

ISSN 2078-4481

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# ВІСНИК

ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

## 4(87)

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Херсонського національного технічного університету  
(протокол № 6 від 26.12.2023 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»  
2023

## 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

### Відповідальний секретар

Вольвач І.Ю.

к.е.н., доцент, завідувач відділу з навчально-наукової роботи і міжнародної діяльності

## Члени редакційної колегії

<b>Баганов Є.О.</b>	к.т.н., доцент
<b>Березовський Ю.В.</b>	д.е.н., доцент
<b>Гончар О.І.</b>	д.е.н., професор
<b>Горбачов П.Ф.</b>	д.т.н., професор
<b>Джерелюк Ю.О.</b>	д.е.н., професор
<b>Дімітрова В.Я.</b> (Болгарія)	д.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>Куник 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>Салєба Л.В.</b>	к.т.н.
<b>Савін С.Ю.</b>	д.е.н., професор
<b>Семешко О.Я.</b>	д.т.н.
<b>Сідельникова Л.П.</b>	д.е.н., професор
<b>Smolarz A.</b> (Польща)	dr.hab.inz.
<b>Стоянова О.В.</b>	к.т.н., доцент
<b>Толуб'як В.С.</b>	д.держ.упр., професор
<b>Топалова Е.Х.</b>	к.держ.упр., професор
<b>Тюхтенко Н.А.</b>	д.е.н., професор
<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
<b>Шерстюк В.Г.</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(87)**

Recommended for publication by the Academic Council  
of Kherson National Technical University  
(Minutes № 6 on 26th December 2023)

---

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”  
2023

## 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

### Executive Secretary

Volvach I.Yu.

Ph.D., Associate Professor, Head of Department Academic Research and international activities

### 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>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>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, Professor
<b>Saleba L.V.</b>	Ph.D.
<b>Semeshko O.Ya.</b>	Doctor of Engineering Science
<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>Tolubyak V.S.</b>	Doctor of Science in Public Administration, Professor
<b>Topalova E.K.</b>	Ph.D., Professor
<b>Tiukhtenko N.A.</b>	Doctor of Economics, 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
<b>Sherstyuk V.G.</b>	Doctor of Engineering Science, Professor

## ЗМІСТ

## ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

<b>О. Р. Белянська, Л. В. Ващенко, Д. С. Громова, А. Л. Коваленко, О. В. Кравченко.</b> Використання глауконіту в технології знешкодження рідких відходів коксохімічного виробництва.....	11
<b>В. Я. Бунько.</b> Аналіз функціональних можливостей програмного забезпечення для керування інтелектуальними пристроями релейного захисту та автоматизації енергосистем.....	18
<b>І. І. Висоцька, О. О. Соловійова, В. С. Коновалюк, І. І. Герасименко.</b> Формування комплексної системи безпеки авіаційного підприємства.....	24
<b>С. О. Воїнова.</b> Про вплив інформатизації на підготовку аспірантів.....	31
<b>М. І. Горбійчук, М. З. Василенчук.</b> Синтез структурної схеми нагрівника нафти як об'єкта автоматичного керування.....	44
<b>М. Б. Єдинович, В. М. Поліщук, Н. В. Сарафаннікова, В. С. Осадчук.</b> Контроль якості текстильних тканин.....	53
<b>В. О. Зубенко, І. А. Березюк, І. В. Волков, Р. В. Телюта.</b> Аналіз можливостей забезпечення вітровою енергією фермерських господарств Кіровоградщини.....	63
<b>S. I. Kuznietsov, O. O. Venher, V. M. Bezpalchenko, O. O. Semchenko, E. S. Ivkina.</b> Efficiency of liquid oxidizers for purification of industrial waste gases from nitrogen oxides.....	70
<b>О. М. Кучкін, А. Ю. Сазонов, М. В. Лукінюк, І. Ю. Черепанська.</b> Щодо аналізу стратегій підвищення ефективності виробництв за рахунок інтеграції мобільних роботів.....	77
<b>В. М. Литвиненко.</b> Оптимізація технології виготовлення епітаксialно-планарного варикапа.....	85
<b>М. С. Майстат, А. В. Кривобок.</b> Огляд наявних методів дослідження фізичних властивостей кераміки.....	91
<b>С. М. Пашкевич, О. В. Макарічев, С. В. Свічинський, С. В. Козак.</b> Аналітичний опис розподілу дальності міських пересувань до міжміського автовокзалу.....	100
<b>О. В. Піпко, І. А. Гетьман, М. А. Держевецька.</b> Аналіз предметної області для програмної системи математичного моделювання тунельної печі з метою зменшення витрати природного газу та покращення якості продукції, що випаляється.....	110
<b>А. О. Поліщук.</b> Експериментальне дослідження об'ємної продуктивності шнекового екструдера 3D-принтера.....	117
<b>І. М. Рибалко, А. В. Захаров, О. В. Сайчук, В. О. Коротій.</b> Дослідження причин проплавлення основного металу при електрошлаковому наплавленні і методи його регулювання.....	129
<b>В. Л. Ромах, В. І. Тихонін, І. І. Тихоніна.</b> Методика визначення маршруту переміщення вантажопотоків в системі «сухий порт-морський порт».....	137
<b>S. P. Sapon, D. I. Dzyuba.</b> Digital twin of spindle units. Review.....	148
<b>С. О. Семенов, А. О. Гагаріна.</b> Аналіз перевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом.....	159
<b>Н. В. Тарельник, М. М. Майфат.</b> Новий спосіб захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу екологічно безпечними технологічними методами.....	165
<b>I. V. Trembus, A. S. Hondovska, N. V. Mykhailenko.</b> Study properties of polysulfonamide membrane.....	173
<b>Ю. М. Феденко, В. В. Синіцька.</b> Особливості очищення стічних вод гальванічних виробництв від важких металів на прикладі шестивалентного хрому. Екологічні аспекти.....	182
<b>С. О. Чурсов.</b> Процеси деградації матеріалів пневматичних шин та забезпечення опору механічних властивостей.....	188
<b>В. П. Пліс.</b> Тестування мікропроцесорних терміналів релейного захисту в розрахункових режимах.....	197

## ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<b>Г. А. Євченко, О. М. Куник, Т. А. Юрова, О. М. Морозова.</b> Ідентифікаційна експертиза розсільних сирів типу фета.....	209
--	-----

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<b>У. О. Albrekht, А. V. Pysarenko.</b> Decision-making heterogeneous UAV swarm system with neural network-enhanced reinforcement learning.....	217
<b>А. С. Вєчерковська, С. В. Поперешняк.</b> Огляд алгоритмів машинного навчання та їх застосування для прогнозування цін купівлі криптовалюти.....	223
<b>І. А. Головатенко, А. В. Писаренко.</b> Метод планування маршруту в автономних логістичних кіберфізичних системах засобами штучного інтелекту.....	230
<b>М. В. Гора, М. О. Волк.</b> Моделі управління ресурсами для забезпечення функціональної стійкості процесу розподілених обчислень.....	244
<b>М. А. Гунько, В. М. Ткачов.</b> Глибинна інтеграція хмарних та туманних обчислень.....	252
<b>С. В. Поперешняк, А. С. Вєчерковська.</b> Дослідження розробки вимог до хмарних програм та сервісів.....	258
<b>Є. А. Рехлецький, В. І. Бабич, М. Б. Крутяк, В. І. Плєша, О. М. Швець.</b> Огляд технологій візуалізації та їх використання у освітньому процесі.....	265
<b>С. М. Шевченко, Ю. Д. Жданова, Т. І. Шевцова.</b> Застосування кластерного аналізу для просування бізнесу у соціальних мережах.....	271

## УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

<b>С. В. Зубарєв.</b> Диджиталізація управління HR на підприємствах сфери послуг.....	282
<b>Л. П. Сідельникова, О. М. Посадєва.</b> Орієнтири прийняття рішень про ухилення від оподаткування у трансфертному ціноутворенні.....	287
<b>А. А. Стеба, О. А. Кравченко, С. С. Боровик.</b> Питання співвідношення відповідальності за належну дбайливість про морехідний стан судна між учасниками процесу перевезення вантажів морським транспортом.....	293
<b>О. М. Теліженко, С. В. Шашков.</b> Напрямки діяльності з агрегації в електроенергетиці на основі розвитку розподіленої генерації.....	299
<b>О. В. Цятковська.</b> Особливості обліку процесу надходження нефінансових активів державних установ.....	305

## ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

<b>М. П. Беган.</b> Механізми забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні.....	312
<b>О. О. Білик, В. Забураний.</b> Стратегічні комунікації в публічному середовищі держави як механізм електронного управління.....	320
<b>О. О. Білик.</b> Освітня галузь в Україні як пріоритет е-урядування і його удосконалення.....	326
<b>О. М. Volska, М. Р. Vulgakov.</b> The impact of mental health on the professionalism of maritime workers.....	334
<b>О. Є. Гудзь, С. М. Петькун.</b> Формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій.....	339
<b>В. М. Демченко.</b> Державний імператив щодо мистецтва (за документом 1925 року).....	346
<b>Н. М. Ковальська.</b> Гендерна політика в Україні: актуальність і новації.....	352
<b>О. В. Козир.</b> Моніторинг соціальної сфери великого міста на основі метода системної динаміки.....	358
<b>Л. П. Оленковська, М. І. Губа.</b> Стратегії та плани відновлення області, району, громади 2024: новий виток радянського синдрому?.....	365
<b>О. В. Половцев, О. П. Зубаль.</b> Концепція керованої системної еволюції суб'єкта публічного управління та адміністрування.....	371
<b>Я. Ф. Радиш.</b> Публічне управління: нова модