження та використання [11]. Більшість інформації, що знаходиться у розпорядженні державних органів, може стати відкритою, за винятком конфіденційної та секретної інформації [1].

Україна з відкритими даними досягла значних успіхів у цифровій трансформації. Цифрові рішення, як-от система «Трембіта», Портал «Дія», система «Prozorro», а також система «Spending», підтримують реформи на основі принципів відкритості, прозорості та підзвітності.

Сьогодні на основі відкритих даних створено безліч цифрових інструментів, якими можуть скористатися територіальні громади, зокрема, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України активно розвиває такі цифрові інструменти: екосистема DREAM: система для планування, підготовки, фінансування та координації проектів відновлення і розвитку; ПІС регіонального розвитку: геоінформаційна система для моніторингу та оцінки розвитку громад і регіонів; оновлений портал «Децентралізація» та містобудівний кадастр на державному рівні. Крім того, розробляються цифрові рішення для адміністрування місцевих фінансів і підтримки місцевої демократії [7, 10, 12].



Наприклад, екосистема DREAM допомагає у відновленні пошкоджених об'єктів та інфраструктури, сприяючи координації й реалізації проєктів відновлення. З моменту запуску в листопаді 2022 року DREAM досягла значних результатів, включно із запуском основного функціоналу, публічного аналітичного модуля та інтеграцією для більш ніж 500 органів управління.

А ГІС регіонального розвитку – система, що спрямована на усунення проблем, пов'язаних із цифровізацією територіальних громад і забезпеченням доступу до соціально-економічних даних. ГІС дозволить інтегрувати зовнішні інформаційні ресурси й надасть доступ до відкритих даних через геопортал. Це також сприятиме створенню єдиного сховища даних соціально-економічних і фінансових показників, забезпечуючи доступ до відкритих даних для розвитку регіонів і територіальних громад.

Комплексна модернізація порталу «Децентралізація» сприятиме формуванню сталого інструмента для підтримки реформи місцевого самоврядування, а також подоланню недостатньої обізнаності громадян про цілі, напрями та основні інструменти цієї реформи в Україні. Портал також покликаний створити платформу для обміну досвідом та успішними практиками між органами місцевого самоврядування, поліпшити взаємодію центральних і місцевих органів влади з громадськістю і міжнародними партнерами, а також надавати громадам інформацію про доступні інструменти для відновлення та розвитку територій.

Ще одним з інструментів на основі відкритих даних є містобудівний кадастр. Це інтегрована інформаційно-комунікаційна система, що забезпечує:

- створення, збирання, зберігання та поширення інформації про планування та використання територій для прийняття обґрунтованих управлінських рішень;
- стандартизоване оцифрування процедур оновлення та затвердження містобудівної документації;
- покращення якості містобудівної документації шляхом її уніфікації;
- підвищення прозорості процесу прийняття рішень та зниження корупційних ризиків;
- рівний і швидкий доступ до містобудівної документації для всіх зацікавлених сторін.

Кадастр включатиме: реєстр містобудівної документації; єдиний державний реєстр адміністративно-територіальних одиниць та громад; єдиний державний реєстр адрес; єдиний державний реєстр будівель і споруд.

Запуск кадастру у повноцінну експлуатацію запланований на 2025 рік, що дозволить усунути проблеми з неузгодженістю даних, зменшити кількість скарг і спорів.

Цифрові інструменти на основі відкритих даних для моніторингу і адміністрування місцевих фінансів дозволять збільшити фінансові ресурси місцевих бюджетів, забезпечити прозорість управління, підвищити ефективність стягнення податків та зборів, а також синхронізувати фінансове планування з місцевими стратегічними цілями. Також цифровізація процесів сприятиме залученню громадськості до участі в місцевому управлінні, включно з можливістю брати участь у голосуваннях, опитуваннях та поданні власних проєктів для сталого розвитку територіальних громад.

Широкий спектр переваг для територіальних громад у забезпеченні сталого розвитку надають геоінформаційні технології. Зокрема, система ГІС спрощує управління просторовими даними шляхом збору та зберігання інформації з супутників, GPS і аерофотозйомки. ГІС дозволяє аналізувати ці дані, виявляти закономірності та візуалізувати їх у вигляді карт і діаграм, що полегшує прийняття рішень. Інструменти підтримки рішень на основі ГІС сприяють аналізу сценаріїв і вибору оптимальних стратегій для просторового планування та сталого розвитку громад.

Окрім того, ГІС сприяють участі громадськості та її взаємодії у процесах прийняття рішень завдяки інтерактивним картам і веб-платформам. Надаючи просторову інформацію в доступному та зрозумілому форматі, геоінформаційні технології (ГІТ) підвищують прозорість, сприяють співпраці та залучають до взаємодії різних зацікавлених сторін.

Також ГІС відіграють важливу роль у реагуванні на надзвичайні ситуації та управлінні катастрофами, забезпечуючи обробку даних у реальному часі з різних джерел. Служби реагування використовують ГІС для оцінки масштабів катастрофи, визначення постраждалих територій та ефективної координації дій з ліквідації наслідків.

Однією з основних переваг ГІС є їх здатність забезпечувати обґрунтованість рішень за допомогою просторового аналізу. Інтеграція геопросторових даних з іншими інформаційними масивами дозволяє прийняттю рішень спиратися на важливі закономірності, тенденції та взаємозв'язки. Це, у свою чергу, поліпшує планування, розподіл ресурсів та формування політик для сталого розвитку. ГІС також дозволяє створювати інтерактивні карти, які є потужним інструментом комунікації із зацікавленими сторонами та громадськістю. Завдяки доступності таких карт через вебплатформи й мобільні додатки забезпечується поширення інформації у зручному форматі [5, с. 17]. Незважаючи на численні переваги, впровадження ГІТ супроводжується технічними, економічними, соціальними та організаційними проблемами, що можуть заважати їхньому ефективному використанню [8, с. 103].

Головною технічною проблемою є різноманітність геопросторових даних, отриманих із різних джерел (супутники, аерофотозйомка, наземне спостереження), які відрізняються за форматом і точністю. Інтеграція таких даних потребує передових методів обробки та стандартизації, що є ресурсоемним завданням.

Для повноцінної реалізації потенціалу ГІТ у громадах важливо виконати низку рекомендацій, а саме:

– інвестиції в інфраструктуру та кадровий потенціал. Забезпечення надійного обладнання, програмного забезпечення, навчання спеціалістів і розширення інфраструктури для передачі даних в режимі реального часу є основою успішного впровадження ГІТ;

– розвиток культури обміну даними. Переваги ГІТ розкриваються, коли дані з різних джерел інтегруються для спільного аналізу. Створення стандартів для обміну даними та міжвідомчої співпраці дозволить максимально використати потенціал геопросторових технологій;

– забезпечення конфіденційності та безпеки даних. Збір та використання геопросторових даних мають здійснюватися у відповідності до правових і етичних норм для захисту конфіденційності. Впровадження систем управління даними із чіткими правилами доступу та використання зміцнює довіру між усіма зацікавленими сторонами [4, с. 70].

Загалом, ГІС пропонують безліч можливостей у цифровізації територіальних громад. Вони сприяють ухваленню обґрунтованих рішень, залученню громадськості, підтримці економічного розвитку та реагуванню на надзвичайні ситуації. У міру того як громади продовжують впроваджувати цифрові технології, роль ГІС стає дедалі важливішою, забезпечуючи інноваційний, ефективний і стійкий розвиток.

Використання відкритих даних додає нові можливості для покращення життєдіяльності громад і сприяння сталому розвитку. Їх ефективне застосування дозволяє громадам приймати виважені рішення, підвищуючи прозорість і відповідальність органів публічної влади. Систематизація відкритих даних є основою для моніторингу та якісного планування. Наприклад, завдяки активному застосуванню відкритих даних у Дрогобицькій територіальній громаді кількість інформаційних запитів до міської ради зменшилася у 2,5 рази за три роки.

Інвестиційна привабливість також зростає завдяки відкритим даним. Бізнес ухвалює інвестиційні рішення на основі даних про стан місцевої економіки, зокрема відкритий бюджет громади є ключовим джерелом для таких рішень. Наприклад, місто Маріуполь (до повномасштабного вторгнення) залучило 12,5 млн євро кредиту для оновлення транспорту, а місто Дрогобич отримало інвестиції для заміни комунального обладнання завдяки даним про енерговитрати.

Прийняття рішень на основі відкритих даних дозволяє громадам покращити управлінські процеси. Портали відкритих геоданих надають інформацію про землі, забудови та економічні показники, що сприяє подальшому плануванню розвитку.

Сервіси на основі відкритих даних допомагають покращити послуги для громадян. Наприклад, сіті-бот «Назар» надає інформацію про стан комунальної інфраструктури та ремонтні роботи у містах Тернополі, Луцьку та Дрогобичі. Також ініціатива «Дані міст» сприяла розвитку цифрових сервісів, організовуючи конкурс інноваційних ідей, що можна впровадити в інших громадах. Ініціатива «Дані міст» у 2021 році охоплювала понад 35 міст і громад в Україні. Вона пропагувала відкриті дані, підтримувала активістів та громадські організації у розробці цифрових сервісів, які покращують прозорість і якість управління.

Програма «Transparent cities / Прозорі міста», започаткована Transparency Україна у 2017 році, створена для вимірювання прозорості управління через Рейтинг 100 найбільших міст. Програма не тільки оцінює прозорість, а й проводить семінари в регіонах України для обміну кращими практиками та організовує партнерські обміни досвідом серед держслужбовців. Проєкт спрямований на підвищення відкритості місцевої влади і запровадження нових стандартів управління [6].

Альянс стійкості виділяє низку ключових критеріїв для оцінки стійкості соціально-екологічних систем: різноманітність, відкритість, ефективність зворотних зв'язків, наявність резервів та модулярність. Досвід деокупованих територій показує, що місцеві та міжнародні організації активно розпочали процес відновлення інфраструктури для забезпечення стійкості. Міжнародні партнери наголошують на важливості прозорості та відкритості цього процесу, а також на згуртованості громад і координації зусиль на всіх етапах подолання наслідків кризових ситуацій [9].

З огляду на вищевикладене серед переваг використання відкритих даних для сталого розвитку територіальних громад можна виокремити наступні:

– прийняття рішень: відкриті дані надають учасникам процесу прийняття рішень доступ до достовірної інформації, що сприяє обґрунтованим рішенням для досягнення цілей сталого розвитку;

– прозорість та підзвітність: відкриті дані роблять інформацію загальнодоступною, підвищуючи довіру громадян до діяльності урядових і неурядових організацій;

– громадська участь: завдяки відкритим даним громадяни можуть брати активну участь у процесах прийняття рішень, що робить управління більш інклюзивним і відповідальним;

– стимулювання інновацій: відкриті дані сприяють розвитку інновацій, надаючи основу для нових технологій і рішень, спрямованих на розв'язання актуальних проблем сталого розвитку тощо.

А найкращі практики використання відкритих даних у територіальних громадах можуть бути за таких умов:

- встановлення угод про обмін даними: територіальним громадам варто надавати пріоритет співпраці та угодам про обмін даними для забезпечення доступності та якості відкритих даних;
- розвиток навичок грамотності щодо даних: освітні програми та ініціативи для розвитку навичок обробки та аналізу відкритих даних можуть підвищити їх ефективність;
- моніторинг і оцінка: регулярний моніторинг і оцінка ініціатив щодо відкритих даних сприятиме виявленню сфер, що потребують вдосконалення, та оцінці впливу на сталий розвиток.

#### Висновки

Отже, впровадження політики відкритих даних у територіальних громадах є багатогранним завданням, яке потребує розв'язання низки технічних, економічних, соціальних, організаційних та правових питань. Комплексний підхід до цього процесу має включати інвестиції в інфраструктуру, підготовку кадрів, залучення зацікавлених сторін, розробку стандартизованих протоколів обміну даними та дотримання нормативно-правових вимог. Розв'язавши ці питання, територіальні громади зможуть повноцінно використовувати потенціал відкритих даних для вдосконалення процесу ухвалення рішень, підвищення якості публічних послуг і сприяння сталому розвитку, особливо в умовах цифровізації.

Загалом, перспективи застосування відкритих даних у контексті цифрової трансформації територіальних громад є значними, оскільки вони можуть суттєво змінити різні аспекти управління та розвитку громад. Для реалізації цього потенціалу необхідно інвестувати в технічну інфраструктуру та людські ресурси, підтримувати обмін даними, вирішувати питання конфіденційності та безпеки щодо персональної інформації, забезпечувати довгострокове фінансування та активно залучати громади до процесу трансформації.

Відкриті дані мають значний потенціал для сприяння сталому розвитку територіальних громад. Завдяки ефективному використанню відкритих даних зацікавлені сторони можуть спільно вирішувати складні проблеми, підтримувати інновації і створювати стійкі та процвітаючі громади. Важливо, щоб територіальні громади надавали пріоритет використанню відкритих даних як ключового інструменту для досягнення цілей сталого розвитку, формуючи більш інклюзивне та прозоре суспільство.

#### Список використаної літератури

- Горбата Л. П. Відкриті дані як інструмент інформаційної відкритості у діяльності органів публічної влади. *Молодий вчений*. 2018. № 5(1). С. 220-224. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv\\_2018\\_5\(1\)\\_56](http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2018_5(1)_56).
- Закон України «Про доступ до публічної інформації». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2011. № 32. Ст. 314.
- Конституція України. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 1996. № 30. Ст. 141.
- Назарук М. М., Галянта Л. А. Соціально-екологічні передумови розвитку інноваційного природокористування в територіальних громадах Львівщини. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. Серія: Екологія. 2022. № 26. С. 66-74. URL: [https://journals.urau.ua/visnukkhnu\\_ecology/article/view/284358](https://journals.urau.ua/visnukkhnu_ecology/article/view/284358).
- Присяжнюк О. Ф., Булуй О. Г., Плотнікова М. Ф. Проектно-інформаційно-комунікаційні технології соціально-економічного управління бізнесом та громадами. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2024. № 1 (10). С. 8-13. URL: <http://dees.iei.od.ua/index.php/journal/article/view/293>.
- Проектний підхід в громадах: рекомендації для керівництва громади та працівників проектних відділів. 2023. URL: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/09/Rekomendatsii---dlya-gromad.-Proyektinii---pidhid.pdf>.
- Проценко В. Реформа децентралізації: як цифрові рішення допоможуть розбудові громад. *Українформ*. 05.02.2024. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3822028-reforma-decentralizacii-ak-cifrovi-risenna-dopomozut-rozbudovi-gromad.html>.
- Пуцентейло П., Хома Н., Бабій С. Застосування новітніх інформаційно-цифрових технологій в управлінні земельними ресурсами сільськогосподарських підприємств. *Економічний дискурс*. 2023. № 1-2. С. 96-110. URL: <http://ed.pdatu.edu.ua/article/view/287683>.
- Територіальні громади: механізми забезпечення стійкості : монографія / Грищенко І.М., Горбата Л.П. Київ, НУБіП України, 2024, 345 с. ISBN 978-617-8368-16-6 URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/items/22dfbd9c-3afc-43d1-866c-b13b8cfb1626>.
- Чебукін Ю., Комліченко О., Яковенко Є. Формування парадигми управління розвитком територіальних громад в умовах цифрової економіки. *Актуальні питання у сучасній науці*. 2023. № 11 (17). С. 462-474. URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/sn/article/view/7327>.
- Gryshchenko, Iryna M., Kruhlov, V., Lypchuk, O., Lomaka, I., Kobets, Y. (2022). Infrastructural Development of Smart Cities as the Background of Digital Transformation of Territorial Units. *Cuestiones Politicas*, Vol. 40, № 73(2022), 233-250. URL: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cuestiones/article/view/38394> DOI: <https://doi.org/10.46398/cuestpol.4073.11>.
- Melnychenko S. G., Bohadorova L. M., Markeliuk A. V. Spatial-temporal changes in the growing of grain and leguminous plants in Kherson region. Man and Environment. *Issues of Neoeology*. 2021. № 35. P. 140-150.

## References

1. Horbata, L. P. (2018). Vidkryti dani yak instrument informatsiinoi vidkrytosti u diialnosti orhaniv publichnoi vlady [Open data as a tool of information openness in the activities of public authorities]. *Molodyi vchenyi – A young scientist*. 5(1). 220-224. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv\\_2018\\_5\(1\)\\_56](http://nbuv.gov.ua/UJRN/molv_2018_5(1)_56) [in Ukrainian].
2. Zakon Ukrainy «Pro dostup do publichnoi informatsii» [Law of Ukraine «On access to public information»]. (2011). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR) – Information of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR)*. 32. St. 314 [in Ukrainian].
3. Konstytutsiia Ukrainy [Constitution of Ukraine]. (1996). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR) – Information of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR)*. 30. St. 141 [in Ukrainian].
4. Nazaruk, M. M., Halianta, L. A. (2022). Sotsialno-ekolohichni peredumovy rozvytku innovatsiinoho pryrodokorystuvannia v terytorialnykh hromadakh Lvivshchyny [Socio-ecological prerequisites for the development of innovative nature management in territorial communities of Lviv Oblast]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni VN Karazina – Bulletin of Kharkiv National University named after V.N. Karazin*. 26, 66-74. Retrieved from [https://journals.uran.ua/visnukkhnu\\_ecology/article/view/284358](https://journals.uran.ua/visnukkhnu_ecology/article/view/284358) [in Ukrainian].
5. Prysiazhniuk, O. F., Bului, O. H., Plotnikova, M. F. (2024). Proiektno-informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii sotsialno-ekonomichnoho upravlinnia biznesom ta hromadamy [Project-information-communication technologies of socio-economic management of business and communities]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka – Digital economy and economic security*. 1(10), 8-13. Retrieved from <http://dees.iei.od.ua/index.php/journal/article/view/293> [in Ukrainian].
6. Proiektnyi pidkhid v hromadakh: rekomendatsii dlia kerivnytstva hromady ta pratsivnykiv proektnykh viddiliv [Project approach in communities: recommendations for community leadership and project department employees]. (2023). (n.d). *kse.ua*. Retrieved from <https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/09/Rekomendatsii---dlya-gromad.-Proiektnyi---pidhid.pdf> [in Ukrainian].
7. Protsenko, V. (2024). Reforma detsentralizatsii: yak tsyfrovi rishennia dopomozhut rozbudovi hromad [Decentralization reform: how digital solutions will help build communities]. *Ukrinform – Ukrinform*. Retrieved from <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3822028-reforma-decentralizacii-ak-cifrovi-risenna-dopomozut-rozbudovi-gromad.html> [in Ukrainian].
8. Putsenteilo, P., Khoma, N., Babii, S. (2023). Zastosuvannia novitnikh informatsiino-tyfrovyykh tekhnolohii v upravlinni zemelnymy resursamy silskohospodarskykh pidpriemstv [Application of the latest information and digital technologies in the management of land resources of agricultural enterprises]. *Ekonomichniy dyskurs – Economic discourse*. 1-2, 96-110. Retrieved from <http://ed.pdatu.edu.ua/article/view/287683> [in Ukrainian].
9. Hryshchenko, I.M., Horbata, L.P. (2024). Terytorialni hromady : mekhanizmy zabezpechennia stiikosti [Territorial communities: mechanisms for ensuring sustainability]. Kyiv, NUBiP Ukrainy. Retrieved from <https://dglib.nubip.edu.ua/items/22dfbd9c-3afc-43d1-866c-b13b8cfb1626> [in Ukrainian].
10. Chebukin, Yu., Komlichenko, O., Yakovenko, Ye. (2023). Formuvannia paradyhmy upravlinnia rozvytkom terytorialnykh hromad v umovakh tsyfrovoi ekonomiky [Formation of a paradigm for managing the development of territorial communities in the conditions of the digital economy]. *Aktualni pytannia u suchasni nauki – Current issues in modern science*. 11(17), 462-474. Retrieved from <http://perspectives.pp.ua/index.php/sn/article/view/7327> [in Ukrainian].
11. Gryshchenko, Iryna M., Kruhlov, V., Lypchuk, O., Lomaka, I., Kobets, Y. (2022). Infrastructural Development of Smart Cities as the Background of Digital Transformation of Territorial Units. *Cuestiones Politicas*, vol. 40, 73, pp. 233-250. Retrieved from <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cuestiones/article/view/38394> DOI: <https://doi.org/10.46398/cuestpol.4073.11> [in English].
12. Melnychenko, S. G., Bohadorova, L. M., Markeliuk, A. V. (2021). Spatial-temporal changes in the growing of grain and leguminous plants in Kherson region. *Man and Environment. Issues of Neoecology*. 35. (pp. 140-150). [in English].

В. О. ЄВСЄЄВ

кандидат військових наук, доцент,  
начальник центру

Національна академія Національної гвардії України

ORCID: 0000-0002-0164-2991

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ЗАХИСТУ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ: ЕВОЛЮЦІЙНИЙ АСПЕКТ

*В статті вказано, що в наслідок повномасштабної збройної агресії російської федерації значна кількість об'єктів критичної інфраструктури зазнала численних руйнувань і пошкоджень. Вказане створює реальну масштабну загрозу для населення, суспільства, соціально-економічної стабільності, національної безпеки та обороноздатності України і завдає суттєвої шкоди життєво важливим національним інтересам держави.*

*Зазначено, що вказані чинники актуалізують наукові розвідки за напрямом публічного управління у сфері захисту критичної інфраструктури. Важливість завдання із захисту критичної інфраструктури потребує від органів публічної влади реалізації стратегічного підходу до його вирішення; розроблення та удосконалення системи механізмів публічного управління, що може запобігти зазначеним загрозам або зменшити негативні наслідки їх реалізації.*

*Наголошується на тому, що нормативно-правовий механізм системи публічного управління у сфері захисту критичної інфраструктури, а саме створення нової та удосконалення існуючої нормативно-правової бази, є основою для підвищення ефективності публічного управління у визначеній сфері. Розуміння того, що підґрунтям для системи публічного управління у сфері захисту критичної інфраструктури є не тільки дотримання існуючих норм права, а й їх подальший розвиток, сприяє розробленню та впровадженню у вітчизняній практиці на загальнодержавному рівні відповідних нормативно-правових актів.*

*Визначена мета дослідження, яка полягає у проведенні аналізу розвитку нормативно-правового забезпечення публічного управління у сфері захисту критичної інфраструктури.*

*Встановлено, що нормативно-правове забезпечення публічного управління у сфері захисту критичної інфраструктури набуває поступового розвитку, проводиться комплексна модернізація правового поля у сфері захисту критичної інфраструктури, удосконалюються нормативно-правові механізми публічного управління у сфері дослідження, триває процес адаптації національного законодавства до кращих світових практик, зокрема до законодавства Європейського Союзу.*

**Ключові слова:** нормативно-правове забезпечення, публічне управління, критична інфраструктура, захист, збройна агресія.

V. O. YEVSIEIEV

Candidate of Military Sciences, Associate Professor,

Head of the Center

The National Academy of the National Guard of Ukraine

ORCID: 0000-0002-0164-2991

## REGULATORY AND LEGAL PROVISION OF PUBLIC ADMINISTRATION IN THE FIELD OF CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION: AN EVOLUTIONARY ASPECT

*In the article denote that as a result of the full-scale armed aggression of the russian federation, a significant number of critical infrastructure objects suffered numerous destructions and damages. This creates a real large-scale threat to the population, society, socio-economic stability, national security and defense capability of Ukraine and causes significant damage to the vital national interests of the state.*

*It is noted that the specified factors actualize scientific research in the direction of public administration in the field of critical infrastructure protection. The importance of critical infrastructure protection task requires public authorities to implement a strategic approach to its solution; development and improvement of the system of public administration mechanisms, which can prevent the mentioned threats or reduce the negative consequences of their implementation.*

*It is emphasized that the regulatory and legal mechanism of the public administration system in the field of critical infrastructure protection, namely the creation of a new and improvement of the existing regulatory and legal framework, is the basis for increasing the efficiency of public administration in the specified area. Understanding that the basis for the system of public administration in the field of critical infrastructure protection is not only compliance with existing legal norms, but also their further development, contributes to the development and implementation of relevant normative legal acts in domestic practice at the national level.*

*The purpose of the research is determined, which consists in conducting an analysis of the development of regulatory and legal support of public administration in the field of critical infrastructure protection.*

*It has been established that the regulatory and legal support of public administration in the field of critical infrastructure protection is gradually developing, a comprehensive modernization of the legal field in the field of critical infrastructure protection is being carried out, the regulatory and legal mechanisms of public administration in the field of research are being improved, the process of adapting national legislation to the best global practices is ongoing, in particular to the legislation of the European Union.*

**Key words:** *regulatory and legal provision, public administration, critical infrastructure, protection, armed aggression.*

### Постановка проблеми

Саме сьогодні Україна протистоїть повномасштабній збройній агресії російській федерації, яка, по суті, є війною за існування Української Держави, її суверенітет і територіальну цілісність.

Відомо, що в наслідок нанесення збройними силами держави-агресора ракетно-бомбових та артилерійських ударів значна кількість об'єктів критичної інфраструктури (далі-КІ) зазнала численних руйнувань і пошкоджень. Це, в свою чергу, створює реальну масштабну загрозу для населення, суспільства, соціально-економічної стабільності, національної безпеки та обороноздатності України і завдає суттєвої шкоди життєво важливим національним інтересам держави [1].

Зазначені чинники актуалізують наукові розвідки як в цілому у сфері захисту КІ, так й за її окремими напрямками, зокрема й за напрямом публічного управління у визначеній сфері.

Важливість вирішення такого складного завдання як захист КІ потребує від органів публічної влади реалізації стратегічного підходу до його вирішення; розроблення та удосконалення системи механізмів публічного управління, що може запобігти зазначеним загрозам або зменшити негативні наслідки їх реалізації.

Нормативно-правовий механізм системи публічного управління у сфері захисту КІ, а саме створення нової та удосконалення існуючої нормативно-правової бази, є основою для підвищення ефективності публічного управління у визначеній сфері. Розуміння того, що підґрунтям для системи публічного управління у сфері захисту КІ є не тільки дотримання існуючих норм права, а й їх подальший розвиток, сприяє розробленню та впровадженню вітчизняній практиці на загальнодержавному рівні відповідних нормативно-правових актів. Активізація роботи щодо розвитку нормативно-правового забезпечення публічного управління у сфері захисту КІ має відбуватися на основі ретельного аналізу існуючої нормативно-правової бази та з урахуванням сучасних загроз безпеці КІ, найкращих світових практик і проголошеного курсу на набуття повноправного членства в Європейському Союзі та Організації Північноатлантичного договору. Зазначене породжує актуальність проведення аналізу становлення та розвитку нормативно-правового забезпечення публічного управління у сфері захисту КІ.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вагомий внесок у дослідження нормативно-правового забезпечення публічного управління у сфері захисту КІ внесли такі науковці, як Бірюков Д. С., Кондратов С. І. [2], Підюков П. П., Калиновський О. В. [3], Богданов Б. В. [4] та ін.

Проте, в зазначених роботах не враховані останні важливі зміни у нормативно-правовому забезпеченні публічного управління у сфері захисту КІ, що обґрунтовує актуальність теми дослідження.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є проведення аналізу розвитку нормативно-правового забезпечення публічного управління у сфері захисту КІ.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Як зазначають вітчизняні науковці, наприкінці 1990-х – початку 2000-х років законодавство України щодо захисту об'єктів, які згідно зі світовою практикою відносились до КІ, було достатньо розгалуженим і включало значну кількість нормативно-правових актів, які визначали численні категорії об'єктів, для яких встановлювались особливі умови забезпечення їх захисту та функціонування, і носили переважно відомчий характер [5].

З початку 2000-х років КІ та проблеми її захисту почали визначати й досліджувати в Україні як суто наукові. Вивченню низки її складових присвятили свої наукові праці Д. С. Бірюков, Є. В. Брежнев, Д. Г. Бобро, О. Д. Величко, Д. В. Дубов, В. П. Горбулін, С. П. Іванюта, В. В. Зубарев, О. М. Юрченко та ін. [3].

Якісно нового рівня зазначений напрям наукових досліджень досяг у 2015 році, коли фахівці Національного інституту стратегічних досліджень підготували та видали «Зелену книгу з питань захисту критичної інфраструктури України» [3].

На зазначених вище наукових надбаннях ґрунтувалося Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 2016 року «Про удосконалення заходів забезпечення захисту об'єктів критичної інфраструктури» [6]. Рішенням було визначено стратегічні завдання щодо комплексного удосконалення правової основи захисту КІ та системи публічного управління її безпекою.

Основою для створення національної системи захисту КІ, доцільно, на думку вітчизняних фахівців, вважати Концепцію створення державної системи захисту критичної інфраструктури, яка була схвалена у 2017 році [7].

Наступним етапом розвитку нормативно-правового забезпечення публічного управління у сфері захисту КІ було прийняття Урядом у 2020 році Постанови «Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури». Постановою був затверджений порядок віднесення об'єктів до об'єктів КІ; перелік секторів (підсекторів), основних послуг КІ держави; методика категоризації її об'єктів; регламентовано ряд термінів, серед яких «захист об'єктів критичної інфраструктури» [8].

Згодом, у 2021 році був прийнятий Закон України «Про критичну інфраструктуру» [9], яким були визначені основні засади державної політики у сфері захисту КІ, організаційно-правові засади формування та функціонування національної системи захисту КІ.

Також у цьому році були затверджені Методичні рекомендації щодо категоризації об'єктів КІ [10]. Рекомендаціями був визначений порядок створення робочої групи з ідентифікації та категоризації об'єктів, її завдання, категорії критичності об'єктів КІ та ін.

У 2022 році Постановою Кабінету Міністрів було затверджене Положення про Державну службу захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості України, яким було визначено основні завдання вказаної служби, мета організації її діяльності, права служби тощо [11].

В той же рік Уряд затвердив Регламент обміну інформацією між суб'єктами національної системи захисту КІ. Регламентом визначені шляхи забезпечення інформаційної взаємодії та порядок обміну інформацією в різних режимах функціонування КІ [12].

Також у 2022 році Постановою Уряду був визначений порядок подання інформації у сфері захисту КІ, затверджені форми річного звіту про виконання секторальними органами та операторами КІ своїх повноважень [13].

Крім того, Постановою Кабінету Міністрів у 2022 році затверджений Порядок проведення моніторингу рівня безпеки об'єктів критичної інфраструктури [14]. Вказаною Постановою визначені механізм проведення моніторингу рівня безпеки об'єктів КІ та його періодичність, мета проведення моніторингу, форма акту оцінки стану захищеності об'єкта КІ.

У 2023 році Постановою Уряду був затверджений Порядок ведення Реєстру об'єктів КІ, включення таких об'єктів до Реєстру, доступу та надання інформації з нього [15].

В тому ж році іншою Постановою Кабінету Міністрів був затверджений Порядок розроблення та погодження паспорта безпеки на об'єкт КІ [16]. Даним документом затверджена форма паспорта безпеки на об'єкт КІ, зміст загальної характеристики об'єкта КІ, порядок їх розробки та затвердження.

Також в 2023 році був затверджений Національний план захисту та забезпечення безпеки та стійкості КІ [17]. Планом були визначені стратегічні цілі, завдання, заходи, строки їх виконання та відповідальні виконавці, індикатори виконання.

У зв'язку з триваючою повномасштабною збройною агресією російської федерації Рада національної безпеки і оборони України у 2023 році визначила ряд заходів щодо організації захисту та забезпечення безпеки функціонування об'єктів КІ та енергетики України в умовах ведення воєнних дій [18].

З початку повномасштабного вторгнення російської федерації Україна уклала низку двохсторонніх міжнародних угод про співпрацю у сфері безпеки. У зазначених угодах, крім іншого, закріплені зобов'язання сторін з питань розвитку двохстороннього співробітництва у сфері захисту КІ. Основними напрямками такого співробітництва визначені: сприяння розвитку спроможностей України у сфері захисту КІ; залучення українських фахівців із досвідом забезпечення безпеки КІ для реалізації відповідних проєктів на території держав-партнерів; розроблення та реалізація спільних освітніх та навчальних програм з метою підготовки спеціалістів у сфері захисту КІ [1].

У 2024 році для реалізації вищезазначених угод Постановою Кабінету Міністрів була утворена Міжвідомча робоча група [19]. Одним з основних завдань Міжвідомчої робочої групи є сприяння забезпеченню координації дій органів виконавчої влади, інших державних органів, установ та організацій з питань реалізації двосторонніх угод про співробітництво у сфері безпеки за окремими напрямками, зокрема за напрямом захисту енергетичної та іншої КІ.

### Висновки

Підсумовуючи, зауважимо, що нормативно-правове забезпечення публічного управління у сфері захисту КІ набуває поступового розвитку, проводиться комплексна модернізація правового поля у сфері захисту КІ, удосконалюються нормативно-правові механізми публічного управління у сфері дослідження, триває процес адаптації національного законодавства до кращих світових практик, зокрема до законодавства Європейського Союзу.

### Список використаної літератури

1. Євсєєв В.О. Забезпечення національної безпеки України крізь призму діяльності органів публічного управління у сфері міжнародного співробітництва з питань захисту критичної інфраструктури. *Публічне управління та адміністрування в Україні: євроінтеграційний поступ*: збірник матеріалів І-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародною участю (м. Івано-Франківськ, 31 травня 2024 р.). Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2024. С. 359-361.

2. Бірюков Д.С., Кондратов С.І. Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні: аналітична доповідь. К.: Національний інститут стратегічних досліджень, 2012. 57 с.
3. Підюков П.П., Калиновський О.В. Система державного захисту критичної інфраструктури України: генеза, сучасний стан і перспективи оптимізування в умовах подальшого забезпечення національної безпеки України. *Часопис Київського університету права*. 2020. № 4. С. 355-359. DOI: 10.36695/2219-5521.4.2020.63.
4. Богданов Б. В. Актуальні питання нормативно-правового регулювання захисту критичної інфраструктури в умовах воєнного стану в Україні. *ПРОБЛЕМИ СУЧАСНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ. Серія: право, публічне управління та адміністрування*. 2022. № 6. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5746-2022-6-01-09>.
5. Д.С. Бірюков, С.І. Кондратов, О.І. Насвіт, О.М. Суходоля. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні: аналітична доповідь. К.: Національний інститут стратегічних досліджень, 2015. 35 с.
6. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року «Про удосконалення заходів забезпечення захисту об'єктів критичної інфраструктури»: Указ Президента України від 16 січня 2017 року № 8/2017. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/wrawes> (дата звернення: 02.11.2024).
7. Про схвалення Концепції створення державної системи захисту критичної інфраструктури: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 6 грудня 2017 р. № 1009-р. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/iwoiua> (дата звернення: 02.11.2024).
8. Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури: Постанова Кабінету Міністрів України від 9 жовтня 2020 р. № 1109. Дата оновлення: 13.09.2024. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/keхue> (дата звернення: 02.11.2024).
9. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16 листопада 2021 року № 1882-IX. Дата оновлення: 22.08.2024. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/hiumc> (дата звернення: 02.11.2024).
10. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо категоризації об'єктів критичної інфраструктури: наказ Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України від 15.01.2021 № 23. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/khxfrq> (дата звернення: 02.11.2024).
11. Про утворення Державної служби захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості України: Постанова Кабінету Міністрів України від 12 липня 2022 р. № 787. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/ekjtoa> (дата звернення: 02.11.2024).
12. Про затвердження Регламенту обміну інформацією між суб'єктами національної системи захисту критичної інфраструктури: Постанова Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2022 р. № 1174. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/vqrqvr> (дата звернення: 02.11.2024).
13. Деякі питання подання інформації у сфері захисту критичної інфраструктури: Постанова Кабінету Міністрів України від 14 жовтня 2022 р. № 1175. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/sozprt> (дата звернення: 02.11.2024).
14. Про затвердження Порядку проведення моніторингу рівня безпеки об'єктів критичної інфраструктури: Постанова Кабінету Міністрів України від 22 липня 2022 р. № 821. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/nxhkqx> (дата звернення: 02.11.2024).
15. Про затвердження Порядку ведення Реєстру об'єктів критичної інфраструктури, включення таких об'єктів до Реєстру, доступу та надання інформації з нього: Постанова Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2023 р. № 415. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/lxqhkе> (дата звернення: 02.11.2024).
16. Деякі питання паспортизації об'єктів критичної інфраструктури: Постанова Кабінету Міністрів України від 4 серпня 2023 р. № 818. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/ftgxwm> (дата звернення: 02.11.2024).
17. Про затвердження Національного плану захисту та забезпечення безпеки та стійкості критичної інфраструктури: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2023 р. № 825-р. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <https://salo.li/6D7ac13> (дата звернення: 02.11.2024).
18. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 17 жовтня 2023 року «Про організацію захисту та забезпечення безпеки функціонування об'єктів критичної інфраструктури та енергетики України в умовах ведення воєнних дій»: Указ Президента України від 17 жовтня 2023 року № 695/2023. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/ckdibs> (дата звернення: 02.11.2024).
19. Про утворення Міжвідомчої робочої групи з питань реалізації двосторонніх угод про співробітництво у сфері безпеки: Постанова Кабінету Міністрів України від 22 березня 2024 р. № 329. Дата оновлення: 10.05.2024. *База даних «Законодавство України»/Верховна Рада України*. URL: <http://surl.li/muwxzs> (дата звернення: 02.11.2024).



## References

1. Yevsieiev, V.O. (2024). Zabezpechennia natsionalnoi bezpeky Ukrainy kriz pryizmu diialnosti orhaniv publichnoho upravlinnia u sferi mizhnarodnoho spivrobitnytstva z pytan zakhystu krytychnoi infrastruktury [Ensuring the National Security of Ukraine through the Prism of the Activities of Public Administration Bodies in the Field of International Cooperation in the Critical Infrastructure Protection]. Proceedings from PMAUEIP'24: I-a Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia za mizhnarodnoiu uchastiu «Publichne upravlinnia ta administruvannia v Ukrainy: yevrointehratsiinyi postup» – 1st All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation «Public Management and Administration in Ukraine: European Integration Progress». (p. 359-361). Ivano-Frankivsk: Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas [in Ukrainian].
2. Biriukov D.S., & Kondratov S.I. (2012). Zakhyst krytychnoi infrastruktury: problemy ta perspektyvy vprovadzhennia v Ukraini [Critical Infrastructure Protection: Problems and Prospects of Implementation in Ukraine]. *Analychna dopovid – Analytical Report*. Kyiv: National Institute of Strategic Research [in Ukrainian].
3. Pidiukov P.P., & Kalynovskyi O.V. (2020). Systema derzhavnoho zakhystu krytychnoi infrastruktury Ukrainy: geneza, suchasnyi stan i perspektyvy optymizuvannia v umovakh podalshoho zabezpechennia natsionalnoi bezpeky Ukrainy [The System of State Protection of Critical Infrastructure of Ukraine: Genesis, Current State and Prospects for Optimization in Terms of Further Ensuring the National Security of Ukraine]. *Chasopys Kyivskoho universytetu prava – Journal of the Kyiv University of Law*, № 4, 355-359 [in Ukrainian]. DOI: 10.36695/2219-5521.4.2020.63.
4. Bohdanov B. V. (2022). Aktualni pytannia normatyvno-pravovoho rehuliuвання zakhystu krytychnoi infrastruktury v umovakh voiennoho stanu v Ukraini [Current Issues of Regulatory and Legal Regulation of Critical Infrastructure Protection in the Conditions of Martial Law in Ukraine]. *PROBLEMY SUCHASNYKH TRANSFORMATSI. Seriya: pravo, publichne upravlinnia ta administruvannia – PROBLEMS OF MODERN TRANSFORMATIONS. Series: Law, Public Management and Administration*, № 6 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5746-2022-6-01-09>.
5. D.S. Biriukov, S.I. Kondratov, O.I. Nasvit, & O.M. Sukhodolia (2015). Zelena knyha z pytan zakhystu krytychnoi infrastruktury v Ukraini [Green Book on Critical Infrastructure Protection in Ukraine]. *Analychna dopovid – Analytical Report*. Kyiv: National Institute of Strategic Research [in Ukrainian].
6. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i obrony Ukrainy vid 29 hrudnia 2016 roku «Pro udoskonalennia zakhodiv zabezpechennia zakhystu ob'ektiv krytychnoi infrastruktury»: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 16 sichnia 2017 roku № 8/2017 [About the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine from December 29, 2016 «On the Improvement of Measures to Ensure the Protection of Critical Infrastructure Objects»: The President of Ukraine Decree dated January 16, 2017, № 8/2017]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/wrawes> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].
7. Pro skhvalennia Kontseptsii stvorennia derzhavnoi systemy zakhystu krytychnoi infrastruktury: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 6 hrudnia 2017 r. № 1009-r [About Approval of the Concept of Creation of the State System of Critical Infrastructure Protection: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 6, 2017, № 1009-r]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/iwoiua> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].
8. Deiaki pytannia ob'ektiv krytychnoi infrastruktury: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 9 zhovtnia 2020 r. № 1109 [Some Issues of Critical Infrastructure Objects: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 9, 2020, № 1109]. Update date: September 13, 2024. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/kexye> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].
9. Pro krytychnu infrastrukturu: Zakon Ukrainy vid 16 lystopada 2021 roku № 1882-IX [About the Critical Infrastructure: Law of Ukraine dated November 16, 2021, № 1882-IX]. Update date: August 22, 2024. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/hiumc> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].
10. Pro zatverdzhennia Metodychnykh rekomendatsii shchodo katehoryzatsii ob'ektiv krytychnoi infrastruktury: nakaz Administratsii Derzhavnoi sluzhby spetsialnoho zviazku ta zakhystu informatsii Ukrainy vid 15.01.2021 № 23 [About Approval of Methodological Recommendations for the Categorization of Critical Infrastructure Objects: The Order of the Administration of the State Service of Special Communication and Information Protection of Ukraine dated January 15, 2021, № 23]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/khxfpq> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].
11. Pro utvorennia Derzhavnoi sluzhby zakhystu krytychnoi infrastruktury ta zabezpechennia natsionalnoi systemy stiiikosti Ukrainy: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 12 lypnia 2022 r. № 787 [About Formation of the State Service for the Protection of Critical Infrastructure and Ensuring the National System of Ukraine's Stability: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 12, 2022, № 787]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/ekjtoa> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].
12. Pro zatverdzhennia Rehlementu obminu informatsiieiu mizh subiektamy natsionalnoi systemy zakhystu krytychnoi infrastruktury: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14 zhovtnia 2022 r. № 1174 [About Approval of the Regulation on the Exchange of Information between Subjects of the National System of Critical Infrastructure Protection: Resolution

of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 14, 2022, № 1174]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/vqrqvp> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].

13. Deiaki pytannia podannia informatsii u sferi zakhystu krytychnoi infrastruktury: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14 zhovtnia 2022 r. № 1175 [Some Issues of Information Submission in the Field of Critical Infrastructure Protection: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 14, 2022, № 1175]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/cozpcct> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].

14. Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia monitorynhu rivnia bezpeky ob'ektiv krytychnoi infrastruktury: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 22 lypnia 2022 r. № 821 [About Approval of the Procedure for Monitoring the Security Level of Critical Infrastructure Objects: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 22, 2022, № 821]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/nxhkqx> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].

15. Pro zatverdzhennia Poriadku vedennia Reiestru ob'ektiv krytychnoi infrastruktury, vkluchennia takykh ob'ektiv do Reiestru, dostupu ta nadannia informatsii z noho: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 28 kvitnia 2023 r. № 415 [About Approval of the Procedure for Maintaining the Register of Critical Infrastructure Objects, Inclusion of Such Objects in the Register, Access and Provision of Information from it: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 28, 2023, № 415]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/lxqhke> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].

16. Deiaki pytannia pasportyzatsii ob'ektiv krytychnoi infrastruktury: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 4 serpnia 2023 r. № 818 [Some Issues of Certification of Critical Infrastructure Objects: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 4, 2023, № 818]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/ftxwrm> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].

17. Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu zakhystu ta zabezpechennia bezpeky ta stiikosti krytychnoi infrastruktury: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 19 veresnia 2023 r. № 825-r [About Approval of the National Plan for the Protection and Ensuring the Safety and Stability of Critical Infrastructure: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 19, 2023, № 825-r]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://salo.li/6D7ac13> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].

18. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 17 zhovtnia 2023 roku «Pro orhanizatsiiu zakhystu ta zabezpechennia bezpeky funktsionuvannia ob'ektiv krytychnoi infrastruktury ta enerhetyky Ukrainy v umovakh vedennia voiennykh dii»: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 17 zhovtnia 2023 roku № 695/2023 [About the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine from October 17, 2023 «About Organization of Protection and Ensuring the Safety of the Functioning of Critical Infrastructure and Energy Objects of Ukraine in the Conditions of Military Operations»: The President of Ukraine Decree dated October 17, 2023, № 695/2023]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/ckdibs> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].

19. Pro utvorennia Mizhvidomchoi robochoi hrupy z pytan realizatsii dvostoronnikh uhod pro spivrobotnytstvo u sferi bezpeky: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 22 bereznia 2024 r. № 329 [About Formation of the Interdepartmental Working Group on the Implementation of Bilateral Agreements on Cooperation in the Security Sector: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 22, 2024, № 329]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://surl.li/muwxs> (date of application November 02, 2024) [in Ukrainian].

О. Ю. КРАВЧУК

кандидат політичних наук,  
доцент кафедри психології, філософії  
та соціально-гуманітарних дисциплін  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
ORCID: 0000-0001-7802-1934

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ В США ТА КИТАЇ

Стаття присвячена порівняльному аналізу використання штучного інтелекту (ШІ) в публічному управлінні Сполучених Штатів Америки та Китайської Народної Республіки. З розвитком цифрових технологій уряди обох країн активно впроваджують ШІ у сферу публічного управління, щоб підвищити ефективність процесів, покращити надання послуг та оптимізувати управління ресурсами. Проте існують суттєві відмінності у підходах та пріоритетах щодо впровадження ШІ, що обумовлено політичними, економічними та соціальними особливостями кожної країни. У США ключовий акцент робиться на етичних аспектах, захисті приватності та регуляторних механізмах, які дозволяють забезпечити прозорість і підзвітність використання ШІ. Уряд США, зокрема, розробив і впровадив низку нормативних актів та етичних керівництв, спрямованих на захист прав громадян і запобігання зловживанням новітніми технологіями.

Наголошується, що Китай активно розвиває ШІ для зміцнення контролю над громадянським суспільством і забезпечення внутрішньої стабільності, орієнтуючись на високий рівень централізації управління. Уряд КНР використовує технології ШІ для масового збору та аналізу даних з різноманітних джерел, зокрема у сфері безпеки та правопорядку, що сприяє посиленню контролю за суспільною поведінкою. Порівняльний аналіз дозволяє визначити ключові особливості обох моделей використання ШІ, їхні переваги та недоліки, а також оцінити можливості адаптації окремих елементів цих моделей у контексті міжнародного досвіду. Результати дослідження можуть слугувати основою для розробки рекомендацій щодо впровадження ШІ у сферу публічного управління з урахуванням національних специфік, що сприятиме формуванню більш ефективних та прозорих систем управління.

**Ключові слова:** штучний інтелект, публічне управління, безпека, цифрові технології, порівняльний аналіз.

O. YU. KRAVCHUK

Candidate of Political Sciences,  
Associate Professor at the Department of Psychology, Philosophy  
and Social and Humanitarian Disciplines  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
ORCID: 0000-0001-7802-1934

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PUBLIC ADMINISTRATION IN THE USA AND CHINA

The use of artificial intelligence (AI) in public administration in the US and China illustrates two different approaches to using technology for public development and governance. These countries, being world leaders in the field of innovation, demonstrate contrasting patterns of integration of AI into the work of public authorities, reflecting different political systems, management values and approaches to civil rights.

In the US, AI is used mostly to increase the transparency of government processes, modernize administrative services, and improve analytical tools. This approach helps to improve the interaction between government and society, in particular through open access to data and accountability.

In China, AI is mainly used for centralized monitoring, control and forecasting of social behavior. In particular, AI technologies allow the state to carry out large-scale surveillance of citizens, ensure public safety and efficiently allocate resources based on data about the needs of the population. Comparing these approaches provides a deeper understanding of how political and social contexts shape the role of AI in public administration, and what opportunities and challenges arise for governments using innovative technologies to support their governance goals.

The comparison of the approaches of the United States and China to the use of AI in public administration reveals a number of significant differences. In the U.S., the implementation of AI is oriented towards ethical principles, transparency, and accountability to the public. Government programs aim to improve service quality, particularly through automation, while strictly adhering to standards of privacy and human rights. In contrast, China uses AI to strengthen control over its population, as reflected in centralized monitoring programs and the analysis of citizens' behavior.

**Key words:** artificial intelligence, public administration, security, digital technologies, comparative analysis.

### Постановка проблеми

Застосування штучного інтелекту (ШІ) у публічному управлінні в США та Китаї ілюструє два різні підходи до використання технологій для державного розвитку та управління. Ці країни, будучи світовими лідерами у сфері інновацій, демонструють контрастні моделі інтеграції ШІ в роботу державних органів, що відображає різні політичні системи, управлінські цінності та підходи до громадянських прав.

У США ШІ застосовується здебільшого для підвищення прозорості державних процесів, модернізації адміністративних послуг та вдосконалення аналітичних інструментів. Такий підхід сприяє покращенню взаємодії між урядом і суспільством, зокрема шляхом відкритого доступу до даних і підзвітності.

У Китаї ж ШІ використовується переважно для централізованого моніторингу, контролю та прогнозування суспільної поведінки. Зокрема, технології ШІ дозволяють державі здійснювати масштабний нагляд за громадянами, забезпечувати громадську безпеку та ефективно розподіляти ресурси на основі даних про потреби населення. Порівняння цих підходів дає змогу глибше зрозуміти, як політичні й соціальні контексти формують роль ШІ у публічному управлінні, та які можливості й виклики виникають для урядів, що використовують інноваційні технології для забезпечення своїх управлінських цілей.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У своїх дослідженнях Максименцева Н.О. говорить про те, що одним із важливих факторів, що перешкоджають прогресу у впровадженні технологій ШІ в публічному управлінні, є відсутність можливостей ШІ в організації. Авторка досліджує, якою мірою державні послуги і сфера публічного управління та обслуговування громадян різних країн транскордонно покладаються на інфраструктуру за межами їх власної юрисдикції, які включають країни в Азії, включаючи Тайвань, Європу, зокрема Україну, і Сполучене Королівство (Великобританію), яке є активним у цьому відношенні.

Бернд В. Вірц, Й.К. Вайер та К. Гейер розглядають виклики та можливості впровадження ШІ в державному секторі. Автори акцентують увагу на ефективності, прозорості та етичних питаннях, що виникають при впровадженні ШІ в публічне управління. Підходить для аналізу спільних викликів у різних країнах [1].

Тара Цянь Сун та Роні Медаль аналізують дискурси навколо ШІ у сфері державного управління, зокрема в контексті західних демократичних країн. Допомогає краще зрозуміти, як у США ведуться дискусії про етику, приватність і відповідальність держави за технологічні новації [2].

### Матеріали і методи

Для детального розкриття теми роботи було використано ряд методів. Метод порівняльного аналізу дозволяє систематизувати інформацію про впровадження ШІ в публічному управлінні США та Китаю. За його допомогою можна виявити схожості й відмінності у стратегіях, пріоритетах, етичних засадах та правових обмеженнях щодо використання ШІ у двох країнах.

Контент-аналіз застосовується для дослідження офіційних документів, наукових статей, аналітичних звітів та медійних матеріалів. Це дозволяє ідентифікувати основні теми, напрями та тенденції у використанні ШІ в публічному управлінні, зокрема, особливості правового регулювання та етичних стандартів.

Метод аналізу документів використовується для дослідження офіційних політик, нормативних актів і рекомендацій, які формують правові основи для застосування ШІ в публічному управлінні в США та Китаї. Це дозволяє детально проаналізувати регуляторні особливості та пріоритети.

Соціологічний аналіз допомагає оцінити вплив впровадження ШІ на громадську думку, рівень довіри та задоволення громадян від використання новітніх технологій у державному управлінні. Може базуватися на вторинних даних (дослідження Pew Research Center, Gallup), що відображають ставлення населення до цифрових інновацій у різних країнах.

Метод системного підходу дозволяє досліджувати взаємозв'язки між технічними, правовими та соціальними аспектами впровадження ШІ, що дає змогу побачити вплив регуляторних і політичних рішень на функціонування державних інституцій.

### Викладення основного матеріалу дослідження

В останні роки штучний інтелект (ШІ) набуває широкого поширення у різних сферах діяльності, зокрема й у державному управлінні. Його впровадження на державному рівні дає змогу підвищити ефективність та прозорість урядових процесів, оптимізувати управління ресурсами та покращити надання державних послуг. У цьому контексті особливий інтерес становить порівняльний аналіз досвіду застосування ШІ в публічному управлінні Сполучених Штатів Америки та Китайської Народної Республіки. Кожна з цих країн має власні пріоритети та підходи до впровадження ШІ, які відображаються в їхніх політиках, нормативній базі, а також у суспільному сприйнятті цієї технології. Вивчення цих підходів дозволяє не тільки побачити спільні та відмінні риси, але й окреслити можливості для адаптації найбільш ефективних рішень у публічному управлінні інших країн [3].

У США розвиток та впровадження ШІ у державному секторі має на меті підтримку інновацій, забезпечення ефективності адміністративних процесів та забезпечення прозорості для громадян. Одним з основних документів, що регулює ШІ у публічному управлінні, є Національна ініціатива зі штучного інтелекту, ухвалена Конгресом

у 2020 році. Цей документ визначає основні напрямки використання ШІ в урядових структурах, зокрема акцентуючи увагу на етиці та захисті приватності громадян. Важливим аспектом є те, що США акцентують увагу на забезпеченні прав людини та відповідності використання ШІ нормам етики [4].

Одним з ключових застосувань ШІ у США є автоматизація процесів обробки даних, зокрема у сфері охорони здоров'я та соціального забезпечення. Також ШІ використовується для підвищення безпеки держави: він допомагає аналізувати великі масиви даних, зокрема у сфері розвідки та захисту національних інтересів. Водночас США приділяють значну увагу дослідженню впливу ШІ на суспільство, що відображається у звітах таких установ, як Pew Research Center та Brookings Institution, а також у діяльності спеціальних етичних комітетів, які займаються питаннями прозорості та підзвітності державних програм, пов'язаних із ШІ.

Китай, на відміну від США, використовує ШІ в урядовому секторі з акцентом на контроль над громадянським суспільством та забезпеченням стабільності держави. Основні положення щодо застосування ШІ в державному управлінні прописані у Новому поколінні плану розвитку штучного інтелекту 2017 року. Згідно з цим планом, Китай активно інвестує у розвиток ШІ, розглядаючи його як стратегічну технологію для підвищення національної безпеки, економічного зростання та інноваційного розвитку [5].

Сфера застосування ШІ в Китаї включає різні аспекти: від автоматизації послуг надання державних сервісів до систем масового моніторингу громадян. Особливої уваги заслуговує система соціального кредиту, яка дозволяє державі оцінювати поведінку громадян на основі численних показників та приймати відповідні рішення щодо надання їм пільг або обмежень. Такий підхід, хоч і сприяє підвищенню соціальної дисципліни, викликає занепокоєння серед правозахисників, адже він обмежує права на приватність та свободу дій.

Китайське суспільство загалом позитивно ставиться до впровадження ШІ, що підтримується урядовою політикою, яка демонструє вигоди ШІ для економічного розвитку та безпеки. Однак, використання ШІ для контролю над громадянами піднімає питання етики та прав людини. Саме з цієї причини китайський підхід значно відрізняється від підходу США, де пріоритетним є захист індивідуальних прав громадян.

Порівняння підходів США та Китаю до використання ШІ у публічному управлінні виявляє ряд суттєвих відмінностей. У США впровадження ШІ орієнтоване на етичні принципи, прозорість та підзвітність перед суспільством. Урядові програми спрямовані на покращення якості послуг, зокрема за рахунок автоматизації, але з чітким дотриманням стандартів приватності та прав людини. У свою чергу, Китай використовує ШІ для зміцнення контролю над населенням, що відображається у централізованих програмах моніторингу та аналізу поведінки громадян [6].

Ще однією відмінністю є політика у сфері регулювання ШІ. США активно працюють над створенням етичних та правових стандартів для забезпечення безпеки та відповідального використання ШІ, водночас Китай зосереджується на розширенні функціональності ШІ та його інтеграції в управлінську діяльність, інвестуючи в розвиток технології для досягнення національних цілей [7].

### Висновки

Порівняльний аналіз використання ШІ в публічному управлінні США та Китаю демонструє різні підходи до регулювання та впровадження цієї технології, обумовлені політичними та культурними відмінностями. США акцентують увагу на захисті прав громадян, прозорості та етиці, тоді як Китай застосовує ШІ як інструмент контролю, що спрямований на підтримання стабільності та підвищення ефективності державного управління.

Досвід обох країн є цінним для інших держав, які планують впроваджувати ШІ у публічному секторі. Поєднання переваг обох підходів може стати основою для розробки ефективних стратегій впровадження ШІ, які будуть орієнтовані на забезпечення ефективності управлінських процесів та захист прав громадян.

### Список використаної літератури

1. Wirtz, B.W., J.C. Weyerer, and C. Geyer. Artificial Intelligence and the Public Sector—applications and Challenges. *International Journal of Public Administration*, 2019. 42 (7): 596-615. doi:10.1080/01900692.2018.1498103.
2. Sun, T.Q. and Medaglia, R. Mapping the Challenges of Artificial Intelligence in the Public Sector: Evidence from Public Healthcare. *Government Information Quarterly*, 2019. 36, 368-383. doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.008
3. Максименцева Н.О., Максименцев М.Г. Штучний інтелект у публічному управлінні: переваги цифрових технологій та загрози суверенному інформаційному простору. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2024. № 2. doi.org/10.32702/2307-2156.2024.2.7.
4. Sun T., Medaglia R. Mapping the Challenges of Artificial Intelligence in the Public Sector: Evidence from Public Administration Discourse. *Government Information Quarterly*, 36(2), p. 368-383, 2019. doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.008.
5. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), *Artificial Intelligence in Society*, OECD Publishing, Paris, 2019 doi.org/10.1787/eedfee77-en.
6. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. Paris: UNESCO, 2021. <https://www.unesco.org/en/articles/recommendation-ethics-artificial-intelligence>

7. H.R.6216 – 116th Congress (2019-2020): National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020. (2020, March 12). <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/6216>.

#### References

1. Wirtz, B.W., J.C. Weyerer, and C. Geyer. (2019). Artificial Intelligence and the Public Sector—applications and Challenges. *International Journal of Public Administration* 42 (7): 596-615. doi:10.1080/01900692.2018.1498103.
2. Sun, T.Q. and Medaglia, R. (2019) Mapping the Challenges of Artificial Intelligence in the Public Sector: Evidence from Public Healthcare. *Government Information Quarterly*, 36, 368-383. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.008>
3. Maksymtseva, N.O., & Maksymtsev, M.H. (2024). Shtuchnyy intelekt u publichnomu upravlinni: perevahy tsyfrovoykh tekhnolohiy ta zahrozy suverennomu informatsiyomu prostoru [Artificial intelligence in public administration: advantages of digital technologies and threats to the sovereign information space]. *Derzhavne upravlinnya: udoskonalennya ta rozvytok – Public administration: improvement and development*, 2. doi.org/10.32702/2307-2156.2024.2.7 [in Ukrainian].
4. Sun T., Medaglia R. (2019) Mapping the Challenges of Artificial Intelligence in the Public Sector: Evidence from Public Administration Discourse. *Government Information Quarterly*, 36(2), p. 368-383. doi.org/10.1016/j.giq.2018.09.008.
5. OECD (2019), *Artificial Intelligence in Society*, OECD Publishing, Paris, doi.org/10.1787/eedfee77-en.
6. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2021). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. Paris: UNESCO. Retrieved from <https://www.unesco.org/en/articles/recommendation-ethics-artificial-intelligence>
7. H.R.6216 – 116th Congress (2019-2020): National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020. (2020, March 12). <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/6216>.

І. В. КУДРЯВСЬКИЙ

кандидат політичних наук, докторант

Міжрегіональна Академія управління персоналом

ORCID: 0009-0009-5167-7648

## СТРАТЕГІЇ ЗАХИСТУ ВІД НАПАДУ З АКТИВНИМ ЗАСТОСУВАННЯМ ДІЙ В ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРИ

Дана робота присвячена пошуку напрямків та особливостей формування стратегії захисту в умовах, коли учасники не лише бойових дій та військових конфліктів, але суб'єкти міжнародної політики загалом активно застосовують у просуванні своїх інтересів інформаційні дії, при чому, дотримуючись стратегій, нерідко агресивного експансивного характеру, які простежуються в окремих випадках протягом багатьох десятиліть.

За таких умов інформаційні дії у вигляді виключно реагування на поточну ситуацію, заходи тактичного, чи навіть комплекси заходів оперативного рівня планування самі по собі не можуть належним чином забезпечити зниження та нівелювання деструктивного інформаційно-психологічного впливу різних учасників наповнення інформаційного простору, належної захищеності інформаційної безпеки та безпеки держави.

Оскільки інформаційна політика будь-якої держави, тим більше, коли мова йде про елементи розвідувальної діяльності чи інформаційну діяльність недержавних організацій, має суттєві (іноді ключові) елементи, які не висвітлюються публічно та зберігаються в таємниці, аналізувати довготермінові стратегії інформаційної діяльності нерідко доводиться не лише за декларативними документами, але, перш за все, за їхніми фактичними проявами. При чому, коли мова йде про аналіз стратегії інформаційної діяльності – необхідно досліджувати інформаційні дії суб'єктів протягом тривалого часу.

У роботі проаналізовано виявлені та задокументовані (попри значну латентність окремих елементів таких процесів) комплекси інформаційних дій, тенденції та закономірності, що застосовувалися керівництвом держав, при чому, як тих, у яких державний та політичний режим прийнято вважати демократичним, так і з тоталітарними (авторитарними) режимами, учасниками (керівниками) окремих формально чи фактично неурядових організацій.

Наукова новизна роботи та її практичні результати полягають у застосуванні аналізу історичного досвіду для оцінки особливостей сучасного протистояння в інформаційному просторі з урахуванням поширення сучасних інформаційно-комунікативних технологій, які обумовлюють соціально-психологічні зміни, зокрема, безпосередньо в умовах відбиття Силами оборони України російського широкомасштабного збройного вторгнення, яке на всіх етапах підготовки та реалізації супроводжується масштабною діяльністю, спрямованою на реалізацію деструктивного інформаційно-психологічного впливу.

У висновках роботи запропоновані конкретні заходи, які могли б підвищити ефективність роботи органів державного управління у сфері захисту безпеки інформаційного простору та інформаційної безпеки громадян України від деструктивного інформаційно-психологічного впливу противника та інших учасників наповнення інформаційного простору.

**Ключові слова:** державне управління, інформаційний простір, інформаційна війна, стратегічні комунікації, російська агресія, інформаційно-психологічний вплив.

I. V. KUDRIAVSKY

PhD in Political Science, Doctoral Student

Interregional Academy of Personnel Management

ORCID: 0009-0009-5167-7648

## STRATEGIES FOR DEFENSE AGAINST ATTACK WITH ACTIVE USE OF ACTIONS IN THE INFORMATION SPACE

This paper is devoted to the search for directions and peculiarities of forming a defense strategy in conditions when participants not only in hostilities and military conflicts, but also international policy actors in general actively use information actions to promote their interests, and in doing so, adhering to strategies, often of an aggressive expansionary nature, which can be traced in some cases for many decades.

Under such conditions, information actions in the form of solely responding to the current situation, tactical measures, or even complexes of measures of the operational level of planning cannot by themselves properly ensure the reduction and leveling of the destructive information and psychological impact of various participants in filling the information space, proper protection of information security and state security.

Since the information policy of any state, especially when it comes to elements of intelligence activities or information activities of non-governmental organizations, has significant (sometimes key) elements that are not publicly disclosed and

*kept secret, long-term information strategies often have to be analyzed not only by declarative documents, but, above all, by their actual manifestations. Moreover, when it comes to analyzing the strategy of information activity, it is necessary to study the information actions of subjects over a long period of time.*

*The paper analyzes the identified and documented (despite the considerable latency of certain elements of such processes) complexes of information actions, trends and patterns used by the leadership of states, both those in which the state and political regime is considered democratic and those with totalitarian (authoritarian) regimes, and participants (leaders) of certain formally or actually non-governmental organizations.*

*The scientific novelty of the work and its practical results are the application of the analysis of historical experience to assess the peculiarities of modern confrontation in the information space, taking into account the spread of modern information and communication technologies that cause socio-psychological changes, in particular, directly in the context of repulsion of the Russian large-scale armed invasion by the Ukrainian Defense Forces, which at all stages of preparation and implementation is accompanied by large-scale activities aimed at implementing destructive information and psychological influence of the enemy.*

*The conclusions of the paper propose specific measures that could increase the efficiency of public administration bodies in the field of protection of information space security and information security of Ukrainian citizens from destructive information and psychological influence of the enemy and other participants in the information space.*

**Key words:** *public administration, information space, information warfare, strategic communications Russian aggression, information and psychological influence.*

### Постановка проблеми

Ефективність деструктивного інформаційного та психологічного впливу в історичній ретроспективі значною мірою обумовлена його латентністю та складністю виявлення. Якщо обман противника чи потенційного противника, вплив на цільові аудиторії в його державі (включаючи представників державного управління, армії, поліції, населення) проходив вдало, – це могло змінити ситуацію у когнітивному вимірі інформаційного простору (який історично з'явився значно раніше, ніж віртуальний, і набув розвитку ще до популяризації фізичних носіїв інформації (книг, графічних зображень, тощо)) настільки, що виявлення впливу або ставало уже не актуальним через кардинальну зміну історичних обставин, або ж неможливим, оскільки зміна суспільної думки сприймалася як частина природного соціального процесу.

Перша світова війна стала першою тотальною війною, у якій цілі нації, а не лише професійні армії, були “замкнені” в бою, тобто перебували, висловлюючись сучасною популярною термінологією, “в інформаційній бульбашці”. Пропаганда війни в той період почала глобально застосовуватися. Уряди держав виділили величезні ресурси та величезні зусилля для створення матеріалу, покликаного формувати думку та дії на міжнародному рівні. Зусилля держав виправдати свої дії та заручитися міжнародною підтримкою призвели до найпотужнішої пропаганди, яку будь-коли створювали на той час [1, С. 99]. Саме пропаганда при застосуванні різноманітних ідеологій стала ключовим інструментом створення низки державних та політичних тоталітарних режимів, включаючи СРСР. Наслідки цих подій у геополітичних масштабах даються взнаки і сьогодні.

Під час Другої світової війни успішність маніпулювання масовою свідомістю продемонстрував військовий злочинець, “майстер пропаганди” Йозеф Геббельс, а його послідовники, російські військові злочинці, сьогодні розв'язали найбільш криваву війну в Європі у XXI столітті та повторний геноцид українського народу [2, С. 93]. Що ж до російських військових злочинців часів Другої світової війни, то вони з метою дискредитації воїнів Української повстанської армії розгорнули масштабну мережу провокаторів, які вдавали із себе повстанців. У західних областях України в цілому, станом на 20 червня 1945 року, діяло 156 спецгруп НКВС із загальною кількістю учасників в них 1783 особи [3, С. 7]. Перевдягнуті чекісти убивали українців до 1950-х років, створюючи криваве підґрунтя кремлівських пропагандистських міфів про “кровожерливих бандерівців”. Результативність деструктивного інформаційно-психологічного впливу значною мірою обумовлена тим, що навіть нетривала дія брехні залишає “післямак” у вигляді емоцій, які слугують або дезорганізуючим фактором для суспільства, або сигналом до активних дій для окремих його членів [2, С. 93]. На жаль, зусилля історичного ворога українського народу не пройшли безслідно, і навіть зараз, коли кожного дня новими військовими злочинами та ударами по цивільній інфраструктурі російські військово-терористичні формування демонструють свою сутність, серед представників українського населення, особливо похилого віку, залишаються ті, хто продовжує вірити російській пропаганді. Це створює додаткові труднощі для процесу розвитку критичного мислення цільових аудиторій, без якого неможливо забезпечити стійкість громадянського суспільства до ворожого деструктивного інформаційно-психологічного впливу та, відповідно, результативний захист інформаційної безпеки держави й особистості.

Складно оцінити, чи у повній мірі уряди і громадянські суспільства демократичних країн світу усвідомлюють небезпечність російської пропаганди та інформаційно-психологічних операцій, але вони однозначно знають про проблему та намагаються їй протидіяти. Європейські країни вже не перший рік системно відбивають атаки кремлівської пропаганди: від навали ботів до сконструйованих медіакампаній. На серйозне ставлення до цієї проблеми вказує те, що у 2015 році держави ЄС створили Оперативну робочу групу зі стратегічних комунікацій



(ESTF – EastStratCom Task Force) з метою протистояння прокремлівським дезінформаційним кампаніям з боку російської федерації. Завданням діяльності профільної структури ЄС став збір та узагальнення таких випадків в єдину базу з метою розробки механізмів протистояння російській пропаганді [4, С. 121]. Тільки за перших п'ять років своєї діяльності Група розвінчала вісім тисяч російських фейків [5] і зараз продовжує роботу.

З метою протидії російській пропаганді та деструктивному інформаційно-психологічному впливу вживалися заходи і в Україні, у тому числі на найвищому – законодавчому рівні. Зокрема, уже після початку широкомасштабного вторгнення прийнято Закон України від 22.05.2022 р. “Про заборону пропаганди російського нацистського тоталітарного режиму, збройної агресії Російської Федерації як держави-терориста проти України, символики воєнного вторгнення російського нацистського тоталітарного режиму в Україну”, Закон України від 23.01.2023 р. “Про засудження та заборону пропаганди російської імперської політики в Україні і деколонізацію топонімії” [6, С. 134]. Щонайменше прийняття нормативно-правових актів парламентом є свідченням уваги до питання.

Попри це, неспівмірно більша кількість ресурсів, передусім фінансових і кадрових, якими володіє противник, а також російські тоталітарні підходи до питань здобуття інформаційної та когнітивної переваги виключають можливість успішно протистояти російському деструктивному інформаційно-психологічному впливу та пропаганді симетричними методами. Система стратегічних комунікацій, прийнята за основу інформаційної політики України, перебуває на стадії становлення та реформування. Механізми державного управління у сфері захисту безпеки інформаційного простору для належного забезпечення інформаційної безпеки держави та громадянина потребують подальших наукових досліджень, практичних заходів, і в кінцевому результаті – значного підвищення ефективності, для набуття спроможності нашої держави та громадянського суспільства отримати когнітивну перевагу над ворогом, що уможливить виконання завдань на оперативному та стратегічному рівні Силами оборони України і, зрештою, перемогу у війні як єдину умову фізичного виживання українського народу.

Враховуючи безпрецедентний масштаб інформаційної складової російської збройної агресії проти України, для досягнення такого результату необхідний не лише ретельний аналіз методик зниження ефективності (нівелювання) деструктивного інформаційно-психологічного впливу провідних світових держав, але, передусім, розуміння логіки дій противника та реалізація потенціалу власного досвіду, оскільки саме Україна першою в світі зустрілася безпосередньо з інформаційними загрозами такого характеру й масштабу.

**Завдання дослідження** полягає в аналізі історичних джерел, наукових праць, офіційних повідомлень та публіцистичних матеріалів, що надають можливість вивчити проблематику функціонування механізмів державного управління у сфері захисту безпеки інформаційного простору в умовах відбиття Силами оборони України російського широкомасштабного вторгнення при інтенсивному застосуванні учасниками наповнення інформаційного простору стратегій захисту від нападу (нівелювання або зниження ефективності деструктивного інформаційно-психологічного впливу противника).

**Методологія.** В ході роботи застосовано такі методи наукового дослідження: історичний, порівняльного аналізу, ретроспективного аналізу, аналізу та синтезу, дедукції, індукції, системно-структурний, лінгвістичний, формально-логічний.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Інформаційний матеріал, необхідний для аналізу, міститься в наукових працях: українських дослідників, серед яких: Косторнова Є., Когут Я., Мустеца В., Горун О., Озель В., Пашинська Д., Канарський В., Шипілова Л., Максимець В., Вівсяна В., Ковальський С., Гуржій С., Лавров В., Дудатьєв А. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 13, 14, 15, 16]; іноземних дослідників, серед яких: Bernard Clavier, François du Cluzel, Tzu-Chieh Hung, Tzu-Wei Hung [17, 18]; публікаціях у медіа, зокрема комерційних пропозиціях, пов'язаних з інформаційною діяльністю [7, 8, 9, 10, 11].

#### **Формулювання мети дослідження**

Мета запропонованого дослідження – пошук способів підвищення ефективності механізмів державного управління у сфері захисту безпеки інформаційного простору через аналіз історичних та сучасних стратегій захисту від нападу із застосуванням інформаційних дій (нівелювання або зниження ефективності деструктивного інформаційно-психологічного впливу противника).

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

При формуванні стратегії захисту безпеки інформаційного простору не викликає сумнівів необхідність налагодження роботи механізмів ідентифікації та реєстрації інформаційних атак. Державні та міжнародні безпекові організації намагаються налагодити систему моніторингу інформаційного простору. Більше того, зараз багато комерційних кампаній пропонують системи автоматичного моніторингу інформаційного простору на базі штучного інтелекту для приватних клієнтів. Такі послуги можуть допомогти не лише своєчасно виявити й зафіксувати факт інформаційної атаки опонентів (конкурентів, противника), але й визначити ефективність роботи власних фахівців у сфері просування іміджу, маркетингу. Прикладами таких систем можуть слугувати: Semantic Forge [7], Ecosap [8], Looqme [9], You scape [10], серед вітчизняних Attack index [11] та багато інших. Такі системи зазвичай мають досить потужний аналітичний блок, зокрема семантичного аналізу, можуть похвалитися непоганою здатністю збору інформації, а при правильних налаштуваннях – і її систематизації. Вони застосовуються як

комерційними, так і державними організаціями. Результати машинного аналізу можуть дати достатньо інформативні зведення та висновки для вузьких спеціалістів, та ці матеріали переважно потребують інтерпретації з метою підтримки діяльності осіб, які приймають рішення. Розробники більшості автоматичних систем моніторингу інформаційного простору прагнуть зробити їх придатними до відстежування когнітивних мін, як індивідуальних так і колективних, що безумовно було б безцінною допомогою у роботі з цільовими аудиторіями, але на даний момент у цьому процесі можна констатувати швидше частковий успіх, передусім у сфері маркетингу й таргетованої реклами. Однозначно позитивним у питаннях моніторингу інформаційного простору і виявлення інформаційних загроз можна назвати те, що важливість цієї діяльності в контексті захисту інформаційної безпеки розуміє керівництво більшості країн та міжнародних організацій.

Поняття реєстрації окремих акцій деструктивного інформаційно-психологічного впливу не є тотожним моніторингу інформаційного простору, хоча ці напрямки діяльності тісно пов'язані. Найбільш потужними союзниками України у протидії російській агресії, зокрема й інформаційній, безумовно залишаються США, ЄС та НАТО. Вище згадувалася діяльність Оперативної робочої групи ЄС із стратегічних комунікацій (ESTF – EastStratCom Task Force). Крім того, ЄС запустив щотижневий інформаційний бюлетень для протидії дезінформаційним атакам російських медіа. Мета щотижневого огляду – показати громадянам ЄС величезну кількість дезінформаційних атак, націлених щодня на європейську аудиторію. Дезінформація, яка міститься в російських новинних програмах, фіксується, наводяться факти, які її спростовують. Більшість новинних матеріалів взято з державних російських ЗМІ, орієнтованих на закордонного глядача, зокрема, телеканалу Russia Today [12, С. 33]. Така активність, безумовно, сприяє підвищенню рівня критичного мислення аудиторій, захисту інформаційної безпеки як на державному рівні, так і на рівні громадян і ЄС, і України, і, враховуючи екстериторіальність сучасного інформаційного простору, світу загалом.

Російська агресія проти України починаючи з окупації Криму, а зараз вже і повномасштабна війна, весь час супроводжується інформаційними операціями на всіх етапах. Саме тому ще у 2014 році Північноатлантичний альянс почав свою діяльність з протидії таким явищам зі створення Центру передового досвіду в галузі стратегічних комунікацій НАТО у Ризі (StratCom Centre of Excellence). StratCom сприяє покращенню можливостей стратегічного зв'язку в Альянсі та країнах-членах. Стратегічне спілкування є невід'ємною частиною зусиль, спрямованих на досягнення політичних і військових цілей Альянсу, тому стає все більш важливим, щоб Альянс належним, своєчасним, точним і відповідальним чином повідомляв про свої цілі та місії. Основними напрямками діяльності за 2021 рік були: 1) експеримент багатонаціональних інформаційних операцій; 2) розробка концепції моделювання інформаційного середовища; 3) розробка концепції навчального модуля моделювання дезінформаційної атаки; 4) курс та конференція в соціальних мережах. Діяльність NATO StratCom Centre of Excellence спрямована не лише на захист держав-членів, але й на партнерів, оскільки цей орган можна вважати таким, що надає підтримку державам-членам, кожна з яких має можливість розбудовувати власну систему інформаційного захисту. У 2015 році було ухвалено стратегію щодо протидії гібридній війні і після цього країни-члени розпочали розширювати набір інструментів НАТО для реагування на ці загрози, які включають в себе дезінформацію та кібератаки [13, С. 76]. Таким чином, і цивільні (Європейський союз) і військові (Північноатлантичний альянс) міжнародні організації з перших днів збройних проявів російської агресії проти України оцінили небезпечність ситуації в інформаційному просторі та почали розгортати механізми, які забезпечують принаймні ефективне відстеження і реєстрацію деструктивного інформаційно-психологічного впливу агресора у формах дезінформації та кібератак. Це далеко не повний спектр необхідних дій, але, безумовно, логічні та ефективні за своїм напрямком заходи.

В Україні дещо запізнимим, але, безумовно, важливим кроком для реалізації стратегій національної та інформаційної безпеки стало створення 19 березня 2021 року Центру протидії дезінформації. Це робочий орган Ради національної безпеки і оборони України, у завдання якого входить дослідження російської дезінформації, виявлення її в інформаційному полі України й розробка стратегії та заходів боротьби з нею. Публікації Центру на спеціалізованому ресурсі містять контент українською та англійською мовою, що значно розширює охоплення аудиторій. Статут Центру протидії дезінформації визначає наступні цілі: проведення аналізу та моніторингу подій і явищ в інформаційному просторі, виявлення та вивчення поточних та прогнозованих загроз інформаційній безпеці, забезпечення РНБО інформаційно-аналітичними матеріалами з питань інформаційної безпеки України. Серед пріоритетів називаються зокрема розкриття дезінформації та маніпуляції, боротьба з інформаційним тероризмом тощо [14, С. 99]. Безумовно, створення Центру протидії дезінформації при РНБО стало важливим кроком у розвитку механізмів державного управління, спрямованих на захист безпеки інформаційного простору, хоча і не може задовольнити усіх потреб такої діяльності, але навіть такі дії на цьому етапі війни противник не залишив без уваги та реакції. Попри автоматизацію процесів виявлення дезінформації та застосування спеціалізованого програмного забезпечення, робота зі спростуванням фейків вимагає людського ресурсу, значних витрат часу та фінансів. У той же час результативність такої роботи більше помітна у контексті розвитку критичного мислення аудиторій та “кондиціонування” суспільної думки (своєчасне й системне інформування суспільства про те, що

противник регулярно бреше), аніж у контексті зниження ефективності конкретних інформаційно-психологічних акцій, які безумовно сприйме значна частина аудиторій раніше, аніж дізнається про спростування таких акцій. За таких умов правильним рішенням з боку противника була, зокрема, активізація застосування технологій автоматичного поширення дезінформації, більш активне використання ботів та інших програмних засобів, оскільки використання технічного ресурсу у цьому випадку більш економічно виправдане, аніж людського.

Противник прагне маніпулювати свідомістю українців у соціальних мережах і пошукових системах, поширюючи брехню про Збройні Сили України та нагнітання істерії через соціально-економічні проблеми завдяки постам та коментарям у соціальних мережах від сотень тисяч ботів уже давно. Така тенденція зберігається і зараз. Також росія технологічно намагається використовувати боти щодо української та європейської аудиторії з метою поширення своїх наративів та масштабного збору інформації. Російські боти в соцмережах видають себе за справжніх українців та активно просувають наративи московії. Основні зусилля у поширенні інформації російськими ботами покладаються на головний науково-дослідний обчислювальний центр рф (ГОЛОВНІВЦ) – установу, яка виконує завдання ФСБ та підпорядковується безпосередньо адміністрації президента рф [15, С. 109–110]. Втім, враховуючи, що противник застосовує найрізноманітніші засоби деструктивного інформаційно-психологічного впливу, а методика його роботи може різко відрізнятися за шаблонами (аж до відсутності шаблонності взагалі), рівнем редакційної пропрацьованості інформаційного контенту, залученістю спеціалістів художньої творчості, формами, жанрами та каналами донесення інформації до аудиторій, було б наївно думати, що програмному забезпеченню, хай і сучасному, із застосуванням штучного інтелекту, противник виділяє роль стати переможцем у боротьбі за інформаційну та когнітивну перевагу. Роль таких технологій зводиться до деструктивного впливу на частину цільових аудиторій з порівняно невисоким рівнем критичного мислення, яка легко піддається низькопробній пропаганді й масовій дезінформації, а також у тому, щоби втягнути персонал відповідних інституцій демократичних країн в апіорі програту і запізнити протидію публікаціям дезінформуючого контенту противника, що вже відбулися, відпрацювали та втратили актуальність у той час, коли готуються до реалізації нові небезпечні атаки високого рівня пропрацьованості з перспективою ефективного впливу в когнітивній сфері.

У боротьбі за інформаційну та когнітивну перевагу має значення розуміння і правильна класифікація контенту. Це питання не залишилося поза увагою науковців і практиків. Не так швидко, як необхідно, але воно розробляється. Наведемо одну з класифікацій з відповідним обґрунтуванням. Контент у сучасному інформаційному просторі відіграє важливу роль, оскільки він стає основним засобом комунікації, маніпуляції та впливу на цільову аудиторію. Ключові аспекти контенту такі: 1. Тип контенту. Інформаційний контент може бути представлений у різних формах: текстові новини, відеоролики, аудіо, інфографіка, меми тощо. Кожен тип має свої особливості перекладу інформації та впливу на отримувача. Наприклад, відеоматеріали зазвичай мають більший емоційний вплив на глядача порівняно з текстом. 2. Джерела контенту. Джерело, з якого походить контент, суттєво впливає на сприйняття його цільовою аудиторією, оскільки враховується так звана “довіра” до тих чи інших джерел. Офіційні джерела, такі як урядові сайти чи авторитетні медіа, можуть надавати контенту більшої ваги, ніж невідомі блоги або особисті сторінки у соціальних мережах. 3. Контекст розміщення. Місце, де розміщено контент, також може впливати на його сприйняття. Контент, який відображається поруч з іншими новинами або рекламою, може бути сприйнятий інакше, ніж коли його переглядають окремо. 4. Таргетування та персоналізація. Сучасні технології дозволяють націлювати контент на конкретні групи людей на основі їхніх інтересів, демографічних характеристик та іншої інформації. Це може зробити контент більш ефективним у впливі на цільову аудиторію. 5. Інтерактивність та залученість. Контент, який створює взаємодію з користувачем (наприклад, інтерактивні опитування, тести, ігри) може збільшити його залученість і вплив на сприйняття інформації [16, С. 334–335]. Складність сучасної інформаційної діяльності, пов’язаної з виявленням контенту, який передбачає деструктивний інформаційно-психологічний вплив у когнітивній сфері, полягає зокрема у тому, що когнітивні закладки, які повинні скластися разом і вплинути на прийняття рішення представником цільової аудиторії, можуть бути достатньо адресними і добре замаскованими, розкиданими у декількох різнорідних елементах інформаційного контенту частинами, кожна з яких сама по собі не викликає підозр профільного спеціаліста, який займається моніторингом інформаційного простору на предмет виявлення інформаційних загроз. Наведена класифікація досить добре може задовольняти потреби аналізу окремого матеріалу, виданого в один час, але інформаційно-психологічні акції зазвичай передбачають серію новинних публікацій, творів мистецтва, мемів, інтерв’ю, синхронізованих “зливів” інформації протягом певного періоду. В окремих випадках на етапах глибокої підготовки можуть навіть задалегідь створюватися та поширюватися окремі твори мистецтва, які для певних аудиторій надають контекстного значення певним поняттям чи словосполученням, залишаючись непомітними для інших аудиторій чи спеціалістів противника. При цьому окремі “когнітивні закладки”, залишаючи певний “післясмак”, який має спрацювати при отриманні представником цільової аудиторії певної інформації, можуть спрацювати не з одним, а з декількома інформаційними приводами на однорідні чи різні результати. Це дозволяє “дотиснути” реалізацію деструктивного інформаційно-психологічного впливу наступними акціями, навіть якщо його не вдалося досягнути з першого разу, у повній мірі застосовуючи результати хоча б часткового успіху. Чим ретельніше

спланований деструктивний інформаційно-психологічний вплив противника, чим вище редакційне пропрацювання інформаційного контенту та більш орієнтоване на цільові аудиторії його розповсюдження, чим краще здійснено розподіл за етапами впливу окремих інформаційних матеріалів в рамках акції – тим складніша реалізація таких акцій, але тим ефективніший вплив вони мають у когнітивній сфері і тим важче виявити подібну інформаційну активність, не кажучи вже про те, щоб на доказовому рівні зафіксувати факт її реалізації.

Не відстежуючи активності противника (саме в питаннях боротьби за когнітивну перевагу, а не лише інформаційну в більш широкому значенні), не можливо обґрунтовано говорити про адекватну протидію таким загрозам. Крім того, навіть при ідеальній реалізації завдань відстеження та фіксації активності противника – самих по собі цих дій недостатньо для отримання когнітивної переваги, та зрештою – перемоги, як у питаннях когнітивної війни, так і в широкому значенні – військової перемоги над ворогом.

До схожих висновків у своїх дослідженнях доходять і вчені – представники країн НАТО. Кібернетичний світ зараз є всеосяжним, постійно присутнім, і жодне рішення чи дія не можуть бути виконані без інструментів, які він надає. Очевидно, що це впливає на пізнання тих, хто ними користується, і буде впливати на окремих людей і групи на всіх рівнях, як психологічно, з наслідками для людей, так і технічно, коли людські помилки впливають на системи. Це сфера, що швидко розвивається, і нові шляхи постійно розсувають межі наших знань і потенційних можливостей використання. Вкрай важливо намагатися передбачити загрози, породжені майбутніми технологіями, і дізнатися більше про ті, що розробляються сьогодні. Ці загрози стають дедалі поширенішими, а їх функціонування, найчастіше, матиме глобальні наслідки, що вимагає від НАТО і країн-членів замислитись над різноманітними вимірами когнітивної війни. Передбачити їх означає набути засобів, які дозволять вийти за межі реактивної позиції. Якщо збройні сили залишатимуться реактивними, це призведе до втрати технологічної ініціативи, яка сьогодні так важлива для військової стратегії [17, С. 10]. Як бачимо, висновки, щодо того, що час реагування та “війни з тінями минулого” давно пройшов, абсолютно однозначні.

Когнітивна війна стала не просто трендом, а формою ведення бойових дій не тільки для відомих нам гравців – російського агресора, НАТО, США, країн-членів НАТО. Її дію відчують на собі й інші країни, зазвичай демократичні (оскільки суспільства в антидемократичних режимах часто навіть не усвідомлюють факту когнітивної війни через спотворене сприйняття навколишньої дійсності). У цьому аспекті цікаве резюме тайванських вчених, які оцінюють реалізовану гібридну агресію та потенційні можливості збройного вторгнення Китаю у контексті застосування технологій когнітивної війни. На їх погляд, когнітивна війна повинна розглядатися як воєнний злочин у рамках міжнародного права через страх, залякування та психологічне насильство, яке вона спричиняє людству. Насправді, у цій війні немає переможця, оскільки когнітивна війна також шкодить нападнику; Китай може врешті-решт повірити у вибраний ним факт і бути сліпим до реальності, повторюючи прорахунки, зроблені Росією під час вторгнення в Україну. Тайвань може пережити напад, якщо вжити належних контрзаходів; однак для сприяння демократизації Китаю в майбутньому спільні зусилля всіх демократичних країн є справді необхідними [18, С. 15]. Загалом у матеріалі, датованому 2020-м роком досить розгорнуто дається характеристика когнітивній війні, яку на той період вів Китай проти Тайваню. Причому, представлена досить цікава концепція, відповідно до якої поняття когнітивної війни є значно ширшим, аніж питання інформаційної війни. За результатами аналізу інформаційної діяльності російських окупантів, особливо тих їхніх заходів, які, на перший погляд, часто можуть здаватися нелогічними, також проглядається тенденція підпорядковувати інформаційні дії, як і дії у кіберпросторі, меті отримання саме когнітивної переваги, тобто вести інформаційну (медійну) та кібервійну в інтересах когнітивної війни.

#### **Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямку**

Враховуючи викладене, заходи щодо відстеження і реєстрації актів російської інформаційної агресії, які вживаються в даний час політичним та військовим державним керівництвом України, країн-партнерів та міжурядових організацій, безумовно необхідні і дозволяють щонайменше накопичити досвід, який дає можливість аналізувати принаймні ту частину дій противника, що була виявлена. Поряд з тим, складність та латентність застосування засобів інформаційного нападу, який сучасні технології дозволяють реалізовувати у найрізноманітніших формах, роблять недостатніми самі по собі засоби відстеження і реєстрації актів ворожої інформаційної агресії, а також недостатньо ефективними заходи захисту безпеки інформаційного простору без активних дій наступального характеру, покликаних забезпечити власну ініціативу, управління інформаційним простором, інформаційну перевагу, когнітивну перевагу, вплив на цільові аудиторії противника включно з його державним, військовим керівництвом, особовим складом та населенням. Буде цей вплив деструктивним (деморалізація з метою відмови від підтримки подальшої агресивної війни), конструктивним (інформування про реальну ситуацію, що послабить позиції російської пропаганди й дезінформації, популяризація сучасних загальнонародських і демократичних цінностей, тощо) чи міститиме поєднання конструктивного і деструктивного впливу, – залежить від того, які форми і методи боротьби за когнітивну перевагу будуть обрані тими, хто прийматиме відповідні рішення, але, однозначно, без такої інформаційної активності система захисту безпеки власного інформаційного простору виявиться неповною та не зможе забезпечити виконання своїх завдань.

Неформальний альянс держав з антидемократичними режимами, який у медіа демократичних країн нерідко називають “вісью зла”, на прикладі росії (концепція когнітивної зброї С. Сулакшина) та Китаю ведуть боротьбу в інформаційному просторі саме з метою здобуття когнітивної переваги. Дослідники НАТО, країн-членів НАТО, Тайваню та інших країн інтенсивно займаються вивченням особливостей ведення когнітивної війни як неконвенційної форми бойових дій, пошуком шляхів протидії когнітивній війні і загрозам, які вона несе.

Українська наукова думка, а тим більше – практика, дещо відстає у розробці необхідного наукового підґрунтя та організації механізмів державного управління, які могли б реально захистити безпеку інформаційного простору від загроз, пов’язаних із веденням противником когнітивної війни. Навіть вітчизняні вчені, які дійшли до осмислення поняття “когнітивної безпеки” [19, С. 283], часто, на жаль, не виходять за рамки розуміння інформаційного протистояння як реактивного процесу (виявлення, аналіз загроз, протидія загрозам і саме в такому порядку). Подібна ситуація, якщо вона не зміниться у майбутньому, з кожним місяцем забиратиме життя наших співвітчизників та знижуватиме шанси на перемогу.

Враховуючи викладене, пропонується:

Підвищення ефективності механізмів державного управління у сфері захисту безпеки інформаційного простору в ході відбиття Силами оборони України російського широкомасштабного вторгнення при середньостроковому та довгостроковому стратегічному плануванні розглядати у контексті отримання когнітивної переваги над противником.

Заходи протидії деструктивному інформаційно-психологічному впливу противника, зокрема й у когнітивній сфері, поєднувати із заходами впливу на затвержені цільові аудиторії противника з досягненням ефекту у когнітивній сфері.

Інформаційну безпеку держави та особисту безпеку її громадян розглядати через призму завоювання інформаційної переваги над противником, завоювання та утримання когнітивної переваги над противником, уможливлення управління інформаційним простором, причому не лише своїм, але й ворожим, уникаючи грубих порушень демократичних принципів розвитку громадянського суспільства і держави.

В рамках структурних підрозділів, які беруть участь у реалізації механізмів державного управління у сфері захисту безпеки інформаційного простору створити нечисленні, але укомплектовані висококваліфікованими спеціалістами відділи, відповідальні за виявлення ворожого впливу, орієнтованого на ефекти у когнітивному вимірі інформаційного простору та аналіз таких дій з формуванням заходів адекватного реагування, прогнозування майбутніх акцій противника та підготовку пропозицій в ході планування впливу на затвержені цільові аудиторії противника.

### Список використаної літератури

1. Косторнова Є. Пропагандистські технології Першої світової війни, Другої світової війни й російсько-української війни 2014–2023 років: порівняльний аналіз. Соціальні комунікації: теорія і практика. 2023, № 1 (том 15). С. 96 – 114. DOI: <https://doi.org/10.51423/2524-0471-2023-15-1-8>. (дата звернення 23.07.2024).
2. Когут Я. Методи протидії інформаційно-психологічним операціям. Збірник тез доповідей учасників VIII Всеукраїнського круглого столу 08 грудня 2022 року “Державотворення та правотворення в контексті євроінтеграції”. 2022. 234 С. URL: [https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/5091/1/08\\_12\\_2022.pdf#page=92](https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/5091/1/08_12_2022.pdf#page=92). (дата звернення 23.07.2024).
3. Мустеця В. Використання каральними органами СРСР агентурно-бойових груп в боротьбі проти повстанців ОУН на Буковині. Вісник центру Буковинознавства. 2019, № 3. С. 30 – 42. URL: [https://shron1.chtyvo.org.ua/Mustetsya\\_Vasyl/Vykorystannia\\_karalnymy\\_orhanamy\\_SRSR\\_ahenturno-boiovykh\\_hrup\\_v\\_borotbi\\_protvy\\_povstantsiv\\_OUN\\_na\\_Buk.pdf](https://shron1.chtyvo.org.ua/Mustetsya_Vasyl/Vykorystannia_karalnymy_orhanamy_SRSR_ahenturno-boiovykh_hrup_v_borotbi_protvy_povstantsiv_OUN_na_Buk.pdf). (дата звернення 23.07.2024).
4. Горун О. Протидія ворожій медіа-пропаганді в умовах правового режиму військового стану в Україні. Інформація і право. 2023. № 1 (44). С. 116 – 128. DOI: [https://doi.org/10.37750/2616-6798.2023.1\(44\).287772](https://doi.org/10.37750/2616-6798.2023.1(44).287772). (дата звернення 23.07.2024).
5. ЄС розвінчав понад вісім тисяч крелівських фейків. Верховна Рада України. 2020. URL: <https://www.rada.gov.ua/print/192178.html>. (дата звернення 23.07.2024).
6. Озель В., Пашинська Д. Конституційно-організаційні засади протидії російській пропаганді в умовах війни. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Конституційні засади протидії російській пропаганді в умовах війни”. 2023. С. 132 – 135. DOI: <https://doi.org/10.32782/PPSS.2023.1.34> (дата звернення 23.07.2024).
7. Semantic Force – це омніканальна платформа моніторингу, аналітики медіа та обслуговування клієнтів, що базується на передовому семантичному та візуальному аналізі. // URL: [https://semanticforce.ai/ua?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwzIK1BhAuEiwAHQmU3uMdUhpvcVVCx8j7BKnpNYacaYlUVSC9wjbowem71x3JwiOwkkXYRoCz94QAvD\\_BwE](https://semanticforce.ai/ua?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzIK1BhAuEiwAHQmU3uMdUhpvcVVCx8j7BKnpNYacaYlUVSC9wjbowem71x3JwiOwkkXYRoCz94QAvD_BwE) (дата звернення 24.07.2024).
8. Допмагаємо оцінити ваші комунікації. URL: <https://ecosar.media>. (дата звернення 24.07.2024).
9. Оцінюємо здоров'я бренду з фокусом на ріст бізнес результату. URL: <https://uk.looqme.io>. (дата звернення 24.07.2024).

10. Моніторинг соцмедіа з візуальними інсайтами. URL: <https://youscan.io/ua/>. (дата звернення 24.07.2024).
11. Контролюй та коригуй інформацію про себе. URL: <https://attackindex.com/uk/golovna-attakindex/>. (дата звернення 24.07.2024).
12. Канарський В., Шипілова Л. Публічно-управлінські механізми протидії інформаційним загрозам: європейський досвід. Матеріали щорічної міжнародної науково-практичної конференції “Україна 2030: публічне управління для сталого розвитку”. Київ. 2020. С. 32 – 34. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Tetyana-Syvak/publication/349310794\\_STRATEGIC\\_COMMUNICATIONS\\_AS\\_THE\\_BASIS\\_OF\\_PUBLIC\\_ADMINISTRATION\\_PROCESS/links/602a195ea6fdcc37a829191d/STRATEGIC-COMMUNICATIONS-AS-THE-BASIS-OF-PUBLIC-ADMINISTRATION-PROCESS.pdf#page=32](https://www.researchgate.net/profile/Tetyana-Syvak/publication/349310794_STRATEGIC_COMMUNICATIONS_AS_THE_BASIS_OF_PUBLIC_ADMINISTRATION_PROCESS/links/602a195ea6fdcc37a829191d/STRATEGIC-COMMUNICATIONS-AS-THE-BASIS-OF-PUBLIC-ADMINISTRATION-PROCESS.pdf#page=32) (дата звернення 24.07.2024).
13. Максимець В., Вівсяна В. Співробітництво України та НАТО у протидії деструктивним інформаційним впливам російської федерації (2022–2023 рр.). Вісник НТУУ “КПІ” Політологія. Соціологія. Право. 2023, № 2 (№ 8). С. 74 – 80. DOI: [https://doi.org/10.20535/2308-5053.2023.2\(58\).285605](https://doi.org/10.20535/2308-5053.2023.2(58).285605). (дата звернення 24.07.2024).
14. Ковальський С. Протидія російській дезінформації та пропаганді в українському інформаційному просторі (на прикладі електронного ресурсу центру протидії дезінформації при РНБО України). Діалог: медіастудії. 2023, № 9. С. 96 – 108. DOI: <https://doi.org/10.18524/2308-3255.2023.29.300638>. (дата звернення 24.07.2024).
15. Гуржій С. Організаційно-технічні та кримінально-правові основи протидії російським ботам в умовах війни. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Сер.: Юриспруденція. 2023, № 64. DOI: <https://doi.org/10.32841/2307-1745.2023.64.21>. (дата звернення 24.07.2024).
16. Лавров В., Дудат'єв А. Інформаційна війна та її вплив на контент: методи оцінки ризиків та шляхи протидії. Матеріали VII Міжнародної наукової конференції “Проблемні питання науки та проблеми розвитку”. Берлін. 2023 р. С. 333 – 337. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2023/10/PROBLEMATIC-QUESTIONS-OF-SCIENCE-AND-PROBLEMS-OF-DEVELOPMENT.pdf#page=334>. (дата звернення 24.07.2024).
17. Bernard Claverie, François du Cluzel. The Cognitive Warfare Concept. // [Електронний ресурс]. URL: [https://innovationhub-act.org/wp-content/uploads/2023/12/CW-article-Claverie-du-Cluzel-final\\_0.pdf](https://innovationhub-act.org/wp-content/uploads/2023/12/CW-article-Claverie-du-Cluzel-final_0.pdf). (дата звернення 24.07.2024).
18. Tzu-Chieh Hung, Tzu-Wei Hung. How China's Cognitive Warfare Works: A Frontline Perspective of Taiwan's Anti-Disinformation Wars. // [Електронний ресурс]. Journal of Global Security Studies. 2020. № 4 (7). С. 1 – 18. DOI: <https://doi.org/10.1093/jogss/ogac016>. (дата звернення 24.07.2024).
19. Кобець Т. Основні підходи до розуміння “когнітивна безпека” в сучасній науці: політичний та інформаційний аспект. // [Електронний ресурс] Вісник Львівського університету. Серія філос.-політолог. студії. 2023, № 49. С. 278 – 285. DOI <https://doi.org/10.30970/PPS.2023.49.34>. (дата звернення 24.07.2024).

#### References

1. Kostornova Ye. (2023) Propahandystski tekhnolohii Pershoi svitovoi viiny, Druhoi svitovoi viiny y rosiisko-ukrainskoi viiny 2014–2023 rokov: porivnialnyi analiz. [Propaganda Technologies of the First World War, the Second World War and the Russian-Ukrainian War of 2014-2023: A Comparative Analysis]. Sotsialni komunikatsii: teoriia i praktyka, no. 1, pp. 96 – 114. DOI: <https://doi.org/10.51423/2524-0471-2023-15-1-8>. [in Ukrainian].
2. Kohut Ya. (2022) Metody protydyii informatsiino-psykholohichnym operatsiiam [Methods of countering information and psychological operations]. Zbirnyk tez dopovidei uchasnykiv VIII Vseukrainskoho kruhloho stolu 08 hrudnia 2022 roku “Derzhavotvorennia ta pravotvorennia v konteksti yevrointehratsii”. URL: [https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/5091/1/08\\_12\\_2022.pdf#page=92](https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/5091/1/08_12_2022.pdf#page=92). [in Ukrainian].
3. Mustetsa V. (2019) Vykorystannia karalnymy orhanamy SRSR ahenturno-boiovykh hrup v borotbi proty povstantsiv OUN na Bukovyni [The use of agent-combat groups by the USSR punitive authorities in the fight against the OUN insurgents in Bukovina]. Visnyk tsentru Bukovynoznavstva, no. 3, pp. 30 – 42. URL: [https://shron1.chtyvo.org.ua/Mustetsa\\_Vasyl/Vykorystannia\\_karalnymy\\_orhanamy\\_SRSR\\_ahenturno-boiovykh\\_hrup\\_v\\_borotbi\\_prot\\_yovstantsiv\\_OUN\\_na\\_Buk.pdf](https://shron1.chtyvo.org.ua/Mustetsa_Vasyl/Vykorystannia_karalnymy_orhanamy_SRSR_ahenturno-boiovykh_hrup_v_borotbi_prot_yovstantsiv_OUN_na_Buk.pdf). [in Ukrainian].
4. Horun O. (2023) Protodyiia vorozhii media-propahandi v umovakh pravovoho rezhymu viiskovoho stanu v Ukraini [Counteracting hostile media propaganda under the legal regime of martial law in Ukraine]. Informatsiia i pravo, no.1 (44), pp. 116 – 128. DOI: [https://doi.org/10.37750/2616-6798.2023.1\(44\).287772](https://doi.org/10.37750/2616-6798.2023.1(44).287772). [in Ukrainian].
5. (2020) YeS rozvinchav ponad visim tysiach kremlivskykh feikiv [The EU has debunked more than eight thousand Kremlin fakes]. Rada.gov.ua. URL: <https://www.rada.gov.ua/print/192178.html>. [in Ukrainian].
6. Ozel V., Pashynska D. (2023) Konstytutsiino-orhanizatsiini zasady protydyii rosiiskii propahandi v umovakh viiny [Constitutional and Organizational Principles of Countering Russian Propaganda in the Context of War]. Materialy Mizhnarodnoi nauko-vo-praktychnoi konferentsii “Konstytutsiini zasady protydyii rosiiskii propahandi v umovakh viiny”, pp. 132 – 135. DOI: <https://doi.org/10.32782/PPSS.2023.1.34> [in Ukrainian].
7. Semantic Force – tse omnikanalna platforma monitorynhu, analityky media ta obsluhovuvannia klientiv, shcho bazuietsia na peredovomu semantychnomu ta vizualnomu analizi [Semantic Force is an omnichannel media monitoring,

analytics, and customer service platform based on advanced semantic and visual analysis]. URL: [https://semanticforce.ai/ua?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwzIK1BhAuEiwAHQmU3uMdUhPvcVVcx8j7BKnpNYacaYluvSC9wjbo-wem7lx3JwiOwkkXYRoCz94QAvD\\_BwE](https://semanticforce.ai/ua?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzIK1BhAuEiwAHQmU3uMdUhPvcVVcx8j7BKnpNYacaYluvSC9wjbo-wem7lx3JwiOwkkXYRoCz94QAvD_BwE) [in Ukrainian].

8. Dopomahaemo otsinyty vashi komunikatsii [We help you evaluate your communications]. URL: <https://ecosap.media>. [in Ukrainian].

9. Otsiniuiemo zdorovia brendu z fokusom na rist biznes rezultatu [We assess the health of the brand with a focus on the growth of the business result]. URL: <https://uk.looqme.io>. [in Ukrainian].

10. Monitorynh sotsmedia z vizualnymy insaitamy [Social media monitoring with visual insights]. URL: <https://youscan.io/ua/>. [in Ukrainian].

11. Kontroliui ta koryhui informatsiiu pro sebe [Control and correct information about yourself]. URL: <https://attackindex.com/uk/golovna-attakindex/>. [in Ukrainian].

12. Kanarskyi V., Shypilova L. (2020) Publichno-upravlinski mekhanizmy protydivi informatsiinym zahrozam: yevropeyskyi dosvid [Public-management mechanisms for countering information threats: European experience]. Materialy shchorichnoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Ukraina 2030: publichne upravlinnia dlia staloho rozvytku", pp. 32 – 34. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Tetyana-Syvak/publication/349310794\\_STRATEGIC\\_COMMUNICATIONS\\_AS\\_THE\\_BASIS\\_OF\\_PUBLIC\\_ADMINISTRATION\\_PROCESS/links/602a195ea6fdcc37a829191d/STRATEGIC-COMMUNICATIONS-AS-THE-BASIS-OF-PUBLIC-ADMINISTRATION-PROCESS.pdf#page=32](https://www.researchgate.net/profile/Tetyana-Syvak/publication/349310794_STRATEGIC_COMMUNICATIONS_AS_THE_BASIS_OF_PUBLIC_ADMINISTRATION_PROCESS/links/602a195ea6fdcc37a829191d/STRATEGIC-COMMUNICATIONS-AS-THE-BASIS-OF-PUBLIC-ADMINISTRATION-PROCESS.pdf#page=32) [in Ukrainian].

13. Maksymets V., Vivsiana V. (2023) Spivrobotnytstvo Ukrainy ta NATO u protydivi destruktivnym informatsiinym vplyvam rosiiskoi federatsii (2022–2023 rr.) [NATO-Ukraine Cooperation in Countering Destructive Information Influences of the Russian Federation (2022-2023)]. Visnyk NTUU "KPI" Politolohiia. Sotsiolohiia. Pravo, no. 2 (58), pp. 74 – 80. DOI: [https://doi.org/10.20535/2308-5053.2023.2\(58\).285605](https://doi.org/10.20535/2308-5053.2023.2(58).285605). [in Ukrainian].

14. Kovalskyi S. (2023) Protydii rosiiskii dezinformatsii ta propahandi v ukrainskomu informatsiinomu prostori (na prykladi elektronnoho resursu tsentru protydivi dezinformatsii pry RNBO Ukrainy) [Countering Russian disinformation and propaganda in the Ukrainian information space (on the example of the electronic resource of the Center for Countering Disinformation at the NSDC of Ukraine)]. Dialoh: mediastudii, no. 9, pp. 96 – 108. DOI: <https://doi.org/10.18524/2308-3255.2023.29.300638>. [in Ukrainian].

15. Hurzhii S. (2023) Orhanizatsiino-tekhnicni ta kryminalno-pravovi osnovy protydivi rosiiskym botam v umovakh viiny [Organizational, Technical and Criminal Law Bases of Counteracting Russian Bots in the Context of War]. Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Ser.: Yurysprudentsiia, no. 64. DOI <https://doi.org/10.32841/2307-1745.2023.64.21>. [in Ukrainian].

16. Lavrov V., Dudatiev A. (2023) Informatsiina viina ta yii vplyv na kontent: metody otsinky ryzykiv ta shliakhy protydivi [Information Warfare and its Impact on Content: Risk Assessment Methods and Ways to Counteract]. Materialy VII Mizhnarodnoi naukova konferentsii "Problemni pytannia nauky ta problemy rozvytku", pp. 333 – 337. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2023/10/PROBLEMATIC-QUESTIONS-OF-SCIENCE-AND-PROBLEMS-OF-DEVELOPMENT.pdf#page=334>. [in Ukrainian].

17. Bernard Claverie, François du Cluzel. The Cognitive Warfare Concept. URL: [https://innovationhub-act.org/wp-content/uploads/2023/12/CW-article-Claverie-du-Cluzel-final\\_0.pdf](https://innovationhub-act.org/wp-content/uploads/2023/12/CW-article-Claverie-du-Cluzel-final_0.pdf). [in English].

18. Tzu-Chieh Hung, Tzu-Wei Hung. (2020) How China's Cognitive Warfare Works: A Frontline Perspective of Taiwan's Anti-Disinformation Wars. Journal of Global Security Studies, no. 4 (7), pp. 1 – 18. DOI: <https://doi.org/10.1093/jogss/ogac016>. [in English].

19. Kobets T. (2023) Osnovni pidkhody do rozuminnia "kohnityvna bezpeka" v suchasni nautsi: politychni ta informatsiinyi aspekt [The main approaches to understanding "cognitive security" in modern science: political and informational aspects.]. Visnyk Lvivskoho universytetu, no. 49, pp. 278 – 285. DOI: <https://doi.org/10.30970/PPS.2023.49.34>. [in Ukrainian].

О. В. ПОЛОВЦЕВ

доктор наук з державного управління, професор,  
професор кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-4736-6133

## ОРГАНІЗАЦІЯ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ: ОЦІНКА МОДЕЛЕЙ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ ЩОДО ДЕОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

*Робота присвячена системній оцінці наукового підґрунтя, моделей та форм управління деокупованими територіями, формування прогнозів щодо їх суспільно-політичних перспектив, подальшої модернізації та вдосконалення.*

*В роботі досліджено сучасну державну територіальну політику при деокупації територій та організації повоєнного відновлення. Виокремлено, як об'єкт дослідження, альтернативні моделі управління деокупованими територіями.*

*На основі системного підходу охарактеризовано основні проблеми реалізації кожної з моделей, що розглядаються, зроблено акцент на їх відповідності сучасним умовам та законодавчим нормам, кореляційному зв'язку з адаптивними спроможностями суб'єктів публічного управління та адміністрування. В ході оцінки моделей особливу увагу приділено дослідженню питання про адаптацію до змін у складі населення та економічній структурі деокупованих територій адміністративно-територіального устрою нижчих рівнів.*

*Зроблено висновок, на основі аналізу результатів практичної діяльності органів публічної влади, щодо умовного моделювання трьох варіантів розвитку адміністративно-територіального устрою постраждалих територій. Проведено аналіз кожного з окреслених варіантів та зроблено висновки щодо їх суспільно-політичних перспектив.*

*На основі загальної оцінки процесів повоєнного відновлення, зроблено висновки щодо вкрай обмеженого досвіду України відбудови територій, які постраждали внаслідок бойових дій.*

*Запропоновано науково обґрунтовані підходи щодо формування оптимальної державної політики повоєнного відновлення деокупованих територій на основі проведеної в роботі оцінки існуючих моделей. Визначено цільові орієнтири зазначених вище підходів та їх адаптації в практичну діяльність публічної влади. Окреслено напрями наукового пошуку та подальших досліджень.*

**Ключові слова:** повоєнне відновлення, публічна влада, державна територіальна політика, органи громадського самоврядування, органи місцевого самоврядування, модель, публічне управління та адміністрування.

O. V. POLOVTSEV

Doctor of Science in Public Administration, Professor,  
Professor at the Department of Public Administration and Local Government  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-4736-6133

## ORGANIZATION FOR POST-WAR RECONSTRUCTION OF UKRAINE: ASSESSMENT OF STATE POLICY MODELS REGARDING DEOCCUPIED TERRITORIES

*The work is devoted to the formation of a systematic assessment of the scientific basis, models and forms of management of de-occupied territories, the formation of forecasts regarding their social and political prospects, further modernization and improvement.*

*The paper examines the modern state territorial policy during the de-occupation of territories and the organization of post-war reconstruction. Alternative models of management of de-occupied territories are singled out as an object of research.*

*On the basis of a systemic approach, the main problems of the implementation of each of the considered models are characterized, emphasis is placed on their compliance with modern conditions and legislative norms, correlation with the adaptive capabilities of subjects of public management and administration. During the evaluation of the models, special attention was paid to the study of the issue of adaptation to changes in the composition of the population and the economic structure of the de-occupied territories of the administrative-territorial system of lower levels.*

*Based on the analysis of the results of the practical activities of public authorities, a conclusion was made regarding conditional modeling of three options for the development of the administrative-territorial system of the affected territories.*

*An analysis of each of the outlined options was carried out and conclusions were made regarding their socio-political perspectives.*

*On the basis of a general assessment of post-war recovery processes, conclusions are made regarding the extremely limited experience of Ukraine in the reconstruction of territories affected by hostilities.*



*Scientifically based approaches to the formation of the optimal state policy for the post-war restoration of de-occupied territories are proposed on the basis of the assessment of existing models carried out in the work. The target orientations of the above-mentioned approaches and their adaptation in the practical activity of public authorities have been determined. The directions of scientific research and further research are outlined.*

**Key words:** *post-war reconstruction, public power, state territorial policy, public self-government bodies, local self-government bodies, model, public management and administration.*

### Постановка проблеми

Здобувши перемогу, Україна постане перед безпрецедентним викликом: у максимально стислі терміни відновити можливості забезпечувати гідне якісне життя людей на основі ефективної реалізації національного людського, природно ресурсного, економічного потенціалу. Окрім того, проблеми повоєнного відновлення територій безпосередньо пов'язані з організацією економічних процесів на місцевому рівні, що, безумовно, підкреслює значущість питання правильного вибору науково обґрунтованих методів, інструментів і важелів щодо організації політичних процесів життєдіяльності територій на різних рівнях публічного управління.

Державна регіональна політика на деокупованих територіях має комплексно враховувати особливості сучасного стану деокупованих територій та вимоги міжнародних стандартів у побудові мирного життя. Наявний досвід управління деокупованими територіями Харківської та Херсонської областей дає змогу зробити аналіз певних моделей та форм управління деокупованими територіями України та сформуванню прогноз щодо їх вдосконалення, модернізації та подальшого використання в повоєнній політичній практиці.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження світового та українського досвіду діяльності публічної влади виявляє, що особливістю визначеного напрямку і тематики є те, що вони знаходяться на перехресті публічно-управлінських та політичних наук, що породжує проблеми досконалого наукового пошуку і дослідження проблематики.

Як показує проведений науковий пошук більшість досліджень з цього та споріднених напрямків [1] присвячена побудові вузькоадаптивних цільових моделей з чітко визначеними якісними і кількісними параметрами відносно суб'єктів та об'єктів управління, специфіки задач повоєнного відновлення [2], особливостей політичного та громадського устрою, попередньої практики публічно-управлінської та державотворчої діяльності тощо. Використання цього, здебільшого світового досвіду [3, 4], знаходиться у площині адаптації окремих інструментів повоєнного відновлення до специфічних реалій України та побудові на основі них власних моделей повоєнного відновлення з урахуванням внутрішніх та зовнішніх факторів впливу на ці процеси. Тому досвід створення подібних моделей в національному просторі, моніторинг і оцінка їх використання має бути основою для подальшої модернізації та вдосконалення одночасно з удосконалення усіх механізмів публічного управління.

### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є системна оцінка наукового підґрунтя, моделей та форм управління деокупованими територіями та формування прогнозів щодо їх суспільно-політичних перспектив.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Пріоритети, щодо повоєнного відновлення України формуються на рівні усіх суб'єктів даного процесу. До сфер зазначених пріоритетів відносяться як специфічні так і загальні напрями. Системного підходу, який би дозволив побудувати оптимальну модель повоєнного відновлення, в першу чергу на деокупованих територіях, та здійснити групування пріоритетів за напрямками, об'єднавши різні джерела ресурсів повоєнного відновлення, на даний момент не існує. На рівні української влади декларуються підходи, щодо визначення пріоритетів повоєнного відновлення але чітка їх фіксація в нормативно-правовому полі на даний час відсутня. Тому, аналіз та оцінку існуючих підходів і моделей повоєнного відновлення доцільно робити за конкретними акторами діючих проєктів. Державна територіальна політика при деокупації територій та організації повоєнного відновлення має враховувати специфічні фактори певних територій та обставини, що визначають їхнє існування. Це зумовлює зваженість наукових підходів при виборі інструментів повоєнного відновлення на деокупованих територіях. В першу чергу – рішення щодо застосування тієї чи іншої моделі мають ухвалювати не знелюднілі громади з порушеною соціально-економічною структурою, а місцеві органи державної влади. По-друге – удосконалене законодавство має передбачати застосування наступних альтернативних моделей управління деокупованими територіями [5]:

I. Відновлення повноважень органів місцевого самоврядування, обраних до повномасштабного російського вторгнення.

Такий варіант може бути залучено в разі наполягання з боку органів Ради Європи або Європейського Союзу. Для цього до законодавства треба внести зміну, яка б надала Верховній Раді України можливість ухвалити постанову про поновлення роботи органу місцевого самоврядування незалежно від припинення або скасування правового режиму воєнного стану.

Для цього треба внести до законодавства України зміни щодо можливості повернутися до скасування правового режиму воєнного стану органам місцевого самоврядування повноважень, які на підставі постанови

Верховної Ради України виконує голова військової адміністрації населеного пункту. Ініціативу про таке рішення (з наведеним обґрунтуванням) має вносити Президенту України начальник обласної військової адміністрації. На підставі такого обґрунтування Глава держави матиме можливість вносити до Верховної Ради України Проект постанови про повернення органів місцевого самоврядування територіальної громади повноважень.

II. Розпуск (дострокове припинення повноважень) органів місцевого самоврядування на деокупованих територіях доцільний у таких випадках:

– якщо орган під час окупації приймав рішення з порушенням Конституції України, Законів України, прав і свобод громадян;

– якщо місцева рада втратила повноважність через припинення повноважень депутатів, у тому числі через мобілізацію, набуття чинності обвинувальних вироків або – у разі ухвалення відповідного законодавства – через належність до політичних партій, діяльність яких припинено в судовому порядку. В останньому разі йдеться про можливе прийняття законопроекту «Про внесення змін до деяких законів України щодо наслідків ухвалення судом рішення про заборону політичної партії для статусу депутатів місцевих рад» (№ 7476 від 20.06.2022);

– якщо факт перебування не менш як половини депутатів ради на території України не може бути підтверджено.

Крім того, недоцільним є відновлення функціонування місцевих рад, якщо термін їхніх повноважень спливає на момент припинення повноважень військової адміністрації населеного пункту, але його повноваження не було повернуто після прийняття постанови про їх виконання головою військової адміністрації населеного пункту.

У такому разі треба передбачити особливий спосіб дострокового припинення повноважень органів місцевого самоврядування в період дії правового режиму воєнного стану.

III. Збереження особливого режиму управління на деокупованих територіях після скасування режиму воєнного стану понад один місяць.

До всього варто враховувати ситуації, за яких:

а) відновлення повноцінного місцевого самоврядування неможливе навіть після скасування правового режиму воєнного стану;

б) реінтеграція та відновлення деокупованих територій відбуватиметься за участі посередників з-поміж міжнародних організацій. У цьому контексті варто зауважити, що українське законодавство (а саме пункт 1 частини першої статті 78 Закону України «Про місцеве самоврядування») передбачає, що місцева рада має ще й проігнорувати вимоги компетентних органів про приведення цих протиправних рішень у відповідність із законом.

З цих міркувань у законодавстві треба передбачити такі два варіанти [5].

1. Набуття військовою адміністрацією населеного пункту статусу військово-цивільної адміністрації після спливання терміну її повноважень (30-денного періоду після скасування або припинення воєнного стану). Така військово-цивільна адміністрація повинна здійснювати повноваження до відкриття сесії міської, селищної, сільської ради нового скликання, обраної після скасування воєнного стану.

Для регламентації умов, за яких може бути проведено місцеві вибори, доцільним є використання деяких положень з відкликаною напередодні повномасштабного російського вторгнення законопроекту «Про засади державної політики перехідного періоду» (№ 5844 від 09.08.2021).

2. Можливість утворення міжнародних адміністрацій для управління окремими деокупованими територіями відповідно до міжнародних договорів України. Згаданий варіант може бути залучено в разі, якщо війна з РФ закінчиться мирною угодою, одним зі складників якої буде питання таких адміністрацій.

Відтак доцільно встановити належні умови для їх утворення та функціонування, а саме:

– міжнародні адміністрації для окремих деокупованих територій може бути утворено лише під егідою міжнародних організацій – Організації Об'єднаних Націй (ООН) або Організації з безпеки і співробітництва в Європі (ОБСЄ);

– адміністрації мають функціонувати на відповідних територіях паралельно з органами державної влади України або органами місцевого самоврядування;

– до їхнього складу не повинні входити громадяни держави-агресора, а також особи – громадяни інших держав, які підтримували російську агресію або співпрацювали з владою окупованих територій (наприклад, брали участь у незаконних «виборах» та «референдумах»).

У найближчій перспективі може постати питання про адаптацію до змін у складі населення та економічній структурі деокупованих територій адміністративно-територіального устрою нижчих рівнів, що регулюється Законами.

Адміністративно-територіальний устрій України протягом 2015–2021 рр. реформовано на основі Методики формування спроможних територіальних громад, яка затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 8 квітня 2015 р. і неодноразово зазнавала змін.

Спроможність проєктованої громади визначали за сумою 5 критеріїв [6]:

1) чисельності населення, що постійно проживає на території спроможної територіальної громади;

2) чисельності учнів, що здобувають освіту в закладах загальної середньої освіти, розташованих на території спроможної територіальної громади;

- 3) площі території спроможної територіальної громади;
- 4) індексу податкоспроможності бюджету спроможної територіальної громади;
- 5) частки місцевих податків та зборів у доходах бюджету спроможної територіальної громади.

Найвідчутнішим наслідком бойових дій на деокупованих територіях стало скорочення населення внаслідок міграційних процесів. Специфічним чинником зменшення населення на деокупованих територіях Херсонської області може виявитися підрив Каховської ГЕС улітку 2023 р. та зникнення Каховського водосховища. Це може мати додаткові довготривалі наслідки: непридатність земель сільськогосподарського призначення внаслідок втрати меліоративної інфраструктури; дефіцит питної води, якою низка територій забезпечувалася шляхом використання втраченого Каховського водосховища.

Особливо гостро проблема втрати населення стосується тих громад, що розташовані поблизу лінії фронту або державного кордону і зазнають систематичних обстрілів. Так, наприклад, у м. Херсоні на початок 2024 р., залишалося лише близько 20 % довоєнних мешканців [7].

Скорочення населення означатиме зменшення показника спроможності громад принаймні за першим із зазначених критеріїв, а також за другим (кількість учнів). Руйнування промислових підприємств та інфраструктури, пошкодження земель сільськогосподарського призначення зменшують показники спроможності громади за фінансовими критеріями – 4-м і 5-м (індексом податкоспроможності місцевих бюджетів та часткою власних доходів у їхній дохідній частині). Зазначені економічні чинники відповідно також непрямо можуть зумовити посилення міграційного настрою.

Таким чином, зараз можна досить умовно змоделювати 3 варіанти розвитку адміністративно-територіального устрою постраждалих територій.

1. Збереження адміністративно-територіального поділу при коригуванні критеріїв спроможності громад. Формальне послаблення критеріїв спроможності громад не означає збереження їхньої реальної спроможності реалізувати повноваження з надання соціальних послуг жителям. Треба враховувати також вплив руйнувань економічного потенціалу, що негативно позначатиметься на економічних показниках, насамперед – на індексі податкоспроможності бюджету громади. Тому цей варіант вимагатиме коригування деяких критеріїв для виділення горизонтальних базових дотацій на основі індексу податкоспроможності бюджетів громад (орієнтовно в бік зниження). Практично це означатиме повернення до ситуації з високою часткою дотаційних громад та посилення бюджетної централізації.

2. Збільшення територіальних громад. Реалізація цього варіанта передбачатиме такі етапи:

– проведення нового оцінювання наявної спроможності громад на основі чинної Методики – не раніше, ніж через рік після деокупації;

– моделювання нових меж територіальних громад, які забезпечували б високий або середній рівень їхньої спроможності, та розроблення нових перспективних планів об'єднання територіальних громад. Орієнтовна тривалість – рік після завершення попереднього етапу (оцінювання);

– власне утворення нових об'єднаних територіальних громад – протягом 2 років після завершення попереднього етапу.

Практично за такого варіанту відновлення спроможності громад відбудеться шляхом збільшення показника за першими 3 критеріями – кількості населення та учнів, а також площі. Однак у разі істотного руйнування економічної бази збільшення населення громади зовсім не обов'язково забезпечуватиме досягнення макрофінансових критеріїв, потрібних для визнання її високо- або середньоспроможною. Понад те, може постати необхідність переглянути деякі критерії для визначення потенційних центрів територіальних громад (зокрема їхньої доступності). Так, деякі населені пункти, що входять до складу збільшених громад, будуть розташовані від їхніх адміністративних центрів на відстані, що перевищуватиме граничний показник у 20–25 км, встановлений Концепцією реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні. На практиці це означатиме погіршення надання деяких важливих соціальних послуг: наприклад, час прибуття для надання швидкої медичної допомоги в невідкладних випадках та пожежної допомоги перевищуватиме відведений норматив у 20 хвилин.

3. Перерозподіл повноважень органів місцевого самоврядування за рівнями адміністративно-територіального устрою. Цей варіант передбачає встановлення механізму делегування громадами з низьким рівнем спроможності своїх повноважень (зокрема щодо відбудови, будівництва, утримання об'єктів комунальної власності) органам місцевого самоврядування вищого рівня – зокрема, районним радам. Такий перерозподіл значною мірою суперечитиме політиці децентралізації, яку проводили останні кілька років. Це може бути негативно сприйнято закордонними партнерами-донорами, які при фінансуванні відновлювальних проєктів надають перевагу співпраці з органами місцевого самоврядування. З іншого боку, на деокупованих територіях до скасування воєнного стану малоімовірно відновлення повного місцевого самоврядування. Після їх деокупації владу там здійснюють і здійснюватимуть аж до скасування воєнного стану військові адміністрації населених пунктів.

### Висновки

Україна має вкрай обмежений досвід відбудови територій, які постраждали внаслідок бойових дій. Наразі він зводився передусім до відновлення житлового фонду, об'єктів соціальної та критичної інфраструктури й повернення органів місцевого самоврядування в ті приміщення, які вони були змушені покинути під час нетривалої окупації. Проте поки що складно уявити, з чим доведеться стикнутися після деокупації лівобережжя Херсонської чи Запорізької областей, уже не кажучи про Крим, Луганську й Донецьку області.

Без сумніву, держава повинна забезпечити належну координацію цього процесу. Затвердження Порядку визначення шкоди та збитків, завданих Україні внаслідок збройної агресії російської федерації і минулорічний початок роботи Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури є правильними кроками. Так само логічно за основу відбудови взято принцип «Build back better». Він має слугувати головним ціннісним та методологічним орієнтиром під час випрацювання Програми відбудови України та відповідного плану дій. Розроблення цих документів ведеться на рівні Кабінету Міністрів України. Опісля аналогічну роботу проведуть обласні ради й обласні військові адміністрації.

Проте хоч би на якому рівні не здійснювали керівництво відбудовою і незалежно від її масштабів, потрібно враховувати думку громадян у питаннях повоєнного облаштування відновлених громад. Найпередовіший досвід інших держав у відновленні після стихійних лих і техногенних катастроф може виявитися не релевантним для України, проте варто погодитися, що думка місцевого населення стає рушійною силою відродження спроможних громад.

### Список використаної літератури

1. Хто керуватиме громадами на деокупованих територіях?. LB.ua. URL: [https://lb.ua/blog/lzi/542100\\_ho\\_keruvatime\\_gromadami.html](https://lb.ua/blog/lzi/542100_ho_keruvatime_gromadami.html).
2. Пріоритети розвитку реального сектора в умовах війни та повоєнного відновлення економіки України : аналіт. доп. / [О. В. Собкевич, А. В. Шевченко, В. М. Русан та ін.] ; за загальн. ред. Я. А. Жаліла. Київ : НІСД, 2024. 104 с. <https://doi.org/10.53679/NISSanalytrep.2024.03>
3. Simon Herbert A. Administrative behavior: A study of decision-making processes in administrative organizations / Herbert A. Simon. 4th ed. The Free Press, NY, 1997. 368 p.
4. Sprague R.H. A Framework for Research on Decision Support Systems / R.H. Sprague // In: Decision Support Systems: Issues and Challenges. Proceeding of a International Task Force Meeting. Laxenburg: IIASA, 1980. P. 5-22.
5. Управління деокупованими територіями Харківської та Херсонської областей: досвід першого року: аналіт. доп. / Нац. ін-т стратег. дослідж. ; [ред. В. Г. Потапенко]. К.: НІСД, 2023. 48 с.
6. Служба новин. Овочеховищ в Україні бракує. Агрополіт – гаряча агрополітика. URL: <https://agropolit.com/news/27142-ukrayinski-agrariyi-ne-mojut-zibrati-ves-vrojaj-ovochiv-cherez-brak-shovisch--ekspert>.
7. Виробництво та споживання металопрокату в Україні за 9 місяців 2023 р. Укрметалургпром. URL: <https://www.ukrmetprom.org/virobnictvo-ta-spozhivannya-metalopro-25/>.

### References

1. LB.ua. (2023). Who will manage the communities in the deoccupied territories? URL: [https://lb.ua/blog/lzi/542100\\_ho\\_keruvatime\\_gromadami.html](https://lb.ua/blog/lzi/542100_ho_keruvatime_gromadami.html) (in Ukrainian)
2. Sobkevych O. V., Shevchenko A. V., Rusan V. M. (2024). Priorityty rozvytku real'noho sektora v umovakh viyny ta povoyennoho vidnovlennya ekonomiky Ukrainy [Priorities of the development of the real sector in the conditions of war and post-war recovery of the economy of Ukraine]. Kyiv: NISD. 104 p. URL: <https://doi.org/10.53679/NISSanalytrep.2024.03> (in Ukrainian)
3. Simon Herbert A. (1997). Administrative behavior: A study of decision-making processes in administrative organizations / 4th ed. The Free Press, NY. 368 p. (in English)
4. Sprague R.H. (1980). A Framework for Research on Decision Support Systems. In: Decision Support Systems: Issues and Challenges. Proceeding of a International Task Force Meeting. Laxenburg: IIASA. P. 5-22. (in English)
5. Potapenko V. H. (2023). Upravlinnya deokupovanymy terytoriyamy Kharkivs'koyi ta Khersons'koyi oblastey: dosvid pershoho roku. [Management of de-occupied territories of Kharkiv and Kherson regions: experience of the first year]. Kyiv: NISD. 48 p. (in Ukrainian)
6. Agropolit – hot agricultural politics. (2023). There is a shortage of vegetable storage facilities in Ukraine. URL: <https://agropolit.com/news/27142-ukrayinski-agrariyi-ne-mojut-zibrati-ves-vrojaj-ovochiv-cherez-brak-shovisch--ekspert>. (in Ukrainian)
7. Ukrmetalurgprom. (2023). Production and consumption of rolled metal in Ukraine for 9 months of 2023. URL: <https://www.ukrmetprom.org/virobnictvo-ta-spozhivannya-metalopro-25/> (in Ukrainian)

В. Д. ФІЛІПОВА

доктор наук з державного управління, професор  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8476-3341

## СТРАТЕГІЧНИЙ МЕХАНІЗМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

*Стаття присвячена теоретичному осмисленню питання забезпечення національної безпеки. Авторкою доведено, що система національної безпеки є складним і багаторівневим механізмом, який дозволяє державі ефективно впроваджувати свою політику в цій вирішальній сфері. Доведено, що вона не тільки виступає базисом для досягнення національних інтересів, а й перетворює стратегічні рішення у злагоджену взаємодію всіх залучених учасників. Проаналізовано різні стратегії національної безпеки, які є офіційно визнаною системою політико-організаційних заходів, що розкривають механізм (механізми) практичної реалізації теоретичних положень, закріплених у концепції національної безпеки. Обґрунтовано, що реалізації її завдань сприятиме стратегічний механізм забезпечення національної безпеки, який вбачається комплексною системою взаємопов'язаних елементів, що функціонують злагоджено та цілеспрямовано для досягнення стану захищеності національних інтересів від внутрішніх та зовнішніх загроз. Визначено, що головною метою стратегічного механізму забезпечення національної безпеки є комплексна гарантія незалежності, територіальної цілісності та непорушності державних кордонів. Серед найважливіших особливостей стратегічного механізму виділено низку ключових характеристик, які визначають його сутність та ефективність, а саме: стратегічний підхід, системний характер, динамічність і багатовимірна комплексність, що дозволяють йому ефективно функціонувати та відповідати сучасним викликам. Визначено, що кожен із цих елементів є невід'ємною складовою єдиної системи забезпечення національної безпеки. Їх синергія створює необхідні умови для ефективної протидії загрозам і забезпечує стабільний розвиток держави.*

**Ключові слова:** національна безпека, нормативно-правове забезпечення, державне регулювання, стратегія, механізми, публічне управління, державна політика, обороноздатність, державна безпека.

V. D. FILIPPOVA

Doctor of Public Administration, Professor  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8476-3341

## STRATEGIC MECHANISM FOR ENSURING NATIONAL SECURITY

*The article is devoted to the theoretical comprehension of the issue of national security provision. The author has proven that the national security system is a complex and multi-level mechanism that enables the state to effectively implement its policy in this critical area. It has been demonstrated that it not only serves as the foundation for achieving national interests but also transforms strategic decisions into coordinated interaction among all involved participants. Various national security strategies, officially recognized as a system of political and organizational measures, have been analyzed, revealing the mechanism(s) for the practical implementation of theoretical provisions enshrined in the concept of national security. It has been substantiated that the strategic mechanism for ensuring national security, seen as a comprehensive system of interconnected elements functioning harmoniously and purposefully, contributes to achieving a state of protection for national interests against internal and external threats. It has been determined that the primary goal of the strategic mechanism for ensuring national security is to provide a comprehensive guarantee of independence, territorial integrity, and the inviolability of state borders. Among the most important features of the strategic mechanism, a number of key characteristics have been highlighted that define its essence and effectiveness, namely: a strategic approach, a systemic nature, dynamism, and multidimensional complexity, which allow it to function effectively and respond to modern challenges. It has been established that each of these elements is an integral component of the unified national security provision system. Their synergy creates the necessary conditions for effectively countering threats and ensuring the stable development of the state.*

**Key words:** national security, regulatory support, state regulation, strategy, mechanisms, public administration, state policy, defense capability, state security.

### Постановка проблеми

У сучасних реаліях питання забезпечення національної безпеки набуло особливого значення, займаючи провідні позиції не лише у практиці глобальної політики, але й у сфері наукових досліджень. Особливу увагу ця проблематика отримує в галузі публічного управління та адміністрування, адже вона безпосередньо торкається основних аспектів функціонування суспільства та держави. Актуальність цієї тематики проявляється на всіх

рівнях влади – від локального до центрального – і охоплює як наукові, так і суспільні дискусії. Подібна значущість обумовлена тим, що сучасне життя окремої особистості, соціальних груп, держав та всієї світової спільноти в цілому супроводжується численними загрозами та викликами. Ці небезпеки не лише створюють суттєві ризики для стабільного й безпечного існування, але й негативно впливають на динаміку економічного зростання, що є фундаментально важливим для розвитку будь-якої країни й планетарної спільноти.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Дослідженню та аналізу питання національної безпеки присвячено велику кількість наукових праць. Так, вивченням державної політики в галузі національної безпеки займаються такі науковці, як О. Пархоменко-Куцевіл, О. Акімов, Р. Плющ, О. Проніна, І. Лопушинський, Х. Маркович, С. Майстро, Р. Штеба та ін. Утім, не зважаючи на значну увагу науковців, питання забезпечення національної безпеки вимагає подальшого вивчення.

#### **Формування мети дослідження**

Виходячи зі сказаного вище, метою нашого дослідження є теоретичне осмислення стратегічного механізму забезпечення національної безпеки як складової державної політики в галузі національної безпеки України.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Сучасні дослідження доводять, що сьогодні кожна держава постає перед масштабним і багатоаспектним завданням, яке зводиться до ефективного забезпечення національної безпеки в межах своєї території. Ця мета є комплексною і нерозривно пов'язаною із реалізацією національної ідеї, захистом фундаментальних національних інтересів, а також із гарантуванням прав та свобод кожної окремої людини та громадянина. У нинішніх умовах світового розвитку важливість цього питання лише зростає, адже боротьба за безпеку вимагає врахування не лише внутрішніх аспектів, але й впливу зовнішніх факторів. Сучасний світ стикається з новими викликами в сфері безпеки, такими як глобалізація, посилення міжнародних конфліктів, економічні кризи та інформаційні загрози, що потребують особливої уваги та адаптивних підходів. Саме тому сьогодні формування та підтримання належного рівня національної безпеки базується на комплексному аналізі цих сучасних ризиків, а також на пошуку ефективних механізмів для їх нейтралізації і запобігання.

Наукове поняття «національна безпека» являє собою складну та багатогранну категорію, яка інтегрує в собі широкий спектр напрямів, пов'язаних із реалізацією політики, спрямованої на забезпечення захищеності держави. Вона охоплює не лише військовий аспект, а й економічний, соціальний, інформаційний, екологічний та багато інших вимірів, які є невід'ємними складовими формування загальної стратегії безпеки.

Протягом тривалого часу у сфері теоретичного осмислення і практичного застосування було загальноприйнятого розмежування двох ключових напрямів, в яких формування набору засобів запобігання викликам і загрозам глобального розвитку відбувалося різними шляхами. Перший із цих напрямів, умовно званий внутрішньою безпекою, орієнтувався на протидію тим небезпекам, що виникають у межах держави, здатним становити загрозу для життя окремої людини або ж підірвати основи суспільного ладу. Як правило, в цій площині велику увагу приділяли кримінальним аспектам, що потребували відповідних заходів реагування. Другий напрям – це сфера зовнішньої безпеки, яка фокусувалася на визначенні й нейтралізації ризиків та викликів, що походять від міжнародного середовища. З огляду на таку специфіку, масштаби завдань цієї сфери переважно охоплювали захист державного суверенітету, територіальної цілісності та національних інтересів країни. Для досягнення цієї мети застосовувалися спеціалізовані інструменти й механізми, розроблені саме для забезпечення стійкості держави у динамічному та непередбачуваному геополітичному просторі [1].

При цьому варто звернути увагу на те, що в залежності від застосованих підходів до класифікації, можна визначити значну кількість видів безпеки, кожен з яких має свої особливості та сфери реалізації. Наприклад, якщо розглядати безпеку через призму суб'єкта, то серед основних категорій виділяють безпеку особистості, яка стосується прав і свобод окремої людини; безпеку суспільства, спрямовану на підтримку стабільності та гармонії у соціальному середовищі; а також безпеку держави, що охоплює захист її суверенітету, територіальної цілісності і правової системи. Якщо ж класифікувати за рівнями, то можна говорити про місцевий рівень, що охоплює певні громади чи території; національний рівень, пов'язаний із масштабними інтересами держави; регіональний рівень, який охоплює взаємодію кількох країн у межах певного регіону; і глобальний рівень, що стосується загальносвітових викликів і проблем. Залежно від сфери впливу, безпека може проявлятися у політичній площині, забезпечуючи стабільність влади та міжнародні відносини; в економічній – з акцентом на фінансову стабільність та захист ресурсів; соціальній – спрямованій на гармонізацію відносин між різними групами населення; духовній – яка включає збереження моральних та культурних цінностей; інформаційній – з акцентом на захист персональних даних, інформаційних систем і міцність кіберпростору; а також в інших сферах, важливих для життєздатності суспільства й держави.

Система забезпечення національної безпеки являє собою складний і багатогранний механізм, завдяки якому держава має змогу ефективно реалізовувати свою політику у цій важливій сфері. Цей механізм не лише формує основу реалізації національних інтересів, але й перетворює стратегічні рішення у чітко скоординовану діяльність усіх залучених сторін. До цієї діяльності входять державні установи, громадські організації, а також безпосередньо

громадяни, які взаємодіють на принципах законності та в межах чинного законодавства, тим самим забезпечуючи стабільність, захищеність та розвиток країни.

Значну й невід'ємну роль у вдосконаленні механізмів формування та ефективного впровадження рішень у сфері забезпечення національної безпеки відіграють правлячі еліти. Важливими складовими цього процесу є якісні характеристики та чисельний склад політичних команд і керівників держави, а також високий рівень розвитку громадянського суспільства, якого досягають завдяки активній взаємодії різних соціальних інститутів. Усе це утворює комплексну систему, забезпечуючи загальнодержавну стабільність та стійкість перед викликами сучасності.

Потреба у глибокому та всебічному аналізі наявних параметрів сучасного глобального розвитку вимагає розроблення і впровадження довгострокових стратегій, спрямованих на соціальний прогрес, що базується на принципах забезпечення безпеки. Це передбачає використання цільових механізмів державної політики, орієнтованих на ефективне забезпечення національної безпеки, які враховують як внутрішні, так і зовнішні виклики, адаптуючись до динамічних змін у глобальному середовищі.

Ми погоджуємося з думкою вчених, що механізм формування та реалізації державної політики у сфері забезпечення національної безпеки являє собою сукупність принципів, форм, методів, інструментів, засобів, важелів, стимулів та способів (правила) їх застосування суб'єктом по відношенню до об'єкта з метою забезпечення державного суверенітету, незалежності та територіальної цілісності країни, її сталого (соціально-економічного на екологічних засадах) розвитку, підвищення добробуту населення [2]. На нашу думку, це завдання допомагає розв'язати Стратегія національної безпеки, яка є офіційно визнаною системою політико-організаційних заходів, що розкривають механізм (механізми) практичної реалізації теоретичних положень, закріплених у концепції національної безпеки [3].

Слід зазначити, що відповідно до ст. 1 Закону України «Про національну безпеку України» Стратегія національної безпеки України (далі – Стратегія) – документ, що визначає актуальні загрози національній безпеці України та відповідні цілі, завдання, механізми захисту національних інтересів України та є основою для планування і реалізації державної політики у сфері національної безпеки [4]. Головною метою Стратегії є забезпечення такого рівня національної безпеки, який би гарантував поступальний розвиток України, її конкурентоспроможність, забезпечення прав і свобод людини і громадянина, подальше зміцнення міжнародних позицій та авторитету Української держави у сучасному світі.

Першу Стратегію було офіційно затверджено указом Президента України у 2007 році. Її розробка та подальша реалізація ґрунтувалися на міцній правовій базі, до якої увійшли найважливіші нормативно-правові акти держави, зокрема Конституція України, Закон України «Про основи національної безпеки України», а також інші закони й нормативні документи. Крім того, вагомою частиною її основи стали міжнародні угоди, ратифіковані на той час Верховною Радою України. Усі ці джерела спільно визначали ключові принципи й засади формування та реалізації державної політики у сфері забезпечення національної безпеки, які відповідали потребам того періоду розвитку країни [5]. У 2012 році відбулося ухвалення другої редакції Стратегії національної безпеки України, яка, фактично, стала модернізованою та доповненою версією документа від 2007 року. Згідно з указом Президента України до чинної Стратегії було внесено суттєві зміни та уточнення. Відповідно до цього рішення, Рада національної безпеки і оборони схвалила проект оновленої редакції Стратегії під назвою «Україна у світі, що змінюється», яка враховувала нові виклики та змінну глобальну динаміку. Змінені положення стали відповіддю на актуальні геополітичні і внутрішньодержавні реалії, відображаючи прагнення України ефективніше адаптуватись до умов сучасного світу [6]. У жовтні 2014 року Президент України ухвалив розпорядження, яке передбачало підготовку проекту позачергового Послання Президента України до Верховної Ради України. Цей документ мав бути присвячений аналізу внутрішнього і зовнішнього становища держави у контексті забезпечення національної безпеки. У рамках цього процесу було поставлено завдання розробити нову Стратегію національної безпеки України, яка відповідала б актуальним викликам та загрозам [7]. Як результат, 2015 року було затверджено вже третю за рахунком Стратегію національної безпеки України [8]. Розробка цього стратегічно важливого документа спиралася на рекомендації Ради національної безпеки і оборони України, яка раніше ухвалила рішення «Про Стратегію національної безпеки України» [9]. Далі була прийнята Стратегія національної безпеки України під назвою «Безпека людини – безпека країни», яка була затверджена Указом Президента України 2020 року [10]. Ця Стратегія визначає нові підходи до забезпечення державної безпеки, зосереджуючи увагу на пріоритетності захисту життя і добробуту кожної людини як основи для зміцнення безпеки всієї країни. Нарешті, у 2022 році Указом Президента введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 30 грудня 2021 року «Про Стратегію забезпечення державної безпеки» і затверджено Стратегію забезпечення державної безпеки [11]. Стратегія забезпечення державної безпеки визначає реальні й потенційні загрози державній безпеці України, напрями та завдання державної політики у сфері державної безпеки, є основою для планування і реалізації політики у сфері державної безпеки. Реалізація положень Стратегії здійснюватиметься на плановій основі на період до 2025 року [11].

При цьому варто звернути увагу, що Стратегія національної безпеки України виступає фундаментом для створення та впровадження низки інших стратегічних документів, метою яких є забезпечення комплексного підходу до гарантування безпеки та сталого розвитку держави [12]. Ця стратегія визначає основоположні принципи та напрями, які стають базою для розробки більш спеціалізованих планів і програм. Зокрема, у рамках її реалізації передбачено формування таких ключових документів, як Стратегія людського розвитку, яка спрямована на підвищення якості та тривалості життя громадян; Стратегія воєнної безпеки України, покликана забезпечити обороноздатність країни в умовах зовнішніх і внутрішніх загроз; Стратегія громадської безпеки та цивільного захисту України, яка фокусується на захисті населення від надзвичайних ситуацій та впорядкуванні суспільних ризиків. Додатково, з метою зміцнення економічної стійкості, передбачається реалізація таких ініціатив, як Стратегія розвитку оборонно-промислового комплексу України та Стратегія економічної безпеки, що включають заходи для забезпечення сталого виробництва та захисту економічних інтересів країни. У галузі енергетики та екології розробляються Стратегія енергетичної безпеки, яка охоплює забезпечення незалежності енергетичного сектора, і Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату, спрямована на мінімізацію впливу екологічних загроз і пристосування до нових кліматичних умов. Крім того, значна увага приділяється питанням захисту громадського здоров'я через Стратегію біобезпеки та біологічного захисту. Також розробляються Стратегія інформаційної безпеки як інструмент протидії дезінформації та зовнішньому інформаційному впливу, а також Стратегія кібербезпеки України для захисту критичної інфраструктури й даних у цифровій сфері. У зовнішньополітичній площині передбачено вдосконалення зовнішніх зв'язків через реалізацію Стратегії зовнішньополітичної діяльності. До інших важливих напрямів належить Стратегія забезпечення державної безпеки, яка охоплює заходи з протидії загрозам національному суверенітету, а також Стратегія інтегрованого управління кордонами, що спрямована на посилення контролю й ефективності роботи прикордонної служби. У комплексі з цим втілюється Стратегія продовольчої безпеки, орієнтована на забезпечення стабільного доступу до якісної їжі. До системи стратегічного планування також входить Національна розвідувальна програма, спрямована на вдосконалення збору й аналізу розвідувальної інформації задля підтримки прийняття обґрунтованих рішень. Таким чином, усі ці стратегічні документи формують цілісний механізм реалізації пріоритетів національної безпеки України, забезпечуючи стабільність і стійкість держави у різних сферах життєдіяльності.

Аналіз наведених документів дає підстави стверджувати, що концептуальні засади, які визначають стратегію формування та практичної реалізації державної політики в області забезпечення національної безпеки України, повинні слугувати точкою орієнтації для подальшого сталого розвитку держави, враховуючи актуальні виклики та потенційні загрози. Вони мають відображати всебічно узгоджену сукупність офіційно прийнятих позицій, які стосуються ключових цілей та довгострокової державної стратегії у сфері гарантування безпеки особистості, суспільства і держави загалом. Ця стратегія повинна охоплювати заходи протидії як зовнішнім, так і внутрішнім загрозам, що можуть виникати у таких ключових сферах, як політика, економіка, соціальна стабільність, військова справа, технічний прогрес, екологія, інформаційна безпека та інші життєво важливі аспекти. Водночас вона потребує врахування наявних ресурсів і об'єктивної оцінки можливостей держави, аби забезпечити ефективний баланс між амбіціями та реаліями у процесі досягнення поставлених завдань, оскільки сьогодні Україна стикається з цілим спектром серйозних викликів та загроз, які на пряму впливають на її національну безпеку та вимагають негайного впровадження комплексних і ефективних стратегій для їх нейтралізації та подолання. Однією з найбільших і найгостріших загроз, яка невпинно стоїть перед нашою державою, є агресивна політика з боку РФ. Ці дії ворога призводять до грубого порушення територіальної цілісності нашої держави, створюючи реальну загрозу її суверенітету. Понад те, вони підривають основи демократичного устрою України, перешкоджають її сталому розвитку, сповільнюють прогрес на шляху до європейської інтеграції та кидають виклик загальноприйнятим нормам міжнародного права.

На нашу думку, реалізації цих завдань сприятиме стратегічний механізм забезпечення національної безпеки, який ми вбачаємо комплексною системою взаємопов'язаних елементів, що функціонують злагоджено та цілеспрямовано для досягнення стану захищеності національних інтересів від внутрішніх та зовнішніх загроз. Головною метою стратегічного механізму забезпечення національної безпеки є комплексна гарантія незалежності, територіальної цілісності та непорушності державних кордонів. Цей механізм також спрямований на надійний захист чинного конституційного ладу, прав і свобод кожного громадянина, забезпечуючи їх недоторканність та повагу. Крім того, однією з ключових задач є створення міцного підґрунтя для сталого розвитку країни, що включає як економічний, так і соціальний прогрес у безпечному середовищі.

Серед найважливіших особливостей зазначеного механізму можна виділити цілу низку ключових характеристик, які визначають його сутність та ефективність. До основних з них належать стратегічний підхід, системний характер, динамічність і багатовимірність комплексності, що дозволяють йому ефективно функціонувати та відповідати сучасним викликам. Стратегічний підхід означає орієнтацію на довгострокові цілі та перспективи розвитку. Цей механізм враховує потенційні зміни зовнішньо- та внутрішньополітичного середовища, можливі ризики й виклики, пропонуючи рішення, що працюють не лише в короткотерміновій перспективі, але й здатні



забезпечити стабільність та прогрес у майбутньому. Системний характер передбачає існування чітко узгоджених і взаємопов'язаних елементів, які діють як єдиний організм. Взаємодія цих елементів побудована так, щоб забезпечити максимальну ефективність усіх заходів, спрямованих на досягнення поставлених цілей. Динамічність механізму проявляється у його здатності швидко пристосовуватися до змінних умов. У світі постійних трансформацій і нових загроз цей механізм має високий рівень гнучкості, що дозволяє оперативно реагувати на непередбачувані ситуації та адаптуватися до нових викликів. Комплексність же є однією з найбільш універсальних і важливих характеристик, адже вона передбачає врахування всього спектра аспектів національної безпеки. В рамках цього механізму розглядаються різні виміри як політичний, економічний і соціальний, так і воєнний, інформаційний, екологічний та інші. Такий підхід забезпечує багатоплановий і всебічний аналіз усіх факторів, що можуть впливати на стан безпеки, та формує інтегровану систему заходів для їхньої нейтралізації або мінімізації.

При цьому варто звернути увагу на те, що основні елементи, які формують стратегічний механізм забезпечення національної безпеки, охоплюють декілька ключових компонентів, кожен з яких виконує важливу роль у створенні цілісної системи захисту та стабільності держави. Перш за все, нормативно-правова база виступає фундаментом системи, адже саме вона регламентує діяльність у сфері безпеки. До цього спектру входять закони, укази президента, загальнонаціональні стратегії, концепції та інші нормативні документи, які не тільки окреслюють принципи та завдання, але й спрямовують зусилля держави на досягнення конкретних довгострокових цілей у сфері національної безпеки. Другим важливим компонентом є інституційний механізм. До його складу входять різноманітні органи державної влади, правоохоронні органи, силові структури, спецслужби та інші установи, безпосередньо відповідальні за реалізацію політики безпеки. Їхня координація та взаємодія створюють єдину ефективну систему реагування на внутрішні та зовнішні виклики. Третій аспект – це ресурсне забезпечення. Воно охоплює фінансові ресурси, матеріально-технічну базу, інформаційне забезпечення та людський капітал. Забезпечення належного рівня ресурсів є критично важливим для підтримання ефективності функціонування всієї системи національної безпеки, що дозволяє здійснювати оперативну діяльність і реагувати на потенційні загрози. Останнім, але не менш важливим елементом є громадський контроль. Цей механізм передбачає активну участь громадянського суспільства у розробці, моніторингу й реалізації державної політики у сфері безпеки. Залучення громадян підвищує прозорість і підзвітність державних структур та сприяє побудові довіри між суспільством і владою. Таким чином, кожен із цих елементів є невід'ємною складовою єдиної системи забезпечення національної безпеки. Їх синергія створює необхідні умови для ефективної протидії загрозам і забезпечує стабільний розвиток держави.

### Висновки

Отже, проведене дослідження доводить, що питання національної безпеки набуло статусу однієї з найактуальніших і водночас найскладніших проблем, розв'язання якої потребує комплексного, системного підходу та безперервного моніторингу швидкоплинних змін. В умовах сучасних викликів стратегія національної безпеки кожної держави відіграє критично важливу роль у забезпеченні стабільності, охороні її суверенітету, захисті життєво важливих національних інтересів і гарантуванні безпеки її громадян [13]. Стратегічний механізм, покликаний забезпечити стабільність і захист національної безпеки, потребує не лише своєчасної, але й проактивної та адаптивної політики. Така політика повинна бути здатною ефективно реагувати на широкий спектр загроз, враховуючи як внутрішні аспекти, включаючи соціально-економічні, політичні та культурні чинники, так і зовнішні виклики глобального масштабу, що постійно змінюються. Лише при збалансованості цих підходів наша держава зможе забезпечити необхідний рівень стійкості та захищеності в сучасному динамічному середовищі.

### Список використаної літератури

1. Ситник Г.П. Державне управління у сфері національної безпеки (концептуальні та організаційно-правові засади): підручник. К.: НАДУ, 2012. 544 с.
2. Штеба Р.Ю. Проблеми та суперечності державної політики у сфері забезпечення національної безпеки України. *Вісник Національного університету цивільного захисту України* : зб. наук. пр. Х. : Вид-во НУЦЗУ, 2021. Вип. 1 (14). С. 388-395. (Серія «Державне управління») <https://doi.org/10.52363/2414-5866-2021-1-45>
3. Шевченко О. А. Еволюція стратегій національної безпеки України протягом років незалежності крізь призму забезпечення економічної безпеки держави. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право*, 2021. Т. 65. С. 152-159. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2021.65.28>
4. Про національну безпеку України: Закон України від 21.06.2018 року № 2469-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text>
5. Про Стратегію національної безпеки України: Указ Президента України від 12.02.2007 року № 105/2007 URL: <https://www.president.gov.ua/documents/1052007-5496>
6. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України: Указ Президента України від 8 червня 2012 року «Про нову редакцію Стратегії національної безпеки України» від 08.06.2012 року № 389/2012. URL: <https://www.mbo.gov.ua/ua/Ukazy/303.html>

7. Про підготовку проекту позачергового Послання Президента України до Верховної Ради України «Про внутрішнє і зовнішнє становище України у сфері національної безпеки»: Розпорядження Президента України від 20.10.2014 року № 1126/2014-рп. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/11262014-rp-17829>

8. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 6 травня 2015 року «Про Стратегію національної безпеки України»: Указ Президента України від 26.05.2015 року № 105/2007. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2872015-19070>

9. Про Стратегію національної безпеки України: Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 06.05.2015. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0008525-15#Text>

10. Стратегія національної безпеки України «Безпека людини – безпека країни»: Указ Президента України від 14.09.2020 року № 392/2020. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/3922020-35037>

11. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 30 грудня 2021 року «Про Стратегію забезпечення державної безпеки»: Указ Президента України від 16.02.2022 року від № 56/2022 URL: <https://www.president.gov.ua/documents/562022-41377>

12. Чижев Д. А. Загальна характеристика та юридична регламентація Стратегії національної безпеки України. *Jurisprudence. Current methods of improving outdated technologies and methods*: Матеріали I Міжнар. науково-практ. конф., м. Більбао, 2024. С. 8-10.

13. Ільїна А. Особливості стратегії національної безпеки (науковий керівник: Панасюк В. І.) *Шевченківська весна – 2024: публічне управління та державна служба*: матеріали щоріч. Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (Київ, 20 берез. 2024 р.) / за заг. ред. Л. Г. Комахи, Т. П. Паламарчук. Київ: ННІ ПУДС КНУ, 2024. С. 128-129.

#### References

1. Sytnyk H.P. (2012) *Derzhavne upravlinnyia u sferi natsional'noyi bezpeky (kontseptual'ni ta orhanizatsiyno-pravovi zasady)* [State administration in the sphere of national security (conceptual and organizational and legal foundations)] : pidruchnyk. К.: NADU, 544 s. [in Ukrainian]

2. Shteba R.YU. (2021) Problemy ta superechnosti derzhavnoyi polityky u sferi zabezpechennya natsional'noyi bezpeky Ukrainy [Problems and contradictions of state policy in the sphere of ensuring national security of Ukraine]. *Visnyk Natsional'noho universytetu tsyvil'noho zakhystu Ukrainy* : zb. nauk. pr. KH. : Vyd-vo NUTSZU, Vyp. 1 (14). S. 388-395. (Seriya «Derzhavne upravlinnyia») <https://doi.org/10.52363/2414-5866-2021-1-45> [in Ukrainian]

3. Shevchenko O. A. (2021) Evolyutsiia stratehiy natsional'noyi bezpeky Ukrainy protyhom rokiv nezalezhnosti kriz' pryzmu zabezpechennya ekonomichnoyi bezpeky derzhavy [Evolution of national security strategies of Ukraine during the years of independence through the prism of ensuring economic security of the state]. *Naukovyy visnyk Uzhhorods'koho natsional'noho universytetu*. Seriya: Pravo, T. 65. S. 152-159. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2021.65.28> [in Ukrainian]

4. (2018) Pro natsional'nu bezpeku Ukrainy [On the National Security of Ukraine]: Zakon Ukrainy vid 21.06.2018 roku № 2469-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text> [in Ukrainian]

5. (2007) Pro Stratehiyu natsional'noyi bezpeky Ukrainy [On the National Security Strategy of Ukraine]: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 12.02.2007 roku № 105/2007 URL: <https://www.president.gov.ua/documents/1052007-5496> [in Ukrainian]

6. (2012) Pro rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrainy [On the decisions of the National Security and Defense Council of Ukraine]: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 8 chervnya 2012 roku «Pro novu redaktsiyu Stratehiyi natsional'noyi bezpeky Ukrainy» vid 08.06.2012 roku № 389/2012. URL: <https://www.rnbo.gov.ua/ua/ukazy/303.html> [in Ukrainian]

7. (2014) Pro pidhotovku proektu pozacherhovoho Poslannya Prezydenta Ukrainy do Verkhovnoyi Rady Ukrainy «Pro vnutrishnye i zovnishnye stanovyshche Ukrainy u sferi natsional'noyi bezpeky» [On the preparation of a draft extraordinary Address of the President of Ukraine to the Verkhovna Rada of Ukraine “On the internal and external situation of Ukraine in the sphere of national security”]: Rozporядzhennya Prezydenta Ukrainy vid 20.10.2014 roku № 1126/2014-rp. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/11262014-rp-17829> [in Ukrainian]

8. (2015) Pro rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrainy vid 6 travnya 2015 roku «Pro Stratehiyu natsional'noyi bezpeky Ukrainy» [On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated May 6, 2015 “On the National Security Strategy of Ukraine”]: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 26.05.2015 roku № 105/2007. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2872015-19070> [in Ukrainian]

9. (2015) Pro Stratehiyu natsional'noyi bezpeky Ukrainy [On the National Security Strategy of Ukraine]: Rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrainy vid 06.05.2015. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0008525-15#Text> [in Ukrainian]

10. (2020) Stratehiya natsional'noyi bezpeky Ukrainy «Bezpeka lyudyny – bezpeka krayiny» [National Security Strategy of Ukraine “Human Security – Country Security”]: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 14.09.2020 roku № 392/2020. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/3922020-35037> [in Ukrainian]

11. (2022) Pro rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrayiny vid 30 hrudnya 2021 roku «Pro Stratehiyu zabezpechennya derzhavnoyi bezpeky» [On the Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated December 30, 2021 “On the Strategy for Ensuring State Security”] : Ukaz Prezydenta Ukrayiny vid 16.02.2022 roku vid № 56/2022 URL: <https://www.president.gov.ua/documents/562022-41377> [in Ukrainian]

12. Chyzhov D. A. (2024) Zahal'na kharakterystyka ta yurydychna rehlamentatsiya Stratehiyi natsional'noyi bezpeky Ukrayiny. Jurisprudence [General Characteristics and Legal Regulation of the National Security Strategy of Ukraine]. Current methods of improving outdated technologies and methods: Materialy I Mizhnar. naukovo-prakt. konf., m. Bil'bao. S. 8-10. [in Ukrainian]

13. Il'yina A. (2024) Osoblyvosti stratehiyi natsional'noyi bezpeky [Peculiarities of the National Security Strategy] (naukovyy kerivnyk: Panasyuk V. I.) Shevchenkivs'ka vesna – 2024: publichne upravlinnya ta derzhavna sluzhba: materialy shchorich. Vseukr. nauk.-prakt. konf. studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh (Kyyiv, 20 berez. 2024 r.) / za zah. red. L. H. Komakhy, T. P. Palamarchuk. Kyiv: NNI PUDS KNU, S. 128-129. [in Ukrainian]

**Н. В. ШАНДОВА**

доктор економічних наук, професор,  
завідувач кафедри економіки, підприємництва та економічної безпеки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-6278-1143

**Н. В. МЄШКОВА-КРАВЧЕНКО**

старший викладач кафедри економіки, підприємництва  
та економічної безпеки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-5296-8687

**О. І. ДОРОГАНЬ**

магістр кафедри економіки, підприємництва та економічної безпеки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0003-9225-7371

## ОЦІНКА РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

У статті розглянуто важливість оцінки рентабельності підприємства для розуміння результативності діяльності як окремого підприємства, так і економіки країни в цілому. Проаналізовано рентабельність діяльності та операційної діяльності підприємств України за 2021-2023 роки. Відмічено суттєве зниження рентабельності у 2022 році, покращення ситуації в 2023 році, однак у 2023 році не досягнуто рівня рентабельності 2021 року, що потребує розробки конкретних заходів для забезпечення ефективної діяльності підприємств навіть в умовах війни.

Досліджено підходи до оцінювання рентабельності підприємства. Рентабельність визначається за системою показників. Зазначено, що саме результати факторного аналізу рентабельності слугують інформаційною базою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Для проведення факторного аналізу доцільно застосовувати метод «DuPont», який дозволяє проводити ретельне дослідження результатів підприємства шляхом розкладання показника обраного виду рентабельності на компоненти. Для аналізу використовують як класичну модель «DuPont» у, так і видозмінені варіанти.

Запропоновано за методом «DuPont» модель рентабельності діяльності підприємства, як добуток співвідношення чистого прибутку і прибутку до оподаткування, співвідношення прибутку діяльності до оподаткування і прибутку від операційної діяльності, співвідношення прибутку від операційної діяльності і валового прибутку, рентабельності продукції, співвідношення собівартості реалізованої продукції і операційних витрат, співвідношення операційних витрат і витрат діяльності. При цьому в рамках даної моделі можна окремо здійснювати факторний аналіз рентабельності діяльності за прибутком до оподаткування і рентабельності операційної діяльності. Використано метод абсолютних різниць для виявлення впливу факторів на результативний показник.

Проведено факторний аналіз рентабельності діяльності підприємства ТОВ «Нова пошта» за запропонованою моделлю, визначено ключові фактори впливу на зміну рівня рентабельності.

**Ключові слова:** рентабельність, оцінка, модель, факторний аналіз, діяльність, операційна діяльність, підприємство.

**N. V. SHANDOVA**

Doctor of Economics, Professor,  
Head of the Department of Economics, Entrepreneurship  
and Economic Security  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-6278-1143

**N. V. MIESHKOVA-KRAVCHENKO**

Senior Lecturer at the Department of Economics, Entrepreneurship  
and Economic Security  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-5296-8687

O. I. DOROHAN

Master at the Department of Economics, Entrepreneurship  
and Economic Security

Kherson National Technical University

ORCID: 0009-0003-9225-7371

## EVALUATION OF THE PROFITABILITY OF THE ENTERPRISE

*The article examines the importance of assessing the enterprise's profitability for understanding the performance of both an individual enterprise and the country's economy as a whole. The profitability of activities and operational activities of Ukrainian enterprises for 2021-2023 has been analyzed. A significant decrease in profitability was noted in 2022, the situation improved in 2023, but in 2023 the level of profitability of 2021 was not reached, which requires the development of specific measures to ensure the effective operation of enterprises even in war conditions.*

*Approaches to assessing the enterprise's profitability have been studied. Profitability is determined by a system of indicators. It is noted that it is the results of factor analysis of profitability that serve as an information base for making informed management decisions. To conduct a factor analysis, it is advisable to use the "DuPont" method, which allows to conduct a thorough study of the company's results by decomposing the indicator of the selected type of profitability into components. Both the classic "DuPont" model and modified versions are used for analysis.*

*According to the "DuPont" method, a model of the profitability of an enterprise is proposed as the product of the ratio of net profit and profit before taxation, the ratio of profit before taxation and profit from operating activities, the ratio of profit from operating activities and gross profit, product profitability, the ratio of the cost of goods sold and operating costs, the ratio of operating costs and activity costs. At the same time, within the framework of this model, it is possible to separately carry out a factor analysis of the profitability of activities based on profit before taxation and the profitability of operating activities. The method of absolute differences was used to identify the influence of factors on the performance indicator.*

*A factor analysis of the profitability of the "Nova Poshta" LLC was carried out according to the proposed model, and the key factors affecting the change in the level of profitability were determined.*

**Key words:** profitability, assessment, model, factor analysis, activity, operational activity, enterprise.

### Постановка проблеми

Рентабельність, як економічна категорія, що відображає результативність, ефективність діяльності підприємства, є важливою для дослідження протягом тривалого періоду і не втрачає актуальності наразі. Під час воєнних дій переважна більшість підприємств змушена працювати у складних умовах, а частина взагалі припинила свою діяльність. Результативність діяльності діючих підприємств знизилася, про що свідчать, зокрема, і показники рентабельності. Намагання налагодити ефективну діяльність, а надалі і розвиватися, у непередбачуваних, динамічно змінюваних умовах потребує наявності достатньої інформації для прийняття обґрунтованих рішень. Рентабельність – характеристика діяльності підприємства загалом, окремих напрямів діяльності, продукції, використання окремих видів ресурсів. Створення моделі аналізу рентабельності, адаптованої до сучасних умов діяльності підприємства, дозволяє за результатами аналізу сформувати інформаційну базу для ухвалення управлінських рішень.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження рентабельності вченими та практиками пов'язано з її сутністю як основного показника ефективності діяльності підприємств. Оцінка рентабельності, а саме результати факторного аналізу, розглядається як інформаційна основа для удосконалення управління ефективністю діяльності підприємства [1]. Степаненко О. І., Павловська Х. Ю. [2] значну увагу приділяють інтерпретації сутності категорії «рентабельність», факторам впливу та факторному аналізу операційного прибутку як елементу показників рентабельності. Рентабельність активів та рентабельність власного капіталу детально аналізують Котенок А. Г. і Овчаренко Д. І. [3]

Гайбура Ю. А. [4] розглядає сутність та показники рентабельності та вказує на важливість використання різних методів для оцінки прибутковості підприємства. Новіченко Л. С. [5] пропонує організаційно-інформаційну модель аналізу рентабельності підприємства. Кошельок Г. В., Міндова О. І., Чернишова Л. В. [6] запропонували факторну модель рентабельності виробництва продукції, яка відображає залежність операційного прибутку від основних засобів і оборотних коштів, при цьому визначається вплив на рентабельність зміни частки прибутку на 1 гривню чистого доходу від реалізації продукції, зміни віддачі основних засобів і нематеріальних активів, зміни обігу матеріальних оборотних коштів.

Останнім часом дослідники [7, 8, 9] серед методичних прийомів аналізу рентабельності виокремлюють модель «DuPont», указуючи на те, що попри тривалий період використання даного підходу, наразі пропонується велика кількість видозмінених варіантів. Зокрема, Колісник М. [7] розглядає не тільки класичні варіанти рівняння Дюпона (оцінка на основі прибутковості інвестицій і прибутковості власного капіталу), а і адаптацію рівнянь Дюпона для оцінки бізнес-напрямів, оцінки продавців, для оцінки дистрибуції, продуктів і платіжних умов. При цьому використання методу «DuPont» для побудови моделі саме рентабельності діяльності підприємства в наукових джерелах не представлено.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження підходів до оцінювання рентабельності підприємства, адаптація моделі «DuPont» для оцінки рентабельності діяльності підприємства та її апробація.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Результат діяльності комерційних підприємств, у першу чергу, оцінюють наявністю прибутку, враховуючи, що в більшості випадків саме максимізація прибутку на основі задоволення потреб споживачів вважається метою діяльності підприємства. Наявність чистого прибутку як результату діяльності є основою для забезпечення розвитку підприємства. Однак, останнім часом в Україні зростає кількість підприємств, результатом діяльності яких є чистий збиток.

За інформацією Державної служби статистики України [8], питома вага підприємств, які отримали чистий збиток, у загальній кількості підприємств у 2021 році – 27,1%, у 2022 році – 34,2%, у 2023 році – 29,3%. При цьому слід зазначити, що кількість діючих підприємств у 2022 році склала 70,63% кількості діючих підприємств у 2021 році, у 2023 році – 83,02% кількості діючих підприємств у 2021 році, тож кількість підприємств, що є рентабельними, суттєво зменшилася у порівнянні з довоєнним періодом.

На жаль, тенденція щодо зростання частки збиткових підприємств у 2024 році спостерігається для великих та середніх підприємств. За даними Державної служби статистики України [8], частка збиткових великих та середніх підприємств за січень–червень 2024 році становила 25,7% (за січень–червень 2023 р. – 25,5%).

Статистична інформація, що акумулюється у Державній службі статистики України щодо рентабельності підприємств [8], передбачає дані щодо рівня рентабельності діяльності підприємств та рівня рентабельності операційної діяльності підприємств. Проаналізуємо дану інформацію за період з 2021 по 2023 роки (табл. 1).

Таблиця 1

### Рентабельність діяльності підприємств України

Види економічної діяльності	Рівень рентабельності діяльності підприємств, %			Рівень рентабельності операційної діяльності підприємств, %		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство	36,4	13,3	7,8	40,3	20,0	11,7
Промисловість	7,7	-5,4	1,2	11,2	0,8	5,1
Будівництво	1,2	-6,5	0	2,3	-2,4	3,4
Оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів	14,8	3,1	15,6	17,9	17,2	28,0
Транспорт, складське господарство, пошта та кур'єрська діяльність	3,7	-4,2	6,1	5,8	2,7	10,1
Тимчасове розмішування й організація харчування	9,5	-19,2	2,4	9,0	-10,0	6,1
Інформація та телекомунікації	10,3	3,9	13,5	15,6	12,9	16,5
Фінансова та страхова діяльність	17,1	4,9	15,9	8,8	-2,7	2,4
Операції з нерухомим майном	7,8	-28,1	1,7	15,5	-17,1	10,9
Професійна, наукова та технічна діяльність	10,0	-12,9	5,9	4,1	-10,4	-2,8
Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування	6,1	-5,1	3,9	7,1	0,8	8,3
Освіта	1,0	-3,9	-1,9	5,6	2,1	-0,4
Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	3,7	5,2	1,6	0,0	3,2	0,5
Мистецтво, спорт, розваги та відпочинок	-13,1	-18,7	8,1	-12,5	-10,0	21,9
Надання інших видів послуг	3,9	2,2	6,4	3,5	5,1	6,2
Усього	10,1	-3,2	4,7	12,6	3,3	8,1

Джерело: складено авторами на основі інформації Державної служби статистики України [8]

В аспекті результативності діяльності підприємств слід зазначити, що вона суттєво погіршилася у 2022 році у порівнянні з 2021 роком. Діяльність підприємств загалом у 2021 році була рентабельною (10,1%), у 2022 році стала збитковою. Рентабельними у 2022 році залишилися тільки підприємства таких видів економічної діяльності як сільське, лісове та рибне господарство; оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів; інформація та телекомунікації; фінансова та страхова діяльність; охорона здоров'я та надання соціальної допомоги; надання інших видів послуг. У 2022 році різко знизилася рентабельність операційної діяльності підприємств, загалом, з 12,6% до 3,3%, підприємств більшості видів економічної діяльності або різко зменшилася, або вони стали збитковими. Ключовим фактором таких змін стала воєнна агресія.

У 2023 році як діяльність загалом, так і операційна діяльність усіх підприємств була рентабельною, ситуація покращилася як по загальному результату, так і по переважній більшості видів економічної діяльності. Виняток, а саме зменшення рентабельності, спостерігається у 2023 році на підприємствах сільського, лісового та рибного

господарства, охорони здоров'я та надання соціальної допомоги. Операційна діяльність підприємств освіти у 2023 році є збитковою, на відміну від рентабельної діяльності у попередні досліджувані роки. Слід зазначити, що за підсумковими значеннями рівень рентабельності у 2023 році не досяг рівня 2021 року.

Погіршення ситуації щодо результатів діяльності підприємств зумовлює необхідність виявлення факторів, що негативно вплинули як на зменшення чи відсутність прибутку, так і на зменшення рентабельності.

Дослідження рентабельності підприємства відіграє важливу роль для оцінки діяльності підприємства на різних етапах розвитку підприємства з метою прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Можливість формування системи взаємопов'язаних показників рентабельності дозволяє вимірювати результативність діяльності підприємства з різних позицій, урахувати зацікавленість в отриманні інформації усіх учасників бізнес-процесів.

Використання при формуванні показників рентабельності різних видів прибутку (чистого, операційного, валового, від реалізації продукції), та співвідношення його з витратами, ресурсами чи доходом зумовлює формування системи показників рентабельності, які поєднують в групи. Зокрема, виділяють такі групи:

- витратні показники рентабельності, ресурсні показники рентабельності, доходні показники рентабельності [6];
- показники рентабельності щодо реалізації, щодо активів, щодо власного капіталу та зобов'язань, витратні показники рентабельності [4, с. 120];

У запропонованій Новіченко Л. С. [5, с. 257] організаційно-інформаційній моделі економічного аналізу рентабельності серед методичних прийомів аналізу вказана багатofакторна модель «DuPont». У наведеному аналізі попередніх досліджень теж наголошується на актуалізації наразі використання як класичної, так і видозмінених варіантів моделі «DuPont» залежно від мети дослідження [7, 8, 9].

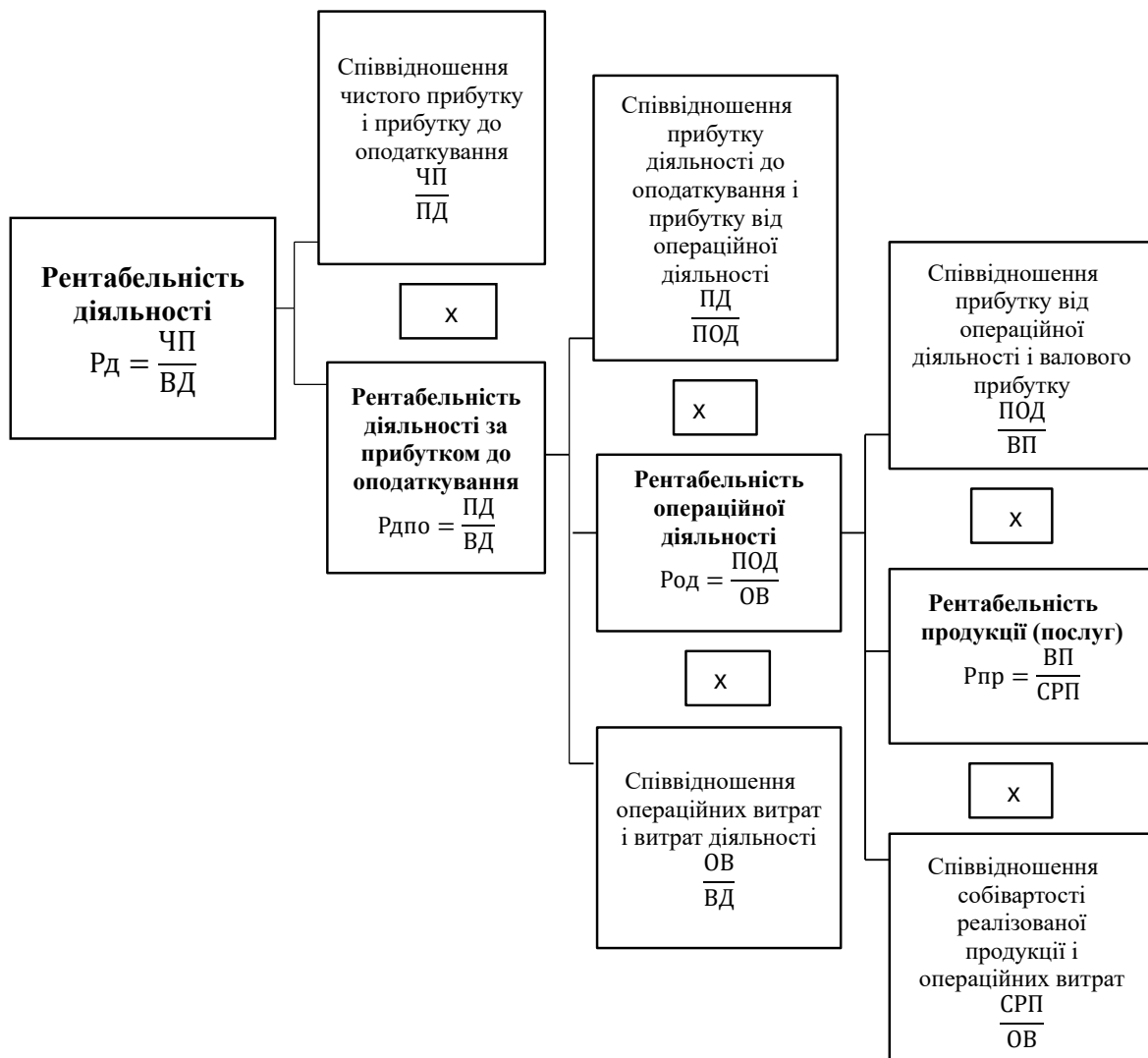


Рис. 1. Факторна модель рентабельності діяльності

Джерело: розроблено авторами

Метод «DuPont» є одним з найбільш ефективних інструментів факторного аналізу, оскільки він дозволяє проводити ретельне дослідження фінансових результатів підприємства шляхом розкладання показника обраного виду рентабельності на компоненти [9]. Традиційно за методом «DuPont» здійснюють аналіз рентабельності інвестицій як добутку прибутковості продаж і швидкості обороту вкладених інвестицій та рентабельності власного капіталу як добутку прибутковості продажу, мультиплікатора власного капіталу, показника оборотності активів.

Найчастіше серед видозмінених варіантів застосовуються саме моделі аналізу капіталу: Кошельок Г. В., Малишко В. С. пропонують видозмінену модель аналізу рентабельності власного капіталу [7]; Добровольською О. В., Дубровою Н. П., Ясинською Д. В. запропоновано поширення факторної моделі шляхом застосування показників, що оцінюють використання сукупного, власного та позичкового капіталу підприємства [8].

Уважаємо за доцільне розглянути наступну схему розкладеного на компоненти показника рентабельності діяльності підприємства за методом «DuPont», яку відображено на рисунку 1.

Для факторного аналізу використані наступні вихідні фінансові показники: чистий прибуток (ЧП); прибуток до оподаткування (ПОД); прибуток від операційної діяльності (ПОД); валовий прибуток (ВП); загальні витрати підприємства (ВД); витрати діяльності (ВД); операційні витрати (ОВ); собівартість реалізованої продукції (СРП).

За наведеної схеми модель рентабельності діяльності підприємства (Рд) першого рівня має такий вигляд:

$$Рд = \frac{ЧП}{ПД} \times \frac{ПД}{ВД}$$

За наведеної схеми загальна модель рентабельності діяльності:

$$Рд = \frac{ЧП}{ПД} \times \frac{ПД}{ПОД} \times \frac{ПОД}{ВП} \times \frac{ВП}{СРП} \times \frac{СРП}{ОВ} \times \frac{ОВ}{ВД}$$

Вихідні дані для розрахунку впливу наведений факторів на рівень рентабельності слід наводити у формі таблиці 2.

Таблиця 2

**Дані для комплексного факторного аналізу рентабельності діяльності**

Показники	Роки		Відхилення
	202 <sub>1</sub>	202 <sub>2</sub>	
Чистий прибуток, тис. грн.	з фінансової звітності	з фінансової звітності	
Прибуток до оподаткування, тис. грн.	з фінансової звітності	з фінансової звітності	
Прибуток від операційної діяльності, тис. грн.	з фінансової звітності	з фінансової звітності	
Валовий прибуток, тис. грн.	з фінансової звітності	з фінансової звітності	
Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг), тис. грн.	з фінансової звітності	з фінансової звітності	
Операційні витрати, тис. грн.	з фінансової звітності	з фінансової звітності	
Співвідношення чистого прибутку і прибутку до оподаткування (X1)	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	ΔX1
Співвідношення прибутку до оподаткування і прибутку від операційної діяльності (X21)	X <sub>211</sub>	X <sub>212</sub>	ΔX21
Співвідношення прибутку від операційної діяльності і валового прибутку (X221)	X <sub>2211</sub>	X <sub>2212</sub>	ΔX221
Рентабельність продукції (X222)	X <sub>2221</sub>	X <sub>2222</sub>	ΔX222
Співвідношення собівартості реалізованої продукції і операційних витрат (X223)	X <sub>2231</sub>	X <sub>2232</sub>	ΔX223
Співвідношення операційних витрат і витрат діяльності (X23)	X <sub>231</sub>	X <sub>232</sub>	ΔX23
Рентабельність діяльності (Y)	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	ΔY

Джерело: складено авторами.

Розрахунки зміни рівня рентабельності діяльності методом абсолютних різниць відображено нижче:

– за рахунок зміни співвідношення чистого прибутку і прибутку до оподаткування:

$$\Delta Y_{X1} = \Delta X1 \times X21_1 \times X221_1 \times X222_1 \times X223_1 \times X23_1;$$

– за рахунок зміни співвідношення прибутку до оподаткування і прибутку від операційної діяльності:

$$\Delta Y_{X21} = \Delta X21 \times X1_2 \times X221_1 \times X222_1 \times X223_1 \times X23_1;$$

– за рахунок зміни співвідношення прибутку від операційної діяльності і валового прибутку:

$$\Delta Y_{X221} = \Delta X221 \times X1_2 \times X21_2 \times X222_1 \times X223_1 \times X23_1;$$



- за рахунок зміни рентабельності продукції:

$$\Delta Y_{X222} = \Delta X222 \times X1_2 \times X21_2 \times X221_2 \times X223_1 \times X23_1;$$

- за рахунок зміни співвідношення собівартості реалізованої продукції і операційних витрат:

$$\Delta Y_{X223} = \Delta X223 \times X1_2 \times X21_2 \times X221_2 \times X222_2 \times X23_1;$$

- за рахунок зміни співвідношення операційних витрат і витрат діяльності:

$$\Delta Y_{X23} = \Delta X23 \times X1_2 \times X21_2 \times X221_2 \times X222_2 \times X223_2.$$

На основі запропонованої моделі проведено аналіз рентабельності діяльності ТОВ «Нова пошта», однієї із найкрупніших українських міжнародних компаній з логістики, лідера у галузі експрес-доставок за кількістю доставлених відправлень по території України, що займає визначне місце на ринку послуг як на території України, так і за її межами. Вихідні дані для розрахунку впливу наведений факторів на рівень рентабельності діяльності підприємства наведено у таблиці 3 [11].

Таблиця 3

## Дані для комплексного факторного аналізу рентабельності діяльності

Показники	Роки		Відхилення
	2022	2023	
Чистий прибуток, тис. грн.	2135960	3967156	1831196
Прибуток до оподаткування, тис. грн.	2390352	4438175	2047823
Прибуток від операційної діяльності, тис. грн.	2530417	3666819	1136402
Валовий прибуток, тис. грн.	4410502	7843842	3433340
Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг), тис. грн.	19276532	28625037	9348505
Операційні витрати, тис. грн.	21852785	33103537	11250752
Витрати діяльності, тис. грн.	23131548	35038695	11907147
Співвідношення чистого прибутку і прибутку до оподаткування (X1)	0,89357	0,89387	0,00030
Співвідношення прибутку до оподаткування і прибутку від операційної діяльності (X21)	0,94465	1,21036	0,26571
Співвідношення прибутку від операційної діяльності і валового прибутку (X221)	0,57373	0,46748	-0,10625
Рентабельність продукції (X222)	0,22880	0,27402	0,04522
Співвідношення собівартості реалізованої продукції і операційних витрат (X223)	0,88211	0,86471	-0,01740
Співвідношення операційних витрат і витрат діяльності (X23)	0,94472	0,94477	-0,00005
Рентабельність діяльності (Y)	0,09234	0,11322	0,02088

Джерело: складено та розраховано авторами на підставі фінансової звітності підприємства [11].

Розрахунки зміни рівня рентабельності діяльності методом абсолютних різниць відображено нижче:

$$\Delta Y_{X1} = 0,00030 \times 0,94465 \times 0,57373 \times 0,2288 \times 0,88211 \times 0,94472 = 0,00030;$$

$$\Delta Y_{X21} = 0,89387 \times 0,26571 \times 0,57373 \times 0,2288 \times 0,88211 \times 0,94472 = 0,02598;$$

$$\Delta Y_{X221} = 0,89387 \times 0,46748 \times (-0,10625) \times 0,2288 \times 0,88211 \times 0,94472 = -0,02191;$$

$$\Delta Y_{X222} = 0,89387 \times 0,46748 \times 0,46748 \times 0,04522 \times 0,88211 \times 0,94472 = 0,01906;$$

$$\Delta Y_{X223} = 0,89387 \times 0,46748 \times 0,46748 \times 0,27402 \times (-0,01740) \times 0,94472 = -0,00227;$$

$$\Delta Y_{X23} = 0,89387 \times 0,46748 \times 0,46748 \times 0,27402 \times 0,94477 \times (-0,00005) = -0,00001;$$

$$\Delta Y = 0,00030 + 0,02598 + (-0,02191) + 0,01906 + (-0,00227) + (-0,00001) = 0,02088.$$

Показник рентабельності діяльності ТОВ «Нова пошта» у 2023 році становив 11,32%, що є на 2,09% більше, ніж у попередньому 2022 році. Аналіз зміни рівня рентабельності діяльності показує, що основний вплив на зростання рентабельності мали збільшення співвідношення прибутку від діяльності до оподаткування і прибутку від операційної діяльності ( $\Delta Y_{X21}$ ), що становить 0,02598 (це пов'язано зі зростанням частки прибутку від фінансової діяльності) та рентабельності продукції ( $\Delta Y_{X222}$ ), що становить 0,01906. У той час, як зниження співвідношення

прибутку від операційної діяльності і валового прибутку ( $\Delta Y_{x221}$ ) на 0,02191 найбільш негативним чином вплинуло на рентабельність, що потребує більш глибокого аналізу адміністративних витрат і витрат на збут.

Окрім аналізу рентабельності діяльності підприємства, за даною моделлю можна окремо аналізувати рентабельність діяльності підприємства за прибутком до оподаткування та рентабельність операційної діяльності.

#### Висновки

Дослідження рентабельності підприємства є важливим в контексті визначення результативності діяльності підприємства, система показників рентабельності дозволяє характеризувати ефективність діяльності підприємства всебічно, а факторний аналіз окремих показників рентабельності дозволяє виявляти чинники, для оптимізації впливу яких на рентабельність потрібно реалізовувати певні заходи.

Застосування методу «DuPont» дозволяє здійснювати факторний аналіз на різних рівнях рентабельності підприємства, розкладаючи показники на необхідну кількість компонентів. Вибір показників і глибина розкладання залежить від мети дослідження, результати якого (визначений вплив конкретного фактору на рентабельність), слугуватимуть інформаційною базою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

На основі методу «DuPont» розроблено модель аналізу рентабельності діяльності підприємства за чистим прибутком, яка дозволяє також проводити аналіз рентабельності діяльності за прибутком до оподаткування та аналіз операційної діяльності. Подальші дослідження слід спрямувати як на формування моделей рентабельності окремих видів ресурсів, так і формування інтегрального показника, що відображатиме ефективність діяльності підприємства загалом.

#### Список використаної літератури

1. Гаватюк Л.С., Пілат А.К. Удосконалення системи управління рентабельністю як умова ефективного функціонування підприємств. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2020. № 2. С. 47-50.
2. Степаненко О.І., Павловська Х.Ю. Аналіз рентабельності підприємства та шляхи її підвищення в умовах економічної нестабільності. *Причорноморські економічні студії*. 2022. Випуск 75. С. 93-101.
3. Котенок А.Г., Овчаренко Д.І. Аналіз рентабельності активів та власного капіталу компанії Ernst and Young Baltic Sea. *Молодий вчений*. 2023. № 11(123). С. 120-124.
4. Гайбура Ю.А. Методичні підходи щодо оцінки і прогнозування прибутковості підприємства. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. № 1(38). С. 118-124.
5. Новіченко Л.С. Аналіз показників рентабельності підприємства: теоретичні та прикладні аспекти. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 5. Том 2. С. 254-259.
6. Кошельок Г.В., Міндова О.І., Чернишова Л.В. Факторний аналіз рентабельності виробництва торговельних підприємств. *Економіка та суспільство*. 2023. Випуск 47. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2124> (дата звернення: 08.10.2024).
7. Кошельок Г.В., Малишко В.С. Факторний аналіз рентабельності власного капіталу підприємства. *Економіка і суспільство*. 2016. Випуск 7. С. 361-368.
8. Добровольська О.В., Дуброва Н.П., Ясинська Д.В. Застосування детермінованого моделювання для підвищення прибутковості в управлінні фінансовими ресурсами підприємства. *Науковий погляд: економіка та управління*. 2021. № 2(72). С. 82-87.
9. Колісник М. Рівняння Дюпон: нові імплементації старого аналітичного інструменту. URL: <https://www.kolisnyk.in.ua/rivnyannya-dyupon-novi-implementatsiyi-starogo-analitychnogo-instrumentu/> (дата звернення: 07.10.2024).
10. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 10.10.2024).
11. Офіційний сайт ТОВ «Нова пошта». URL: <https://novaposhta.ua/> (дата звернення: 28.04.2024).

#### References

1. Gavatiuk L., & Pilat A. (2020) Improving the profitability management system as a condition for effective functioning of enterprises. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, 2, 47-50. [in Ukrainian]
2. Stepanenko O., & Pavlovska Kh. (2022) Analysis of the company's profitability and ways to increase it in conditions of economic instability. *Black Sea Economic Studies*, 75, 93-101. [in Ukrainian]
3. Kotenok A., & Ovcharenko D. (2023) Analysis of profitability of assets and equity of the company Ernst and Young Baltic Sea. *Young Scientist*, 11(123), 120-124. [in Ukrainian]
4. Haybura Yu. (2023) Methodical approaches to the assessment and forecasting of the company's profitability. *Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics*, 1(38), 118-124. [in Ukrainian]
5. Novichenko L. (2021) Analysis of indicators of profitability of the enterprise: theoretical and applied aspects. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, 5, 254-259. [in Ukrainian]

6. Koshelok H., Mindova, O., & Chernyshova, L. (2023). Factory analysis of the profitability of trading enterprises. *Economy and Society*, (47). [in Ukrainian]
7. Koshelek G., & Malyshko V. (2016). Factor analysis of profitability in equity ventures. *Economy and Society*, 7, 361-368. [in Ukrainian]
8. Dobrovolska O., Dubrova N., & Yasynska D. (2021). Application of deterministic modeling to increase profitability in the management of financial resources of the enterprise. *Scientific View: Economics and Management*, 2(72), 82-87. [in Ukrainian]
9. Kolisnyk M. The Dupont equation: new implementations of an old analytical tool. URL: <https://www.kolisnyk.in.ua/rivnyannya-dyupon-novi-implementatsiyi-starogo-analitychnogo-instrumentu/> (date of application: 07.10.2024). [in Ukrainian]
10. State Statistics Service of Ukraine – official webpage. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (date of application: 10.10.2024). [in Ukrainian]
11. LLC “Nova Post Ukraine” – official webpage. URL: <https://novaposhta.ua/> (date of application: 28.04.2024). [in Ukrainian]

Л. М. ЩЕХОВСЬКА

доктор філософії (PhD),

доцент кафедри логістики

Державний університет «Київський авіаційний інститут»

ORCID: 0000-0002-6119-166X

## ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ПОВЕДІНКОВОГО ПІДХОДУ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ

У статті досліджуються можливості та обмеження впровадження поведінкового підходу в публічне управління України в умовах воєнного стану. Зазначено, що сучасні кризові обставини вимагають від публічного управління гнучкості, адаптивності та застосування інноваційних підходів, здатних забезпечити швидке реагування на виклики та мобілізацію громадянського суспільства. Одним із таких підходів є поведінковий, який дозволяє краще зрозуміти мотивацію та дії громадян, адаптувати управлінські рішення до їхніх потреб і впливати на суспільну поведінку.

Наголошено, що впровадження поведінкового підходу в публічне управління України стикається з низкою бар'єрів, зокрема високим рівнем стресу та недовіри у суспільстві, обмеженими ресурсами, складністю прогнозування реакцій громадян в умовах постійної небезпеки, а також етичними дилемами, пов'язаними з використанням інструментів поведінкових змін. Крім того, відсутність системного досвіду використання поведінкових підходів в українському державному управлінні ускладнює їхнє впровадження.

На основі аналізу науково-практичної літератури розроблено низку поведінкових стратегій, які можуть підвищити ефективність публічного управління в умовах воєнного стану. Зокрема, запропоновано використовувати SMS-сповіщення для своєчасного інформування населення, візуальні маркери для формування переконань, соціальні норми для зміни небажаної поведінки, а також "плани зобов'язань" для підтримки внутрішньо переміщених осіб. Реалізація цих стратегій потребує дотримання ключових принципів, таких як використання надійних джерел інформації, забезпечення прозорості, постійний моніторинг та оцінювання ефективності.

Стверджується, що впровадження поведінкового підходу в публічне управління України в умовах воєнного стану вимагає комплексного та стратегічного підходу, який включатиме пілотні проекти, навчання державних службовців, а також постійний діалог із громадянським суспільством. Лише за такого підходу поведінковий аналіз зможе повною мірою допомогти українській владі ефективно управляти кризою та підтримувати стійкість громадян.

**Ключові слова:** поведінковий підхід, публічне управління, воєнний стан, кризова комунікація, соціальна стійкість.

L. M. SHCHEKHOVSKA

Doctor of Philosophy (PhD),

Associate Professor at the Logistics Department

State University "Kyiv Aviation Institute"

ORCID: 0000-0002-6119-166X

## IMPLEMENTATION OF THE BEHAVIORAL APPROACH IN THE PUBLIC ADMINISTRATION OF UKRAINE UNDER THE CONDITIONS OF MARITAL STATE: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

The article explores the opportunities and limitations of implementing a behavioral approach in public administration of Ukraine in the conditions of martial law. The authors note that the current crisis circumstances require public administration to be flexible, adaptive, and apply innovative approaches capable of ensuring a rapid response to challenges and mobilizing civil society. One such approach is behavioral economics, which allows for a better understanding of citizens' motivations and actions, adapting management decisions to their needs, and influencing social behavior.

It is emphasized that the implementation of a behavioral approach in public administration of Ukraine faces several barriers, including high levels of stress and distrust in society, limited resources, the complexity of predicting citizens' reactions in conditions of constant danger, as well as ethical dilemmas associated with the use of behavioral change instruments. In addition, the lack of systemic experience in using behavioral approaches in Ukrainian public administration complicates their implementation.

Based on the analysis of scientific and practical literature, a number of behavioral strategies have been developed that can increase the effectiveness of public administration in the conditions of martial law. In particular, they propose using SMS notifications for timely informing the population, visual markers for shaping beliefs, social norms for changing undesirable behavior, as well as "commitment plans" to support internally displaced persons. The implementation of these strategies requires adherence to key principles, such as the use of reliable information sources, ensuring transparency, continuous monitoring, and evaluating effectiveness.

*It's stated that the implementation of a behavioral approach in public administration of Ukraine in the conditions of martial law requires a comprehensive and strategic approach, which will include pilot projects, training of civil servants, as well as continuous dialogue with civil society. Only with such an approach can behavioral analysis fully help the Ukrainian authorities effectively manage the crisis and maintain the resilience of citizens.*

**Key words:** behavioral approach, public management, martial law, crisis communication, social resilience.

### Постановка проблеми

Сучасні умови воєнного стану в Україні поставили перед державою та її управлінськими структурами низку складних викликів. Публічне управління, націлене на забезпечення стабільності, ефективного управління ресурсами та підтримки населення, стикається з безпрецедентним навантаженням, що вимагає гнучкості, адаптивності та нових підходів. У таких кризових обставинах традиційні методи управління часто виявляються недостатньо ефективними, тому виникає потреба у впровадженні інноваційних управлінських підходів, які можуть допомогти у швидкому реагуванні на виклики і мобілізації громадянського суспільства.

Одним із таких підходів є застосування методів поведінкової економіки, яка дозволяє краще зрозуміти мотиви та дії громадян, адаптувати управлінські рішення до їхніх потреб і впливати на суспільну поведінку, не вдаючись до обмежувальних заходів. Поведінковий підхід, зокрема концепція «підштовхування» (nudge), має великий потенціал для покращення комунікації між владою та населенням, сприяння соціальній згуртованості та посиленню довіри до державних інституцій в умовах війни.

Однак імплементація поведінкового підходу в публічному управлінні України стикається з низкою бар'єрів. Серед них – високий рівень стресу та недовіри у суспільстві, обмежені ресурси, складність прогнозування реакцій громадян в умовах постійної небезпеки, а також етичні дилеми, пов'язані з використанням інструментів поведінкових змін. Крім того, відсутність системного досвіду використання поведінкових підходів в українському державному управлінні утруднює їхнє впровадження.

Саме тому постає проблема: як інтегрувати поведінковий підхід у публічне управління України в умовах воєнного стану, з огляду на виклики, пов'язані з соціально-психологічними бар'єрами, етичними аспектами та обмеженням ресурсів. Розв'язання цієї проблеми є критично важливим для підвищення ефективності державного управління в умовах кризи та підтримки соціальної стійкості.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні дослідження вітчизняних науковців висвітлюють різні аспекти публічного управління в Україні в умовах воєнного стану. Борщевський В. В., Василиця О. Б., Матвеев С. Е. [1], Миколук А. В. [5], Мельниченко Б. Б. [4] приділяють увагу питанням інституційних трансформацій, особливостям стратегічного планування, механізмам забезпечення ефективності публічного управління в кризових умовах.

Дослідники також розглядають організаційно-правові аспекти функціонування системи публічного управління під час збройного конфлікту. Семикрас О. В. [6-7], Кравченко П. А., Безруков С. І. [3] та Котовська І. В. [2] виокремлюють потенціал застосування поведінкового підходу, який може підвищити дієвість управлінських рішень в кризових ситуаціях.

Проте, варто зазначити, що кількість наукових розробок щодо публічного управління в умовах воєнного стану все ще є недостатньою. Невирішеними залишаються питання практичної імплементації поведінкових інструментів в публічному управлінні, особливо в контексті адаптації до умов повномасштабної війни.

### Формування мети дослідження

Метою цієї статті є дослідити можливості й обмеження впровадження поведінкового підходу в публічне управління України в умовах воєнного стану.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Поведінкова наука – це міждисциплінарний підхід, який охоплює вивчення людської поведінки та розробку стратегій її зміни. Він спирається на дослідження та методи з різних галузей, включаючи когнітивні науки, економіку, психологію, соціологію, нейронауку та науки про прийняття рішень. За останні роки наука про поведінку значно розширила наше розуміння того, як психологічні, соціальні та культурні чинники, що керують людською поведінкою, впливають на результати політики. Отже, державні органи в усьому світі все частіше використовують поведінковий підхід для розробки та впровадження кращої державної політики на основі даних про реальну поведінку громадян і компаній [8].

Поведінкова наука відіграє все більшу роль у державній політиці, і вона ставить нові питання щодо фундаментальних питань – ролі уряду, свободи вибору, патерналізму та добробуту людини. У різних країнах державні службовці використовують поведінкові дані для боротьби з серйозними проблемами – бідністю, забрудненням повітря, безпекою на дорогах, COVID-19, дискримінацією, працевлаштуванням, зміною клімату та гігієною праці [2].

Поведінкові дослідження стали невід'ємною складовою державної політики в багатьох країнах світу, демонструючи значний потенціал для подальшого розвитку та впровадження. Розглянемо ключові аспекти їхнього ефективного застосування у державному секторі.

Етичні засади впровадження. Зростаюче використання поведінкового підходу вимагає розробки чітких стандартів та етичних принципів. Це необхідно для запобігання потенційним зловживанням та забезпечення прозорості у використанні поведінкових інструментів державними органами.

Стратегія впровадження. Державні установи можуть реалізовувати поведінкові дослідження через низку послідовних етапів: проектні семінари, лабораторне тестування, польові експерименти (за можливості). Така поетапність дає можливість оптимізувати використання ресурсів, удосконалити методологію, підвищувати якість кінцевих результатів. Крім того, важливо забезпечити прозорість щодо рівня залучення поведінкових експертів, обсягу використаних ресурсів, зобов'язань щодо подальшої імплементації.

Роль даних. Якісні та надійні дані є фундаментом поведінкових досліджень. Їхня значущість визначається можливістю верифікації, стійкістю до публічної перевірки та відповідністю науковим стандартам [3].

Однак важливо розуміти, що самі по собі дані не є доказовою базою. Для ефективного формування державної політики необхідно, системно аналізувати зібрані дані, враховувати контекст їх отримання, вдосконалити методи збору й обробки інформації та створювати контрольні групи для порівняння результатів.

Методологія валідації результатів. Валідація результатів поведінкових досліджень здійснюється у двох ключових напрямках: внутрішня та зовнішня валідність. Внутрішня валідність забезпечується через проведення повторних досліджень в аналогічних умовах із застосуванням індуктивного наукового методу. Це дозволяє верифікувати надійність отриманих результатів та їх відтворюваність.

Зовнішня валідність передбачає перевірку ефективності застосованих підходів у різних контекстуальних умовах. Особлива увага приділяється впливу соціокультурних норм та специфічних особливостей різних середовищ на результативність поведінкових інтервенцій.

Диференціація цільових груп. Важливим аспектом методології є визнання обмеженості впливу програм на різні групи населення. Дослідження демонструють необхідність врахування правового та культурного контексту під час розроблення поведінкових втручань. Це зумовлює потребу в адаптації стратегій відповідно до специфіки конкретних цільових груп.

Система моніторингу та оцінювання. Ефективність поведінкових досліджень значною мірою залежить від якості системи моніторингу. Ключовими компонентами такої системи є: відстеження короткострокових та довгострокових ефектів, виявлення стійких поведінкових змін, ідентифікація непередбачених наслідків, адаптація до контекстуальних змін і систематичне оцінювання результатів втручання [6, 7].

Забезпечення прозорості досліджень. Питання прозорості є критичним для легітимізації поведінкових досліджень у державному секторі. Це передбачає впровадження системи регулярної звітності, пошук балансу між відкритістю та ефективністю втручань, підтримку довіри до державних інституцій, дотримання високих стандартів методології.

Економічне оцінювання ефективності. Особливої уваги потребує питання економічного оцінювання поведінкових досліджень. Необхідним є детальний облік витрат на впровадження, спростування поширених міфів про «нульові витрати», забезпечення прозорості фінансових аспектів, проведення порівняльного аналізу витрат і переваг і застосування стандартизованих критеріїв оцінювання ефективності [5].

Ключовими принципами поведінкового аналізу в літературі про культуру безпеки є:

– значна кількість досліджень демонструє, що ми обробляємо ту саму інформацію по-різному залежно від того, від кого ми її отримали. У поведінкових науках це зазвичай називають «ефектом месенджера». Наприклад, люди з більшою ймовірністю повірять повідомленням, які надходять від експерта чи авторитетної особи. Вони також більш імовірно відповідатимуть поведінковим аспектам повідомлення, зменшуючи загальну кількість порушень. Люди також більше цінують інформацію від людей, до яких вони позитивно ставляться, або тих, хто трохи схожий на них самих, як-от обмін знаннями між однолітками або динаміка між групою та поза групою [6];

– соціальна природа людини зумовлює нашу схильність орієнтуватися на поведінку оточуючих як на модель для власних дій. Це відбувається через два ключові психологічні механізми:

1. Соціальний бенчмаркінг. Людям властиво шукати зворотний зв'язок для коригування власної поведінки. Наявність чітких орієнтирів допомагає зменшити кількість помилкових рішень, краще усвідомлювати наслідки своїх дій і адаптувати поведінку відповідно до ситуації. Коли особистий досвід обмежений, ми природно звертаємося до досвіду інших людей та їхніх результатів. Такий соціальний бенчмаркінг стає важливим інструментом для калібрування власної поведінки відповідно до ситуації.

2. Соціальні норми. Дослідження демонструють, що люди постійно аналізують своє соціальне та фізичне середовище, щоб визначити прийнятні моделі поведінки. Особливо важливою є поведінка представників власної соціальної групи. Соціальні норми виступають як:

- орієнтир для прийняття рішень;
- стандарт прийнятної поведінки;
- індикатор групової приналежності.

Вплив групової приналежності часто призводить до автоматичного наслідування поведінки інших членів групи. Цей механізм успішно використовується у різних сферах, наприклад, охорона здоров'я, екологічна поведінка, програми розвитку тощо;

– сила «взаємності» для спонукання до співпраці також є добре відомим ефектом у поведінковій літературі. Як соціальні істоти, люди люблять виконувати обіцянки та відповідати взаємністю. Тому, коли люди помічають, що інші витрачають час, щоб щось зробити за них, вони, швидше за все, продовжуватимуть це починання. Наприклад, змінити поведінку можна, записавши обіцянку або зобов'язання щось зробити (наприклад, дотриматися крайнього терміну) [9, 10].

Під час кризи чи надзвичайної ситуації комунікація є одним із найважливіших важелів, які уряд може використати для досягнення своїх цілей і підтримки народу України. Державні органи мають бути надійним джерелом точної, актуальної та своєчасної інформації під час таких ситуацій, щоб координувати реагування, підтримувати безпеку та направляти людей для допомоги та підтримки. Неefективна комунікація або її відсутність під час кризи може суттєво знизити результативність антикризових заходів. Ситуація додатково ускладнюється через активну ворожу дезінформацію. Кризові ситуації за своєю природою характеризуються нестабільністю та непередбачуваністю, що створює значні перешкоди для стратегічного планування та прогнозування суспільної поведінки. Саме тому традиційні підходи до кризової комунікації базуються на певних базових припущеннях щодо реакцій та поведінкових патернів громадськості.

Проте сучасні наукові дослідження у сфері кризових комунікацій (які особливо активізувалися під час пандемії COVID-19) ставлять під сумнів усталені уявлення про поведінку населення під час кризи. Науковці виявили, що деякі комунікаційні стратегії можуть призводити до протилежних від очікуваних результатів або мати неочікувані побічні ефекти.

Ключовим чинником успішності урядової комунікації є рівень довіри населення до влади. За низького рівня довіри люди схильні ігнорувати офіційні повідомлення та звертатися до альтернативних джерел інформації, що суттєво знижує ефективність комунікаційних зусиль. Численні дослідження довіри до інституцій виявили три основні чинники, які визначають сприйняття урядових структур (та інших організацій) як надійних джерел інформації:

- a) Компетентність: чи досягає уряд результатів і, чи виконує свої зобов'язання.
- b) Чесність: чи уряд діє чесно, чи говорить правду та, чи діє відповідно до своїх цінностей і обіцянок.
- c) Доброзичливість: чи піклується уряд про добробут своїх громадян і прагне покращити їхні умови.

У кризових ситуаціях суспільство часто стикається з невизначеністю щодо оптимального способу дій. Дослідження показують, що масова паніка – це радше виняток, ніж правило. Натомість люди активно шукають чітких і своєчасних рекомендацій від органів влади для прийняття виважених рішень.

Рівень довіри до влади безпосередньо впливає на сприйняття офіційної інформації. Якщо громадяни сумніваються у правдивості урядових повідомлень та їхній спрямованості на суспільне благо, вони менш схильні:

- довіряти офіційній оцінці ризиків;
- слідувати рекомендованим заходам безпеки;
- вживати необхідних дій у надзвичайних ситуаціях.

Брак довіри до офіційних джерел створює інформаційний вакуум, який можуть заповнити недоброчесні комунікатори. Оскільки потреба в інформації та вказівках залишається, люди звертаються до альтернативних джерел. Це не лише підриває здатність уряду ефективно інформувати про ризики та необхідні захисні дії, але й створює сприятливе середовище для поширення дезінформації.

Специфіка необхідних дій визначається характером кризи і може включати:

- превентивні заходи (як-от створення продовольчих запасів);
- реактивні дії (наприклад, термінова евакуація).

Водночас деякі кризові ситуації вимагають абсолютно нових моделей поведінки, які потрібно засвоювати в екстреному порядку (як-от екстрена евакуація), тоді як інші спираються на звичні дії (наприклад, дотримання гігієни). Розуміння цих відмінностей критично важливе для розробки ефективних комунікаційних стратегій.

У кризових ситуаціях першочерговим завданням комунікації має бути спонукання до конкретних дій, а не лише формування певних поглядів чи переконань. Хоча погляди й можуть впливати на поведінку людей, самі по собі вони не гарантують необхідних змін у діях.

Візьмомо приклад: підвищення рівня тривожності щодо ракетних обстрілів не обов'язково призведе до того, що люди підготують тривожні валізи. Навіть якщо людина усвідомлює ризики, на її рішення щодо підготовки екстреної валіжки впливає багато інших чинників. Тому фокус лише на підвищенні занепокоєння не забезпечує досягнення бажаного результату.

Ефективний підхід до кризової комунікації можна розглянути на прикладі методології Джона Кребса, колишнього керівника Агентства з харчових стандартів Великої Британії. Його багаторічний досвід управління кризовими ситуаціями дозволив розробити структурований підхід до урядової комунікації, спрямований на заспокоєння громадськості, її інформування та мотивацію до конструктивних дій.

Основні принципи комунікації за методом Кребса:

Як комунікувати:

- забезпечити регулярність і високу частоту комунікації;
- використовувати лише перевірені джерела та канали зв'язку;
- бути готовими до оперативного оновлення інформації.

Що комунікувати:

- надавати всю наявну достовірну інформацію;
- чітко означати зони невизначеності;
- пояснювати дії влади та їхню мету (включно з заходами подолання кризи та зменшення невизначеності);
- надавати чіткі інструкції щодо необхідних дій громадян з обґрунтуванням;
- інформувати про терміни наступних оновлень [11].

Такий підхід забезпечує системність і ефективність кризової комунікації, спрямованої на досягнення конкретних поведінкових змін.

На основі поведінкових принципів можна запропонувати стратегії для підвищення ефективності публічного управління в Україні в умовах воєнного стану:

1. Громадяни під час кризи часто перевантажені інформацією і не завжди реагують на важливі повідомлення. Для забезпечення своєчасного інформування про небезпеку та підтримку під час евакуації, державні органи можуть використовувати SMS- або push-сповіщення з чіткими, короткими повідомленнями. Наприклад, повідомлення мають включати прямі інструкції та потенційні наслідки, якщо людина не вживе необхідних дій. Це сприятиме швидшому реагуванню населення на інструкції та зменшенню паніки.

2. У кризових ситуаціях поширені надмірна самовпевненість або, навпаки, панічні настрої серед громадян, що може призвести до небезпечної поведінки. Задля уникнення подібних ситуацій можна розміщати на вулицях або дорогах біля небезпечних зон візуальні маркери або знаки, що спонукатимуть до обережності. Наприклад, встановлення світлових знаків або смуг для уповільнення руху в небезпечних місцях допоможе водіям знизити швидкість. Інша стратегія – це регулярне публікування коротких відеороликів про реальні випадки, які нагадують громадянам про ризики, пов'язані з недотриманням заходів безпеки.

3. У кризових умовах люди можуть підсвідомо орієнтуватися на поведінку інших. Використання соціальних норм може бути ефективним інструментом для зміни поведінки. Надсилання інформаційних листів або повідомлень про те, як більшість жителів району дотримується заходів безпеки, економить ресурси або бере участь у волонтерських ініціативах. Наприклад, якщо 70% жителів району дотримуються вимог безпеки, публічне повідомлення цього показника може спонукати інших наслідувати цю поведінку.

4. Досягнення довгострокових цілей, таких як забезпечення сталості та безпеки, вимагає постійної підтримки громадян. Для підтримки внутрішньо переміщених осіб або тих, хто постраждав від воєнних дій, можна запровадити програми, що включають «план зобов'язань». Наприклад, регулярні зустрічі з соціальними працівниками або волонтерами для обговорення плану відновлення чи психологічної підтримки допоможуть громадянам поступово повертатися до нормального життя. Важливо також надавати регулярний зворотний зв'язок про їхній прогрес для підтримки мотивації.

Ці поведінкові стратегії спрямовані на підтримку соціальної згуртованості, зменшення панічних настроїв і забезпечення готовності громадян до кризових дій, що є вкрай необхідним у поточних умовах для України.

### Висновки

Впровадження поведінкового підходу в публічне управління України в умовах воєнного стану має значний потенціал, але також стикається з низкою викликів. Ключові можливості включають підвищення ефективності комунікації влади з населенням, формування бажаної поведінки громадян під час кризи та зміцнення соціальної згуртованості. Однак реалізація цього підходу потребує подолання соціально-психологічних бар'єрів, таких як низький рівень довіри до влади, обмежені ресурси та етичні дилеми щодо використання поведінкових інструментів.

Для успішної інтеграції поведінкових інструментів у публічне управління в умовах війни важливо дотримуватися певних принципів, зокрема: 1) використання надійних та авторитетних джерел інформації; 2) застосування соціальних норм для зміни небажаної поведінки; 3) залучення громадян до процесу прийняття зобов'язань; 4) забезпечення достатньої кількості якісних даних та їх постійного моніторингу; 5) дотримання прозорості та підзвітності у використанні поведінкових інструментів.

Впровадження поведінкового підходу в публічне управління України в умовах воєнного стану вимагає комплексного та стратегічного підходу. Це може включати пілотні проекти, навчання державних службовців, а також постійний діалог із громадянським суспільством для розв'язання етичних питань і підтримки довіри до влади. Лише за такого підходу поведінковий аналіз зможе повною мірою допомогти українській владі ефективно управляти кризою та підтримувати стійкість громадян.



## Список використаної літератури

1. Борщевський В. В., Василиця О. Б., Матвеев Є. Е. Публічне управління в умовах воєнного стану: інституційні трансформації, стратегічне планування та механізми розвитку. *Держава та регіони. Серія: Публічне управління і адміністрування*, 2022 р., № 2 (76). С. 30–35. DOI <https://doi.org/10.32840/1813-3401.2022.2.5>
2. Котовська І. В. Інституційний та поведінковий підходи до публічного адміністрування. *Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя*, 2016. С. 229–230
3. Кравченко П. А., Безруков С. І. Проблема обмеження свободи вибору в лібертаріанському патерналізмі. *Філософські обрії : наук.-теорет. журн. / Ін-т філософії імені Г. С. Сковороди НАН України*, Полтав. нац. пед. ун-т імені В. Г. Короленка. Вип. 41. Київ ; Полтава, 2019. С. 108–120.
4. Мельниченко Б. Б. Публічне управління в Україні в умовах воєнного стану. *Держава та регіони. Серія: Право*, 2023 р., № 2 (80). С. 92–96. DOI <https://doi.org/10.32840/1813-338X-2023.2.15>
5. Миколюк А. В. Публічне управління в умовах військового стану: питання ефективності. *Публічне управління і адміністрування в Україні*, 2022 р., № 49. С. 45–48. DOI <https://doi.org/10.32843/pma2663-5240-2022.29.8>
6. Семикрас О. В. Концептуальні засади поведінкового врядування. *Наукові праці Міжрегіональної академії управління персоналом. Політичні науки та публічне управління*, 2022. Випуск 5 (65). С. 60–68. DOI [https://doi.org/10.32689/2523-4625-2022-5\(65\)-10](https://doi.org/10.32689/2523-4625-2022-5(65)-10)
7. Семикрас О. В. Теоретичні засади біхевіористського публічного управління. *Глобалізаційні виклики: урядування майбутнього : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 7–8 черв. 2022 р.) / за заг. ред. Л. Г. Комахи*. Київ : ННІ ПУДС КНУ імені Тараса Шевченка, 2022. С. 312–313.
8. Хомишин І.Ю. Публічна служба в умовах війни. *Електронне наукове видання «Аналітично-порівняльне правознавство»*, 2023 р. № 3. С. 308–312.
9. Bhanot S., Linos E. Behavioral Public Administration: Past, Present, and Future. *Public Administration Review*. 2019. 80. DOI: 10.1111/puar.13129
10. Drury, J., Carter, H., Ntontis, E., Guven, S. T. Public behaviour in response to the COVID-19 pandemic: understanding the role of group processes. *BJPpsych open*, 2021. № 7(1).
11. GCS Behavioural Science Team. Crisis communication: A behavioural approach. London: Government Communication Service, 2022.

## References

1. Borshchevskiy, V. V., Vasylytsia, O. B., & Matvieiev, Ye. E. (2022). Public administration in the conditions of martial law: institutional transformations, strategic planning and development mechanisms. *Derzhava ta rehiony. Seriya: Publichne upravlinnia i administruvannia*, 2(76), 30–35. <https://doi.org/10.32840/1813-3401.2022.2.5>
2. Kotovska, I. V. (2016). Institutional and behavioral approaches to public administration. *Materialy XIX naukovoi konferentsii TNTU im. I. Puluiia*, 229–230.
3. Kravchenko, P. A., & Bezrukov, S. I. (2019). The problem of restricting freedom of choice in libertarian paternalism. *Filosofski obrii : nauk.-teoret. zhurn.*, 41, 108–120.
4. Melnychenko, B. B. (2023). Public administration in Ukraine in the conditions of martial law. *Derzhava ta rehiony. Seriya: Pravo*, 2(80), 92–96. <https://doi.org/10.32840/1813-338X-2023.2.15>
5. Mykoliuk, A. V. (2022). Public administration in the conditions of martial law: issues of efficiency. *Publichne upravlinnia i administruvannia v Ukraini*, 49, 45–48. <https://doi.org/10.32843/pma2663-5240-2022.29.8>
6. Semykras, O. V. (2022a). Conceptual principles of behavioral governance. *Naukovi pratsi Mizhrehionalnoi akademii upravlinnia personalom. Politychni nauky ta publichne upravlinnia*, 5(65), 60–68. [https://doi.org/10.32689/2523-4625-2022-5\(65\)-10](https://doi.org/10.32689/2523-4625-2022-5(65)-10)
7. Semykras, O. V. (2022b). Theoretical principles of behavioral public administration. *Hlobalizatsiini vyklyky: uriaduvannia maibutnoho : materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. (Kyiv, 7–8 cherv. 2022 r.)*, 312–313.
8. Khomyshyn, I. Yu. (2023). Public service in the conditions of war. *Elektronne nauкове vydannia "Analitichno-porivnialne pravoznavstvo"*, 3, 308–312.
9. Bhanot, S., & Linos, E. (2019). Behavioral Public Administration: Past, Present, and Future. *Public Administration Review*, 80. <https://doi.org/10.1111/puar.13129>
10. Drury, J., Carter, H., Ntontis, E., & Guven, S. T. (2021). Public behaviour in response to the COVID-19 pandemic: understanding the role of group processes. *BJPsych open*, 7(1). <https://doi.org/10.1192/bjo.2020.139>
11. GCS Behavioural Science Team. (2022). Crisis communication: A behavioural approach. Government Communication Service.

## СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

УДК 1.12:155.9/3.30:37

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.4.62>

Г. Д. БЕРЕГОВА

доктор філософських наук, професор,  
професор кафедри економіки, підприємництва  
та економічної безпеки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-2418-7178

ФІЛОСОФІЯ ПСИХОЛОГІЇ ЯК ПОВЕДІНКОВА НАУКА  
ТА НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА

У роботі розглянута роль міждисциплінарних досліджень загалом і соціально-поведінкових наук зокрема в освітньому середовищі. Зосереджено увагу на філософії психології як поведінковій науці та навчальній дисципліні. Підкреслено роль філософії психології в сучасному освітньому процесі, оскільки ці знання формують світогляд майбутніх фахівців і є важливими для пізнання, духовно-теоретичного й громадянського самовизначення особистості. Аргументовано виникнення на основі філософії психології психософії, в основі якої лежить феномен роботи психічного апарату та сутність психологічного досвіду людини. Зазначено, що психософія, як нова методологія, органічно поєднує психологічне знання та філософського мислення, а також виходить із положень, де (1) розвиток філософії прийнято за розвиток ідей про людину; (2) психіка людини, вся психіка в її цілісності, у найбільш широкому її розумінні – це і є сама людина. Запропонована нова гносеологічна модель дозволяє системно вивчати феномен людини як найскладнішу відкриту систему, а також надавати конкретній людині реальну допомогу реалізувати себе, актуалізувати свої резерви.

Обґрунтовано раціональність вивчення філософії психології у вищих закладах освіти, зокрема через модуль з історії філософії психології, що охоплює донаукову психологію, досвід психоаналізу, пост психоаналітичний період та гуманістичну філософію психології. Також зосереджено увагу на методичному аспекті вивчення філософії психології, оскільки філософія психології як навчальна дисципліна виконує важливі методичні функції: сприяє розвитку науково-раціонального стилю мислення студентів, удосконалює навички продуктивно-осмисленого читання філософсько-психологічної літератури та вирішення філософсько-світоглядних проблем.

У висновках зазначено зростаючий науковий інтерес до соціальних і поведінкових наук, розширення діапазону для вибору навчальних дисциплін міждисциплінарного характеру, що у сукупності має формувати сучасний науковий світогляд студентів через змістове наповнення навчальних курсів.

**Ключові слова:** соціальні науки, поведінкові науки, філософія психології, психософія, гносеологічна модель, освітнє середовище.

H. D. BEREHOVA

Doctor of Philosophical Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Economics, Entrepreneurship  
and Economic Security  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-2418-7178

## PHILOSOPHY OF PSYCHOLOGY AS A SCIENCE OF BEHAVIOR AND AN ACADEMIC DISCIPLINE

The article examines the role of interdisciplinary research in the field of general and socio-behavioral sciences in particular in the educational environment. The main attention is focused on the philosophy of psychology as a behavioral science and an academic discipline. The role of the philosophy of psychology in the modern educational process is emphasized, since this knowledge forms the worldview of future specialists and is important for cognition, spiritual-theoretical and civic self-determination of the individual. The emergence of psychosophy is argued on the basis of the philosophy of psychology, which is based on the phenomenon of the work of the mental apparatus and the essence of human psychological experience. It is noted that psychosophy as a new methodology organically combines psychological knowledge and philosophical thinking, and also proceeds from positions where (1) the development of philosophy is perceived as the development of ideas about man; (2) the human psyche, the entire psyche in its entirety, in a broad sense – is the person himself. The proposed new epistemological model allows for a systematic study of the phenomenon of man as the most complex open system, as well as providing a specific person with real assistance in self-realization, actualization of his reserves.

The rationality of studying the philosophy of psychology in higher educational institutions is substantiated, in particular through a module on the history of the philosophy of psychology, which covers pre-scientific psychology, the

*experience of psychoanalysis, the post-psychoanalytic period and humanistic philosophy of psychology. Attention is also focused on the methodological aspect of studying the philosophy of psychology, since the philosophy of psychology as an academic discipline performs important methodological functions: it contributes to the development of a scientific and rational style of thinking of students, improves the skills of productive activity, and meaningful reading of philosophical and psychological literature and solving philosophical and worldview problems.*

*The findings indicate a growing scientific interest in social and behavioral sciences, an expansion of the range of choices of interdisciplinary academic disciplines, which together should, through the content of educational courses, form a modern scientific worldview of students.*

**Key words:** *social sciences, behavioral sciences, philosophy of psychology, psychoscopy, epistemological model, educational environment.*

### Постановка проблеми

Нині зростає роль міждисциплінарних досліджень загалом і соціально-поведінкових наук зокрема. Соціальні науки мають певні подібні риси та перетин з такими предметами, як історія, педагогіка, психологія, однак предмет вивчення подається з дещо іншої позиції, оскільки акцент робиться на аспектах буття людини в проекції на її громадську діяльність. Поведінкові науки (психологія, соціологія, психофізіологія, нейронні мережі, соціальне пізнання, соціальна психологія, етологія тощо) займаються вивченням поведінки людини та суспільства.

Філософія психології є відносно молодого наукою серед соціально-поведінкових, а наукові дослідження з цього спрямування є ще досить рідкісними, особливо в Україні.

Філософія психології як навчальний предмет є зокрема частиною освітньої складової (дисципліною, що формує загальні компетенції) ОПП Психологія управління підготовки другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 053 Психологія у Херсонському національному технічному університеті.

Роль цієї дисципліни в освітньому процесі нині є беззаперечною, оскільки філософія психології систематизує вже відомі магістрам вчення з філософії науки та психології, а також сприяє засвоєнню нових, у тому числі сучасних наукових, когнітивних, соціально-дискурсивних та інших вчень.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження з філософії психології проводяться в Інституті психології імені Г. С. Костюка Національної академії педагогічних наук України. Тут вивчаються історичні передумови, особливості та специфіка провідних ідей в українській психологічній думці. Також дослідження з філософії психології проводяться й зарубіжними дослідниками. Так, першу лабораторію прикладної психології у США заснував В. Джеймс у Гарвардському університеті ще в 1892 році (зокрема його робота «Принципи психології» мала значний вплив на розвиток науки). Німеччина є батьківщиною експериментальної психології: В. Вундт заснував першу лабораторію експериментальної психології в Лейпцигу в 1879 році. Британські психологи Дж. Локк та Т. Рейд пропагували емпіризм і підкреслювали першість почуттів у пізнанні. Як бачимо, дослідження з філософії психології в США, Німеччині та Великобританії мають багату історію та різноманітні підходи [2].

### Формулювання мети дослідження

Метою цієї роботи є формування критичного ставлення до філософії психології як поведінкової науки та навчальної дисципліни, а також привернення уваги до сучасних наукових міждисциплінарних (когнітивних, психофізіологічних і патопсихологічних) філософсько-психологічних досліджень.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Філософія і психологія нерозривно пов'язані, оскільки предметом обох спрямувань є психіка, мозок, душа, свідомість. Однак вони різняться методами дослідження: філософія діє методом розмірковування, а психологія – експериментальна наука: залежно від експериментального методу вирізняються школи й підходи в психології: біхевіоризм, когнітивна психологія, психологія емоцій тощо. Філософія оперує такими категоріями та поняттями, як душа, дух, духовність, свідомість, матерія, енергія, інформація. А психологія розглядає природу психічного, психічні процеси, стани, властивості; детермінацію психіки, психічну діяльність, інформацію та психіку; нервову систему, мозок і психіку; парапсихологічні й теософічні концепції психічного.

### Теоретична складова філософії психології

Філософія психології постає передусім як *світогляд*, метод пізнання і теорія соціального й культурного розвитку, а система «людина – психологія – суспільство» у цій інтерпретації є предметом пізнання та духовно-теоретичного й громадянського самовизначенні особистості.

Філософія психології – це і *філософія науки*: трактування психології в позитивістській філософії науки, логічний позитивізм і його вчення про свідомість, феноменологічна парадигма філософії науки, феноменологічна психологія.

Філософія психології є *експериментальна наука*, що поєднує в собі природничо-наукові й гуманітарні методи дослідження: пояснення й розуміння, екстерналістський та інтерналістський підходи до дослідження психіки. Ще С. Франк намагався створити свою науку про «душевне життя», назвавши це вчення «філософською психологією». Його метод дослідження природний: самоспостереження як живе знання [9, с. 686].

Нині дослідники філософію психології подають як *психософію* – нову методологію, яка базується на феномені роботи психічного апарату людини; в її основі – сутність самого психологічного досвіду. (Увесь світ людини є психологічним досвідом). Психософія розглядає психологічний досвід людини цілісно – у її опосередкованому, живому взаємозв'язку зі світом; утворює універсальну базу для цілісного знання про людину та її знання про світ. Психософія наважується на об'єднання психологічного знання і філософського мислення, але на рівні, де методологія передує знанню, а знання – практиці. На думку О. Романовського, В. Михайличенка та Л. Грень, психософія виходить із двох основних положень: 1) розвиток філософії є по суті розвиток ідей про людину; 2) психіка людини – вся психіка, що розглядається у її цілісності, у самому широкому її розумінні – є сама людина [8, с. 6].

Така нова гносеологічна модель дозволяє системно вивчати феномен людини – найскладнішу відкриту систему, а також надавати конкретній людині реальну допомогу: допомогти їй реалізувати себе, актуалізувати її резерви. Принципи тут: самоспостереження, описування та структурування психічного досвіду, перетворення його на знання.

Психософія пропонує простий, ємний, а головне – природний шлях побудови наукового знання, основа якого полягає у використанні одвічного психологічного досвіду, що не встиг ще видозмінитися в інтелектуалізованих системах досвіду та знань, які вже є у свідомості, в її кредо. Психологічний досвід необмежений і тому не обмежує й систему науки, він, крім того, є процесуальним, тому що існує тільки у момент безпосередньої взаємодії постачальника інформації та того, хто сприймає.

Філософія психології має свою історію, котра також потребує окремих наукових досліджень. Основні етапи розвитку філософії психології можна окреслити так: донаукова психологія, досвід психоаналізу, пост психоаналітичний період (ситуація) та гуманістична філософія психології.

*Донаукова психологія.* Міфологічна картина світу. Релігійна картина світу. Філософія народжується як світоспоглядання. Начальною сутністю філософії була деяка психологічна допомога людині (з цього, власне, й починалась філософія, будучи діалогом, розвиваючим уявлення людини про світ і про саму себе). Антична філософія. Середньовіччя. Новий час. Філософська антропологія. Розвиток психології. Перші екзистенціалісти: Ф. Ніцше і С. Кієркегор. Г. Лейбніц і несвідома психіка. «Несвідоме» у філософії Ф. Ніцше.

*Досвід психоаналізу.* Класична психоаналітична теорія З. Фройда, котрий уперше створює цілісну теорію особистості. Особистість стає системою. Вона складається із рівнів і динамічних відносин між ними, первісними і набутими закономірностями. З. Фройд пропонує індивідуальну еволюцію – від оральної стадії дитинства до розгорнутого неврозу і психоаналітичної діяльності. Психоаналіз першим у психології протиставив окремому науковому підходу системний; також визначив опірні пункти психології, яка займається психологічним консультуванням. Це теорія особистості і теорія її розвитку. При цьому було акцентовано відносини особистості і соціуму, тому що З. Фройд першим переконливо довів, що коли ми говоримо про особистість, ми передусім говоримо про соціум [10].

Психологічне вчення К. Юнга і Е. Фрома. Методологічні прорахунки психоаналізу: 1) для побудови системи було взято дуже вузьке коло окремих знань про людину й далі з них були виведені деякі закономірності – губилася достовірність; 2) сама теорія не визначилась у «пріоритетах», починаючи з того, чим саме вона займається, – «вивченням» або «лікуванням»; 3) невизначеність призвела змішування у теорії особистості понять соціального та його психічних похідних з феноменом індивідуальності людини. Особистість людини є продукт соціалізації, вона формується у процесі засвоєння і переломлення у людини, яка росте і розвивається, знань і практик, що створені і реалізуються відповідною культурою. Людина не стане особистістю поза культурою, поза мови, поза суспільства. Далі дерево психоаналізу стало розпадатися на окремі гілки. Є. Берн, успішний психоаналітик, оголосив про створення ним нової теорії – трансактного аналізу. «Я» визнається безумовним компонентом усіх елементів його моделі (системи) особистості.

*Новий погляд на системність* Індивідуальна психологія А. Адлера. Аналітична психологія К. Юнга. Відкрите системне пізнання. Піраміда А. Маслоу. Популярності набули підходи біхевіорійного сенсу й когнітивна психотерапія. Учення Д. Карнегі й Р. Хаббарда: відбувається маніпуляція підходами та їх результатами [10].

*Гуманістичне спрямування.* Метою гуманізму є збереження життя як такого, збереження його споконвічності, природності й краси. Поступово ця тенденція проникла й у психологію, перетворившись на «гуманістичний напрям у психології», феномен.

Гуманізм виходить із того, що сутність людини позитивна, людина споконвічно гарна, а її недоліки, вияви агресії чи слабкості – є вторинними, наносними, не відображають справжньої природи людини.

Перша системна модель психології належить Я. Морено, засновнику групової психотерапії. Уведенням поняття «ролі» Я. Морено не «знищує» індивіда, не губить людину за своїми розміркуваннями й орієнтованими соціальними конструктами. Він говорить про те, що «безпосередньо відчутними аспектами того, що називається «Я», є ролі, в яких воно діє [7].

К. Роджерс: людина має право робити те, що хоче, має право бути самою собою, вона вільна від соціальних умовностей. І цим звертанням він фіксує точку огляду в індивідуальності людини [3].

Ф. Пьорлз: «Гештальттерапія – не аналітичний, а інтегративний підхід». Людина стала відкритою системою, і відносини, в яких вона перебуває з іншими людьми, також стали описуватися як відкрита система. Передусім бачимо систему, а потім те, що відбулося в цій системі у результаті її відносин з іншими системами [5].

Як бачимо, основні історичні віхи філософії психології сприяють розвитку критичного мислення й оцінці різних концептуальних і світоглядних точок зору у філософії й психології, здатності до аналізу та зіставлення різних підходів та позицій в онтології та теорії пізнання, здатність порівняльної оцінки та аргументації на захист конкуруючих концепцій філософії психології.

#### **Методичний аспект вивчення філософії психології**

Філософія психології як навчальна дисципліна магістерського рівня освіти виконує важливі методичні функції, а саме: сприяє розвитку зрілого науково-раціонального стилю мислення студентів, зацікавленості у розумінні тенденцій та результатів розвитку сучасного наукового та філософсько-психологічного пізнання, їх співвідношення з іншими фундаментальними галузями духовної культури; удосконалює навички самостійного та продуктивно-осмисленого читання класичної та сучасної філософсько-психологічної літератури; вдосконалює навички культури мислення: вміння змістовно, логічно та аргументовано формулювати та викладати власне бачення філософсько-світоглядних проблем та способів їх аналізу, інтерпретації та вирішення; сприяє оволодінню методологією роботи з новітньою філософсько-психологічною та гуманітарною науковою літературою. З огляду на вище зазначене пропонується вивчення дисципліни у такій інтерпретації:

1. *Філософія психології як міждисциплінарне знання.* Взаємозв'язок філософії та психології. Філософія психології: предмет, об'єкт і завдання. Психософія як нова методологія дослідження психічних процесів. Основні етапи розвитку філософії психології.

2. *Природа психічного та пізнавальні процеси.* Емоційно-вольова сфера: почуття, воля. Пізнавальна діяльність. Сприйняття як основна форма пізнання. Психічне відображення та його активність. Чуттєва тканина свідомості.

3. *Філософсько-психологічні теорії свідомості.* Свідомість як людський феномен. Сфера духовних й інтелектуальних процесів. Аналіз основних напрямів вивчення свідомості. Структура свідомості. Генезис свідомості.

4. *Проблема діяльності у філософії психології.* Праксеологія як філософське вчення про людську діяльність. Підходи психологічної науки до вивчення діяльності. Категорії предметної діяльності. Співвідношення зовнішньої і внутрішньої діяльності. Загальна будова діяльності та її генеза.

5. *Особистість у філософсько-психологічних дослідженнях.* Проблема людини у філософії. Філософська антропологія й антропософія. Особистість як предмет психологічного дослідження. Структура особистості у філософії й психології. Особистісний смисл як основний критерій внутрішнього світу людини.

6. *Світосприйняття та світорозуміння особистості.* Світогляд у філософії та психології. Світогляд і міфологія. Сучасне світорозуміння як основа життєвої активності. Наукові основи свідомості.

7. *Самосвідомість як основа саморозвитку особистості.* Самосвідомість: її значущість та вивчення. Структура самосвідомості. Розвиток самосвідомості. Самосвідомість як психічне явище та рефлексія свідомості. Форми вияву самосвідомості.

Звичайно, такий підбір тем і навчальних питань є варіативним і залежить від багатьох освітньо-педагогічних факторів.

Так, наприклад, у Даремському університеті (Durham University) пропонується трирічний курс «Філософія психології», котрий має і відповідне змістове наповнення: охоплює питання, що стосуються людської психології та природи людського розуму. У межах філософії знаходиться питання «Як виглядає процвітаюче людське життя»; і це має озброїти студентів навичками, необхідними для того, щоб ретельно та глибоко думати про те, що має значення в гарному житті, і як індивідуальне щастя пов'язане з дружбою, стосунками, сім'єю, суспільством, політичною системою та культурою. Елемент психології розроблений так, щоб дати студентам розуміння розуму та поведінки людей і інших тварин.

Тобто, на першому курсі пропонується низка вступних курсів, що представляють основні предметні галузі філософії і вступні модулі з психології. На другому курсі вивчаються обов'язкові модулі з філософії та психології. А третій рік включає дисертацію, яка дозволяє глибоко, незалежно досліджувати тему за вибором студента. Структура повного курсу викладена на сайті навчального закладу [1].

Як бачимо, укладаючи освітньо-професійні програми та комплектуючи каталог вибіркових дисциплін, слід звертати особливу увагу на соціальні та поведінкові науки, що покликані формувати світоглядні позиції сучасного фахівця будь-якої галузі й спеціалізації, не тільки технічних закладів вищої освіти, хоча варто сказати, що саме студентам технічних спеціальностей зачасти бракує соціогуманітарних знань.

Однак вимога часу диктує «радикальні зміни в глобальній освітній системі – зосереджені на проблемі комплексній і міждисциплінарній». І тому маємо «навчити-виховати творчу, мислячу, відповідальну особистість», сформувати «світоглядний каркас молодої людини – погляди, переконання, принципи, ідеали, цінності, вірування, життєві норми та стереотипи» – тобто світогляд молодої людини [4, с. 51].

### Висновки

Як бачимо, нині зростає науковий інтерес до соціальних і поведінкових наук, а також відбувається розширення діапазону для вибору навчальних дисциплін, які є міждисциплінарним знанням, покликаним формувати сучасний науковий світогляд студентів через змістове наповнення навчальних курсів. Таким міждисциплінарним знанням і навчальною дисципліною є філософія психології, котра зосереджується на епістемологічних проблемах, питаннях онтологічного характеру, органічно пов'язана з філософією та теоретичною психологією. Однак філософія психології більше спирається на загальні філософські проблеми та філософські методи, тоді як теоретична психологія спирається на багато суміжних галузей науки.

### Список використаної літератури

1. Philosophy of Psychology. *Durham University*. Retrieved from: <https://www.durham.ac.uk/study/courses/philosophy-and-psychology-cv85/>
2. History of Psychology. *Psychology*. Pressbook. Open Text WSU. Retrieved from: <https://opentext.wsu.edu/psych105nusbaum/chapter/history-of-psychology/>
3. Kelland, Mark D. Carl Rogers and humanistic psychology. *Personality theory in a cultural context*. 2022. Режим доступу: <https://ukrayinska.libretexts.org>
4. Берегова, Г. Просвітницька місія філософії освіти в сучасному світі. *Філософія освіти*. 29(2), 2024. С. 48–59. DOI: <https://doi.org/10.31874/2309-1606-2023-29-2-3>
5. Джойс, Філ; Сілз, Шарлотта. Навички в гештальт-терапії. *Консультування та психотерапія*. К.: Видавництво Ростислава Бурлаки. 2024. 528 с. ISBN 9786177840748.
6. Моклиця М. В. Модернізм як структура: Філософія. Психологія. Поетика. 2. вид., доп. і перероб. Луцьк: РВВ Вежа, 2002. 389 с. ISBN 9666000520, 9789666000524/
7. Морено, Якоб. Психодрама та групова психотерапія. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D0%B1\\_%D0%9B%D0%B5%D0%B2%D1%96\\_%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D0%B1_%D0%9B%D0%B5%D0%B2%D1%96_%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE)
8. Романовський О.Г., Михайличенко В.Є., Грень Л.М. Філософія психології. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. 140 с.
9. Роменець В.А. Душа в екстатичному пориванні до вищих рівнів буття. Психіка, яка сама себе долає. С. Л. Франк. *Історія психології: XIX-XX століття*. К.: Либідь, 2007. С. 685-691.
10. Роменець В.А., Маноха І.П. Історія психології XX століття. К.: Либідь, 1998. 992 с. ISBN 9660601166.

### References

1. Philosophy of Psychology. (2024). *Durham University*. Retrieved from <https://www.durham.ac.uk/study/courses/philosophy-and-psychology-cv85/>
2. History of Psychology. (2024). *Psychology*. Pressbook. Open Text WSU. Retrieved from: <https://opentext.wsu.edu/psych105nusbaum/chapter/history-of-psychology/>
3. Kelland, Mark D. (2022). Carl Rogers and humanistic psychology. *Personality theory in a cultural context*. Retrieved from: <https://ukrayinska.libretexts.org>
4. Berehova, H. (2024). The educational mission of the philosophy of education in the modern world. *Philosophy of Education*. 29(2), pp. 48–59. DOI: 10.31874/2309-1606-2023-29-2-3 [in Ukrainian].
5. Joyce, Phil; Sills, Charlotte. (2024). Skills in Gestalt Therapy. *Counseling and Psychotherapy*. К.: Vydavnytstvo Rostyslava Burlaky. 528 s. ISBN 9786177840748 [in Ukrainian].
6. Moklytsia M. V. (2002). Modernizm yak struktura: Filosofiia. Psykholohiia. Poetyka [Modernism as a structure: Philosophy. Psychology. Poetics]. 2. vyd., dop. i pererob. Lutsk: RVV Vezha. 389 s. ISBN 9666000520, 9789666000524 [in Ukrainian].
7. Moreno, Yakob. (2024). Psykhodrama ta hrupova psykhoterapiia [Psychodrama and group psychotherapy]. Retrieved from: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D0%B1\\_%D0%9B%D0%B5%D0%B2%D1%96\\_%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D0%B1_%D0%9B%D0%B5%D0%B2%D1%96_%D0%9C%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE) [in Ukrainian].
8. Romanovskiy O.H., Mykhailychenko V.Ie., Hren L.M. (2016). Filosofiia psykholohii [Philosophy of psychology]. Kharkiv: NTU «KhPI». 140 s. [in Ukrainian].
9. Romanets V.A. (2007). Dusha v ekstatychnomu poryvanni do vyshchych rivniv buttia. Psykhika, yaka sama sebe dolaie. S. L. Frank [The soul in an ecstatic rush to higher levels of being. The psyche that overcomes itself. S. L. Frank]. *Istoriia psykholohii: XIX-XX stolittia*. К.: Lybid. S. 685-691 [in Ukrainian].
10. Romanets V.A., Manokha I.P. (1998). Istoriia psykholohii XX stolittia [History of psychology of the 20th century]. К.: Lybid. 992 s. ISBN 9660601166 [in Ukrainian].

О. Ю. ЖУКОВА

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри інтелектуальної цифрової економіки  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
ORCID: 0000-0001-8966-8354

## ВПЛИВ ГЛОБАЛІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У СВІТОВІЙ ЕКОНОМІЦІ НА ПРОМИСЛОВУ ДІЯЛЬНІСТЬ

*Економічна глобалізація та її впливи на діяльність підприємств реального сектору економіки не припиняють цікавити чисельних дослідників, організаторів виробництва та бізнесменів. Водночас виявляється, що природа цього унікального явища не має однозначного трактування, а тому результати його аналізу часто виглядають викривленими. З цієї причини виникла потреба узагальнити погляди наших попередників, важливі факти світової економічної історії та викласти власне бачення змісту глобалізації. Наголошено, що вона являє собою систему економічних відносин, які виникають між усіма сторонами, зацікавленими в розв'язанні нагальних проблем. В статті наведено перелік тих, які на сьогодні є найбільш актуальними. Час від часу вони спроможні набувати міждержавного, трансконтинентального або навіть планетарного масштабу. Виявлено, що глобалізація постає перед економічними агентами у двох іпостасях: бізнес-глобалізація та регуляторна глобалізація. Остання складає виключну прерогативу авторитетних міжнародних організацій та промислових альянсів, які за результатами своєї роботи створюють інституціональне підґрунтя для розробки та реалізації проєктів зі створення цінностей та налагоджування ефективних ланцюгів постачання. Окреслено вичерпне коло суб'єктів, які в той чи інший спосіб долучаються до економічної глобалізації. Наведено пропозиції, важливі для усіх, хто небайдуже ставиться до повоєнного відродження суднобудування. Йдеться про ухвалювання рішень на користь зменшення ваги споруди, що має наслідком заощадження палива, про моніторинг споживання та скорочення відходів води й енергії на кожному етапі виробничого процесу. Варто пам'ятати про ланцюги постачання, орієнтовані на сталій розвиток, використання екологічних матеріалів й таких, що придатні для вторинного перероблювання. В підґрунті цих рішень та перебувають вимоги «Нового плану дій циркулярної економіки для чистішої та більш конкурентоспроможної Європи».*

**Ключові слова:** економіка, глобалізація, конкуренція, промисловість, створення вартості, суднобудування, бізнес-глобалізація, регуляторна глобалізація.

O. YU. ZHUKOVA

Ph.D. in Economics, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Intelligent Digital Economy  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding  
ORCID: 0000-0001-8966-8354

## IMPACT OF GLOBALIZATION PROCESSES IN THE WORLD ECONOMY ON INDUSTRIAL ACTIVITY

*The economic globalization and its effects on the activities of enterprises in the real sector of the economy do not cease to interest numerous researchers, organizers of production and businessmen. At the same time, it turns out that the nature of this phenomenon does not have an unambiguous interpretation, and therefore the results of its analysis often look distorted. For this reason, there was a need to summarize the views of our predecessors, important facts of world history and present our own vision of the content of globalization. It is emphasized that it is a system of economic relations that arise between all parties interested in solving urgent problems. The article provides a list of those that are most relevant today. Sometimes they acquire an interstate, transcontinental or even planetary scale. It is revealed that globalization appears before economic agents in two guises: business globalization and regulatory globalization. The latter is the prerogative of international organizations and industrial alliances, which, based on the results of their work, create an institutional basis for the development and implementation of projects for creating values and establishing supply chains. The circle of subjects that in one way or another are involved in economic globalization is outlined. In addition, plausible economic strategies are highlighted that will help take advantage of the fruits of globalization during the post-war revitalization of Ukrainian industry. It was emphasized that the continuation of the research should be to find out how changes in the global division of labor between key players in the international shipbuilding market will affect its enterprises. The risks that economic globalization poses for domestic enterprises are outlined. The proposals are important for all those who are concerned about the post-war revival of shipbuilding. These include making decisions in favor of reducing the weight of the structure, which results in fuel savings, monitoring consumption and reducing water and energy waste at each stage of the production process. It is worth remembering about supply chains oriented towards*

*sustainable development, the use of environmentally friendly and recyclable materials. The requirements of the «New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe» are at the heart of these decisions.*

**Key words:** *economy, globalization, competition, industry, value creation, shipbuilding, business globalization, regulatory globalization.*

### Постановка проблеми

На економічне буття організацій суттєво впливає глобалізація. Термін набув поширення на початку дев'яностих років минулого сторіччя. Щойно закінчилася «холодна» війна, народи відчули потребу в інтенсифікації обмінів: інформацією, товарами, інвестиціями, знаннями. Технологічні та технічні трансформації теж посприяли інтеграційним процесам. В підсумку, безліч продуктів почали рухатися планетою з прискоренням та у більших обсягах. З 1970 р. по 2022 р. частка торгівлі в планетарному ВВП зросли з 26 до 63 відсотків [1]. І це попри серйозні перепони, які з непередбачуваною періодичністю з'являються в різних регіонах, охоплюючи цілі континенти.

Так було з фінансовою кризою 2007-2009 років. Переплетенні банківські системи США та інших держав – ще один наслідок глобалізації – сприяло переливанню негараздів з-за океану. Маємо зауважити, що «медаль» мала й зворотну сторону: уряди та центробанки скоординували фіскальну та монетарну політики заради протидії зниженню споживання, відновлення довіри до ринків цінних паперів, заохочення кредитування.

Так було під час пандемії COVID-19. Розпочавшись в Китаї, вона, завдячуючи трансконтинентальному морському, автомобільному та авіаційному сполученню, стрімко поширилася планетою. І знову, як у попередньому кейсі, спрацювали колективні захисні процедури. Зокрема ЄС з самого початку трагедії розпочав співпрацювати з державами-учасниками, щоб захистити спокій та добробут їхніх громадян, зміцнити національні системи охорони здоров'я та обмежити поширення вірусу [2].

Вочевидь, проблеми набувають часом надзвичайної складності. Самотужки впоратися з ними не можливо. Об'єднання навколо спільних інтересів спонукає до колективних дій з одночасним перебиранням на себе бодай частини відповідальності за здобуті результати. Якщо це так, то отримуємо відповідь на питання, що є визначальним імпульсом до виникнення доцентрових сил та чому вони охоплюють бізнеси, мешканців країн та їх очільників.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зміст категорії «глобалізація» потребує уточнення та подальшого розвитку. Поготів, що серед наших колег однастайності з цього приводу не спостерігається, рівно як не представлено її цілісної теорії. Так, до прикладу, Нартова І.В. та Коломієць Є.О. наголошують на ієрархічності глобалізації, окреслюючи її світовий, галузевий та навіть корпоративний рівень, який залежить від того, наскільки ефективно диверсифіковані надходження та розміщені активи в різних країнах з метою збільшення експорту товарів та послуг й використання місцевих переваг, пов'язаних з ширшим доступом до природних ресурсів та відносно дешевшої робочої сили [3].

Тож виходить, якщо послуговуватися цією логікою, що співпраця з партнерами на високотехнологічних нивах зі створенням продуктів з високою доданою вартістю вже під визначення глобалізації не підпадає. Але це суперечить дійсності. Декілька з цілої низки нещодавніх прикладів:

Сполучені Штати Америки об'єднують зусилля з Фінляндією та Канадою для співпраці у виробництві полярних криголамів [4];

українське оборонне підприємство зі складу Акціонерного товариства «Українська оборонна промисловість», та компанія «THALES» (Бельгія) домовилися про співпрацю щодо виробництва ракет для нищення БПЛА;

Mitsubishi Shipbuilding (Південна Корея) та Nihon Shipyard (Японія) розпочинають спільне дослідження щодо розробки океанського судна, призначеного для транспортування скрапленого вуглекислого газу. У цьому проєкті поєднуються:

– знання та передові технології поводження з газом, які Mitsubishi Shipbuilding набула впродовж проєктування й будівництва суден для зрідженого нафтового та природного газу;

– багатий досвід побудови суден різних типів та застосування передових технологій, які компанія накопичила протягом десятиріч.

Тобто переваги сторін взаємно збагатяться, а спуск об'єкта на воду станеться у 2027 р. [5]. Розглянемо позицію Шергіна С.: «Глобалізація – це новий етап міжнародної конкуренції з поставленим на інформаційно-технологічну базу процесом залучення до міжнародного бізнесу ресурсів та продуктів, що піддаються відтворенню й копіюванню на різних територіях» [6]. Вочевидь, маємо справу з «технологічним» побудуванням, закладеним в основу цієї дефініції. Вона має право на існування. Однак, потрібно оцінити наслідки для «міжнародної конкуренції» трансформацій, які передували Індустрії-5.0, оскільки конкурентна боротьба не є лише сьогочасним фактом.

«Розмовляючи про глобалізацію, – зауважує Фотопулос Т. – люди, поза всяким сумнівом, мають на увазі економічну глобалізацію. Але вона є тільки одним аспектом глобалізації, хоча й основним. Серед інших перебувають технологічний, політичний, культурний та соціальний» [7, с. 233]. Ідея – цікава, оскільки розширює уявлення про глобалізацію, пропонує ставитися до неї з позицій системного підходу. Прихильність до нього спонукала нас до потреби висловитися з приводу природи явища, яке досліджується.



**Формулювання мети дослідження**

Метою статті є визначення змісту глобалізації, концептуальних засад її виникнення, іпостасей, в яких вона постає перед учасниками бізнес-процесів, наслідків для промислових підприємств й суднобудівних, зокрема.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Як на нас, глобалізація – це система економічних відносин, що виникають поміж сторін, зацікавлених в розв’язанні складних проблем міждержавного, трансконтинентального або планетарного масштабу (рис. 1).



**Рис. 1. Концептуальні засади виникнення економічної глобалізації**

Джерело: власні дослідження

Пояснимо причини, з яких запропонована модель виглядає привабливою:

а) вона не сконцентрована виключно на конкурентних системах та світовому ринку або його фрагментах, оскільки ці останні є наслідком, зворотною реакцією на актуальні питання, про ієрархію яких ми щойно говорили. До прикладу, прагнення зробити товари доступнішими за ціною, спонукає менеджмент переносити виробництво в країни з відносно дешевшими ресурсами, вдаючись до прямих іноземних інвестицій. Підтвердження – на рис 2.

Як бачимо, країни Азії та Океанії, що розвиваються, є найбільшим реципієнтом приватних інвестицій (51,2 % їхніх світових надходжень). Власники вільного капіталу знаходять для своєї стратегії «гуманістичне» обґрунтування: люди в країнах, що розвиваються, отримують більше можливостей для самореалізації, споживають кращі продукти, завдяки зростанню особистих та сімейних доходів;

б) виявляється, що вільне, як колись у минулому, протиборство товаровиробників за прихильність клієнтів з опорою на поривання досягнути тільки-но корпоративної ефективності виробничого процесу відійшло у минуле. З'явилися нові пріоритети, новочасні цінності, які домінують. Йдеться, зокрема про співпрацю між співробітниками підприємств та машинами завдяки кіберфізичним системам та технологіям, орієнтацію індустрії на людей. І тих, які залучені в бізнес-процеси та мають виконувати операції, що потребують навичок Homo sapiens, і тих, які є генераторами потреб – споживачів;

з) згідно з виявленими царинами формування економічних відносин, запропоновано два типи глобалізації:

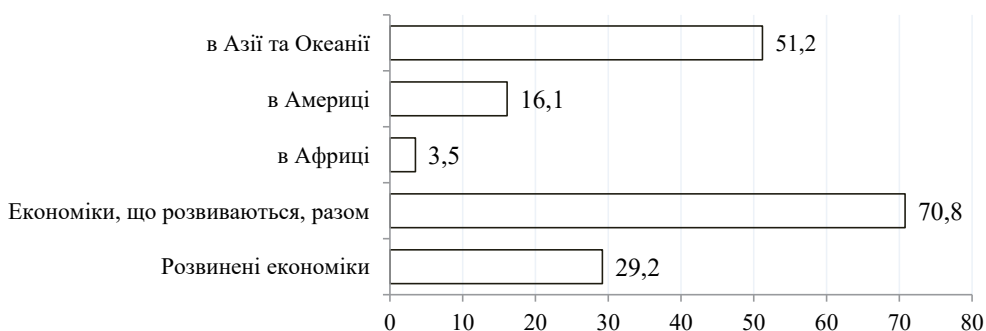


Рис. 2. Обсяги іноземних інвестицій за групами економік, 2022 р., %

Джерело: побудовано за відомостями з [8]

1. Бізнес-глобалізація – та що має відношення до продукування виробів й послуг. Розглянемо її різновиди. Про перший ми вже згадували – прямі іноземні інвестиції у виробництво продуктів, максимально наближене до місць концентрації їхніх споживачів. Його прихильниками є, головним чином, транснаціональні корпорації, якщо йдеться про товари масового споживання. Фактично вони налагоджують за кордоном збиральні виробництва, постачаючи для них усі потрібні компоненти. Наведемо приклади деяких: Tesla, Inc., General Electric, Siemens, BMW Group, SpaceX. Разом з тим, маємо свідчення інвестиційної діяльності й в українському суднобудуванні. Його ініціаторами були, зокрема, нідерландський концерн «Damen Shipyards Group», норвезька група компаній «Aker Yards ASA».

Ще один різновид бізнес-глобалізації пов’язаний з розбудовою глобальних ланцюгів створення вартості та постачання, коли бізнес-процес розкладають на окремі етапи в різних країнах для досягнення ефективного кінцевого виробництва. Як наслідок, більш як дві третини світової торгівлі в наш час відбувається через ГЛСВ. Це свідчить про зміну способів комерції, оскільки в її структурі проміжні товари та послугами домінують над готовою продукцією (рис. 3). За повідомленням Єврокомісії, у 2023 р. їх частка складала, відповідно, 50 % від загального експорту за межі ЄС та 59 % від загального обсягу імпорту, а також 73 % від загального експорту та 82 % від загального обсягу імпорту [9].

Аналіз калькуляцій, контрактної документації корабелень засвідчив, що вартість побудованих суден до 80 % залежить від проміжних ресурсів, які постачаються логістичними каналами. До прикладу, балкери, контейнеровози та танкери потребують порівняно більше таких вхідних ресурсів, як сталевий прокат, силова установка, енергогенерувальне обладнання. А от офшорні судна та ті, що призначені для транспортування скрапленого газу мають більшу потребу в обладнанні для обробки вантажів. Але про що б не йшлося, рахунок іде на сотні тисяч фрагментів інженерної споруди.

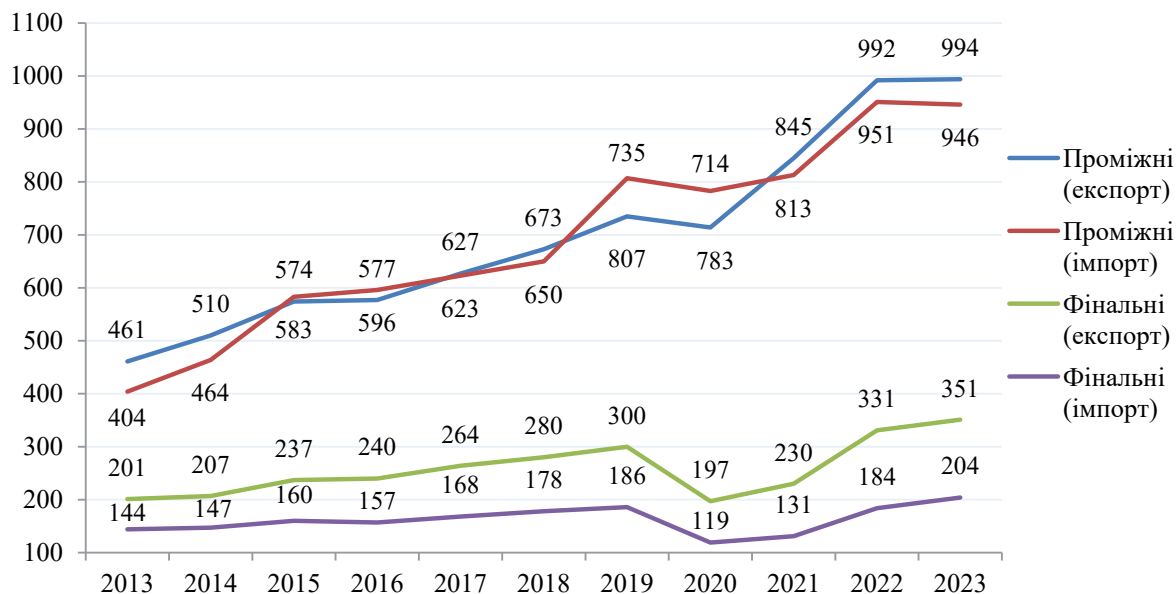


Рис. 3. Експорт та імпорт проміжних й фінальних послуг в ЄС, млрд євро

Джерело: [10]

Так було завжди, але 30–40 рр. тому відповідні події відбувалися в межах однієї країни. Тепер мережі закупівель набували інтернаціональних ознак, а ланцюги поставок охоплюють економіки кількох держав, всі етапи життєвого циклу судна. Пояснення – на поверхні: кожен спеціалізується на тому, що виготовляє найкраще, та ще й використовуючи найменше ресурсів. Це означає, що досконале налаштування глобальних ланцюгів створення вартості (ГЛСВ) є важливою передумовою успіху підприємства.

Тож робимо висновок: вітчизняні корабельні мають опрацьовувати стратегії розробки ефективних систем управління глобальними ланцюгами постачання, формувати у персоналу належні фахові компетенції щодо ділових комунікацій, планування виробництва, здійснення моніторингових заходів з контролю за дотриманням партнерами високих стандартів якості впродовж виготовлення матеріалів й комплектуючих. А той, хто мріє обійтися без участі у глобалізаційних процесах, сподівається відсидітися в національних «домівках», наражається на ризик втратити або не дістатися конкурентних переваг.

Разом з тим, маємо підкреслити, потрібно вдатися до створення запобіжників, які мають захистити бізнес від ризиків та небезпек, що супроводжують інтегрування до ГЛСВ, а саме:

віддавати перевагу коротким (місцевим або транскордонним) логістичним ланцюгам;

створювати резерви стійкості для бізнес-моделей, які використовуються;

скорегувати маркетингові стратегії відповідно до очікувань іноземних споживачів;

віддавати перевагу найновішим технологіям, щоб запобігати надмірним операційним витратам;

змінити внутрішні процеси задля пристосування до нових ринків та адаптації робочої сили з усього світу до стандартів корпоративної поведінки. Не виключно, що це набуватиме особливого значення для українських корабель, яким бракуватиме робочої сили після закінчення бойових дій.

2. Регуляторна глобалізація. Як було з'ясовано, економічна глобалізація вивела господарську діяльність за межі кордонів суверенних держав, позбувшись впливу на неї їхніх законодавчих актів. Скажімо більше:

сучасні судна допомогли започаткувати освоєння просторів відкритого моря, що перебуває за межами юрисдикції прибережних країн;

відмінності щодо їх регуляторної бази були здатні завадити вільній торгівлі та руху капіталу, змушувати бізнес вдаватися до надлишкових витрат, перешкоджати проникненню на привабливі ринки та накладати обмеження на селекцію споживачів.

За відсутності «світового уряду», виникла потреба в міжнародних регуляторних актах. Їхньою розробкою опікуються міжнародні організації, які відіграють ключову роль у сприянні багатостороннім діям та розв'язанні проблеми фрагментації світу, яка може звести нанівець ефективність дії суб'єктів, долучених до глобалізаційних процесів. Йдеться про постійні об'єднання, створені на підґрунті угод, укладених для інтеграції намагань декількох країн розв'язати масштабні нагальні проблеми, до яких учасницям (чинним або потенційним) не байдуже. Як впливає з моделі, представленої на рис. 1, міжнародні організації належать до однієї з двох груп:

а) міжурядові або міждержавні. Головну функцію у їхньому створенні відіграють уряди, які ініціюють установчу ідею. Разом з зацікавленими сторонами-однодумцями вповноваженні представники за визначеною процедурою укладають міжнародний договір (статут організації) або ухвалюють установчу резолюцію. Ці документи регламентують структуру робочих органів, цілі, задачі, які з неї випливають, та напрями діяльності організації, визначаються щодо постійного або регулярного характеру її роботи, використання як основного методу узгодження спільних рішень багатосторонніх переговорів та дискусій, ухвалення рішень шляхом голосування або консенсусу;

б) неурядові організації (МНО) – постійні об'єднання національних професійних спілок, асоціацій, товариств, громадських організацій, міст, науково-дослідних установ, ЗВО, мета яких полягає у розв'язанні нагальних проблем у певній актуальній сфері. Для визнання за тією чи іншою організацією статусу МНО вона має відповідати наступним критеріям:

– бути представленою у двох, як мінімум, країнах та отримувати від них грошові кошти, потрібні для здійснення статутної діяльності;

– мати визнання бодай однієї країни або консультативний статус при міжнародних міжурядових організаціях, демонструвати високий авторитет та вплив на розвиток міжнародних відносин;

– підтверджувати свій неприбутковий статус Тобто не займатися підприємницькою діяльністю, а поточні витрати покривати коштом інших легальних джерел (членські внески, пожертви й таке інше).

В наш час у світі нараховується більш ніж 60 інституцій, які прямо або опосередковано пов'язані з морською діяльністю й суднобудівною, зокрема. Кожна з них посідає належне місце у структурі міждержавних відносин щодо блакитної економіки. А усі разом – сприймаються як важливі компоненти, без яких функціонування усієї системи в цілому навіть складно уявити. Перш за все, з огляду на глобальний характер морської проблематики.

Міжнародні інституції відіграють неоціненну роль у стимулюванні глобалізації перш за все в економічному вимірі, заохочуючи нації до співпраці, переплітаючи ланцюги створення вартості, до яких вони залучаються свідомио або мимо волі. Основну ланку складають міжнародні міжурядові організації універсального та регіонального

характеру. Серед них насамперед – Міжнародна морська організація, Конференція ООН з торгівлі та розвитку, Міжурядова океанографічна комісія ЮНЕСКО та Міжнародна організація морського супутникового зв'язку.

Не обійдемо стороною й професійні асоціації, на кшталт, Європейської ради морського обладнання, Асоціації Європейських корабелень, Асоціації корабелень та постачальники суднового обладнання Європи. Вони об'єднують інжинірингові компанії, корабельні, виробників систем, постачальників обладнання, субпідрядників, військово-морську промисловість, а також компанії та організації з морської екосистеми.

Йдеться про промислові альянси, які мають сприяти досягненню цілей континентальних політик, завдяки узгодженим діям, щільній співпраці на всіх етапах ланцюгів створення вартості. Вони виникають внаслідок добровільного об'єднання широкого кола партнерів, які репрезентують споріднені галузі, державні та приватні організації, великі, середні та малі підприємства, науково-дослідні центри, а також представників громадянського суспільства. Серед завдань, які щоденно розв'язуються:

сприяння проектуванню, будівництву, ремонту, технічному обслуговуванню та модернізації відмінних, безпечних та екологічно чистих суден, морських споруд (незалежно від їхнього прапора чи району експлуатації), продуктів й послуг з використанням найсучасніших технологій;

допомога в економічному обґрунтуванні стійких та цифровізованих суден, морського обладнання в секторах блакитної економіки;

забезпечення стійкості ланцюга постачання, заохочування інновації та конкурентоспроможність європейських корабелень на міжнародному ринку;

підтримка чесної, справедливої, взаємовигідної торгівлі в усьому світі;

співпраця з ММО та іншими регуляторними органами;

лобіювання інтересів галузі в державних, європейських та глобальних інституціях, в громадських колах з метою визнання її як стратегічно важливої та надання всебічної підтримки.

Ми не спроможні оглянути навіть з мінімальною деталізацією усі рішення, які останнім часом ухвалені у сфері регулювання економічних відносин в суднобудівній царині. Тому обмежимося констатацією принципів політичних рішень, які визначають найближче майбутнє галузі. Маємо визнати, що у своїй основі вони мають «Цілі сталого розвитку», ухвалені ООН у 2015 р. [11]. Особливо, що стосується мети 17 «Партнерства заради стійкого розвитку». Вона виходить зі взаємопов'язаності світу (глобалізації), яка зростає, і тому проголошує необхідність:

а) заохочувати та просувати ефективні державні, державно-приватні партнерства та партнерства громадянського суспільства;

б) сприяти універсальній, заснованій на правилах, відкритій, недискримінаційній і справедливій багатосторонній торговій системі в рамках Світової організації торгівлі;

в) поглибити глобальне партнерство з зацікавленими сторонами, які мобілізують та обмінюються знаннями, досвідом, технологіями та фінансовими ресурсами для підтримки досягнення цілей сталого розвитку;

г) сприяти розвитку, передачі, розповсюдженню та поширенню екологічно чистих технологій.

Цім цілям підпорядковані й концептуальні засади виникнення економічної глобалізації. Вони обертаються суворішими нормами щодо впливу на довкілля. Так, скажімо, судна, побудовані на визначену дату мають працювати без емісії забруднювальних речовин або запроваджується заборона продукування об'єктів, які використовують вичерпане паливо. Це з одного боку, а з іншого, – маємо пропозиції, які обов'язково повинні враховувати усі, хто піклується про повне відродження українського суднобудування. Наведемо найбільш значущі з тих, що нам відомі:

ухвалювання рішень на користь зменшення ваги споруди, що тягне за собою заощадження палива, налагодження контролю за температурою як відповідь на попит щодо енергоефективних суден. Так, до прикладу, компанія «Maersk» – ключовий гравець у глобальних логістичних ланцюгах поставок – зобов'язалася до 2040 р. занулити викиди вуглецю [12];

моніторинг за споживанням та скорочення відходів води й енергії на кожному етапі виробничого процесу;

закупівлі у суднобудуванні мають спиратися на стратегії ланцюга постачання, орієнтовані на сталій розвиток. Його координація, особливо щодо вибору головної силової установки відіграє вирішальну роль у створенні вартості, є визначальною для досягнення екологічної ефективності;

використовування екологічних матеріалів й придатних для вторинного перероблення, згідно з «Новим планом дій циркулярної економіки для чистішої та більш конкурентоспроможної Європи» [13]. Йдеться про застосування моделі виробництва та споживання, яка передбачає спільний ужиток, ренти, повторне використання, ремонт, відновлення та перероблення наявних матеріалів й продуктів якомога довше. В планах ЄС, наприклад, побудувати до 2050 р. кліматично нейтральну та циркулярну економіку [14]. Це мають усвідомлювати власники та менеджмент підприємств, які мріють про запрошення нашої держави до європейської «домівки».

### Висновки

1. Попередні сентенції надали можливість зрозуміти природу походження та наслідки глобалізації для перспектив повного відновлення вітчизняних підприємств, які разом та у взаємодії складають систему корабельної галузі в структурі вітчизняної індустрії.

2. Глобалізація знаходить прояви у двох головних економічних царинах: бізнесовій, спонукаючи власників та менеджмент шукати вигідних партнерів по усьому світові, та регуляторній, яка є результатом домовленостей про співпрацю на суходільних чи морських просторах, які перебувають за межами юрисдикції тих чи інших країн.

3. Надалі потрібно з'ясувати, як вплинуть на економічних агентів України зміни у світовому розподілі праці між ключовими гравцями міжнародного суднобудівного ринку.

### Список використаної літератури

1. Trade (% of GDP). World bank group, 2023. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NE.TRD.GNFS.ZS>
2. The EU's response to the COVID-19 pandemic. Council of the European Union. 2024. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/coronavirus-pandemic/>
3. Нартова І.В., Коломієць Є.О. Глобалізація та її вплив на розвиток світового виробництва. Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. 2011, № 3 (48), с. 20-24.
4. US, Canada and Finland Partner to Develop Polar Icebreaker Shipbuilding. The Maritime Executive. 2024. URL: <https://maritime-executive.com/article/us-canada-and-finland-partner-to-develop-polar-icebreaker-shipbuilding>
5. Mitsubishi Shipbuilding and Nihon Shipyard Launch Joint Study for Development of an Ocean-Going LCO<sub>2</sub> Carrier. Mitsubishi Heavy Industries. URL: <https://www.mhi.com/news/23052201.html>
6. Шергін С. Політологічні аспекти глобалізації. *Освіта регіону: політологія, психологія, комунікації*, 2013, № 1. URL: <https://social-science.uu.edu.ua/article/998>
7. Fotopoulos T. Globalization, the reformist Left and the Anti-Globalization «Movement». *Democracy & Nature: The International Journal of Inclusive Democracy*, 2001, Vol. 7, № 2. URL: <https://www.staff.ncl.ac.uk/david.harvey/AEF806/Fotopoulos.pdf>
8. Foreign direct investment. UNCTAD, Handbook of Statistics, 2023. URL: <https://hbs.unctad.org/foreign-direct-investment/>
9. International trade in goods and services by end use. Eurostat, 2024. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International\\_trade\\_in\\_goods\\_and\\_services\\_by\\_end\\_use#:~:text=grew](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_goods_and_services_by_end_use#:~:text=grew)
10. EU intermediate and final services, partner extra-EU, 2013-2023. Eurostat, 2024. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International\\_trade\\_in\\_services\\_statistics\\_by\\_broad\\_economic\\_categories](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_services_statistics_by_broad_economic_categories)
11. The 2030 Agenda for Sustainable Development's 17 Sustainable Development Goals (SDGs). 4 th SDG Youth Summer Camp – SDG Resource Document, 2024. URL: [https://sdgs.un.org/sites/default/files/2020-09/SDG%20Resource%20Document\\_Targets%20Overview.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2020-09/SDG%20Resource%20Document_Targets%20Overview.pdf)
12. Maersk's climate commitments. Sustainability report 2023. URL: <https://www.maersk.com/sustainability/our-esg-priorities/climate-change>
13. A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe. 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>
14. How the EU wants to achieve a circular economy by 2050. European Parliament. 2024. URL: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20210128STO96607/how-the-eu-wants-to-achieve-a-circular-economy-by-2050#the-eu-circular-economy-action>

### References

1. Trade (% of GDP). World bank group, (2023). <https://data.worldbank.org/indicator/NE.TRD.GNFS.ZS>
2. The EU's response to the COVID-19 pandemic. Council of the European Union. (2024). <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/coronavirus-pandemic/>
3. Nartova I.V., Kolomiets Ye.O. (2011) Hlobalizatsiia ta yii vplyv na rozvytok svitovoho vyrobnytstva. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli*, № 3 (48), 20-24.
4. US, Canada and Finland Partner to Develop Polar Icebreaker Shipbuilding. The Maritime Executive. (2024). <https://maritime-executive.com/article/us-canada-and-finland-partner-to-develop-polar-icebreaker-shipbuilding>
5. Mitsubishi Shipbuilding and Nihon Shipyard Launch Joint Study for Development of an Ocean-Going LCO<sub>2</sub> Carrier. (2024). Mitsubishi Heavy Industries. <https://www.mhi.com/news/23052201.html>
6. Sherhin S. (2013). Politolohichni aspekty hlobalizatsii. *Osvita rehionu: politolohiia, psykhologhiia, komunikatsii*, № 1. <https://social-science.uu.edu.ua/article/998>
7. Fotopoulos T. (2001). Globalization, the reformist Left and the Anti-Globalization «Movement». *Democracy & Nature: The International Journal of Inclusive Democracy*, Vol. 7, № 2. <https://www.staff.ncl.ac.uk/david.harvey/AEF806/Fotopoulos.pdf>
8. Foreign direct investment. UNCTAD (2023). Handbook of Statistics. <https://hbs.unctad.org/foreign-direct-investment/>
9. International trade in goods and services by end use. Eurostat. (2024). [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International\\_trade\\_in\\_goods\\_and\\_services\\_by\\_end\\_use#:~:text=grew](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_goods_and_services_by_end_use#:~:text=grew)

10. EU intermediate and final services, partner extra-EU, 2013-2023. Eurostat, (2024). [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International\\_trade\\_in\\_services\\_statistics\\_by\\_broad\\_economic\\_categories](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_services_statistics_by_broad_economic_categories)
11. The 2030 Agenda for Sustainable Development's 17 Sustainable Development Goals (SDGs). 4 th SDG Youth Summer Camp – SDG Resource Document. (2024). [https://sdgs.un.org/sites/default/files/2020-09/SDG%20Resource%20Document\\_Targets%20Overview.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2020-09/SDG%20Resource%20Document_Targets%20Overview.pdf)
12. Maersk's climate commitments. Sustainability report. (2023). <https://www.maersk.com/sustainability/our-esg-priorities/climate-change>
13. A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe. (2020). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>
14. How the EU wants to achieve a circular economy by 2050 European Parliament. (2024). <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20210128STO96607/how-the-eu-wants-to-achieve-a-circular-economy-by-2050#the-eu-circular-economy-action>

## ПРАВИЛА ПРИЙОМУ СТАТЕЙ

### ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У НАУКОВИЙ ФАХОВИЙ ЖУРНАЛ «ВІСНИК ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

Поля – 2 см (нижнє) x 2 см (верхнє), 3 см (ліве) x 1,5 см (праве); абзац – 1,25 см; міжрядковий інтервал – 1,5 см; шрифт – Times New Roman; кегль – 14.

Якщо стаття містить таблиці і (або) ілюстрації, то вони повинні бути компактними, мати назву, шрифт тексту – Times New Roman, розмір – 12 пт. Розмір таблиць та ілюстрацій не повинен бути більше ширини сторінки. Таблиці та ілюстрації повинні бути розміщені у відповідному місці в тексті.

#### **Обов'язкові елементи статті:**

- індекс УДК у верхньому лівому кутку сторінки;
- ініціали та прізвище автора великими літерами, науковий ступінь, вчене звання, посада із зазначенням кафедри, місце роботи, ORCID автора у верхньому правому кутку сторінки;
- назва статті великими літерами, по центру (назва статті подається без використання вузькоспеціалізованих скорочень, крапка в кінці назви не ставиться);
- основний текст статті.

#### **Основний текст статті повинен мати такі виділені елементи:**

- постановка проблеми;
- аналіз останніх досліджень і публікацій;
- формулювання мети дослідження;
- викладення основного матеріалу дослідження;
- висновки;
- список використаної літератури.

Після назви статті обов'язково надаються анотації українською та англійською мовами (текст ідентичний, обсяг – не менше 1800 друкованих знаків, включаючи ключові слова), де вказується назва статті, ініціали та прізвище автора, характеристика основної проблеми, мети, узагальнених результатів та ключові слова.

Посилання на літературні джерела в тексті подають у квадратних дужках.

**Список літератури** наводиться у порядку посилань у тексті згідно з ДСТУ 8302:2015. «БІБЛІОГРАФІЧНЕ ПОСИЛАННЯ. Загальні положення та правила складання» і розміщується після основного тексту.

Після списку літератури, через інтервал в один рядок, розташовують слово **References** та наводиться англійський список літератури (стиль – АРА) наведеного вище списку літератури. Бібліографічний опис кожного джерела має, за наявності, супроводжуватися його ідентифікатором цифрового об'єкта (DOI – Digital Object Identifier), що наводиться через пробіл після бібліографічного опису джерела.

## ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК 667.021.1

В. С. КОРОЛЕНКО

кандидат наук з державного управління, доцент,  
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет

ORCID: ...

І. Ф. БОНДАРЬ

аспірант кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет

ORCID: ...

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
ДЕФОРМУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ГІДРОПРЕСУВАННІ  
ТРУБЧАТИХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*У даній роботі розглянута кінцево-елементна модель процесу гідроекструзії трубчастих заготовок у середовищі високих гідростатичних тисків, необхідних для підвищення пластичності сталі 30ХН2МФА при холодному формоутворенні виробів. Результати моделювання показали можливість реалізувати процес при дії значного гідростатичного тиску (750 МПа) на вільну поверхню заготовки... (не менше 1800 друкованих знаків).*

**Ключові слова:** гідропресування, гідроекструзія, деформування, матриця, моделювання, міцність, надійність, руйнування.

V. S. KOROLENKO

Candidate of Public Administration, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Public Administration and Local Self-Government  
Kherson National Technical University

ORCID: ...

I. F. BONDAR

Postgraduate Student at the Department of Public Administration and Local Self-Government  
Kherson National Technical University

ORCID: ...

**THE RESEARCH OF DEFLECTED MODE OF THE DEFORMING TOOL  
DURING THE HYDRAULIC FORGING OF TUBULAR BLANKS  
BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS**

*In this work, the finite element model of the hydrostatic extrusion process of tubular blanks in the medium of high hydrostatic pressure that are necessary for increase ductility of steel 30HN2MFA during the cold forming products, was considered. The modelling results showed the possibility to realize a process with effect of considerable hydrostatic pressure (750 MPa) on the free surface of blank. There is characteristic destruction still on the initial stages of deformation on the external surface at less pressure. (не менше 1800 друкованих знаків).*

**Key words:** hydraulic forging, hydrostatic extrusion, deformation, mould, modelling, strength, reliability, destruction.

Текст статті...[1, с. 15].

**Список використаної літератури**

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів. Львів : Новий світ-2000, 2011. 422 с.
2. Мельничук П. П. Теоретико-технологічне обґрунтування можливостей обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, замість шліфування. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. № 3. 2014. С. 164-172.

**References**

1. Mazur M.P. (2011) Osnovy teorii rizannia materialiv [Fundamentals of the theory of cutting materials]. Lviv: Noviy svit-2000. [in Ukrainian].
2. Melnychuk P. P. (2014) Teoretyko-tekhnologichne obgruntuvannia mozhlyvostei obrobky ploskykh poverkhon detalei tortsevym lezovym instrumentom, osnashchenym nadtverdymy materialamy, zamist shlifuvannia. [Theoretical and technological substantiation of the possibilities of processing flat surfaces of parts with an end blade tool equipped with ultra-hard materials, instead of grinding]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky, no. 3, pp. 164-172.



## НОТАТКИ

# ВІСНИК

## Херсонського національного технічного університету

Відповідальний за випуск	головний редактор Литвиненко В.І. д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук, заслужений діяч науки і техніки України
Комп'ютерна верстка	Кузнєцова Н.С.
Відповідальний секретар	Лур'є І.А. к.т.н., доцент, начальник навчально-методичного відділу, доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук

Підписано до друку 30.12.2024.  
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman. Папір офсет. Цифровий друк.  
Ум. друк. арк. 55,10. Замов. № 0225/117. Наклад 100 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: mailbox@helvetica.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.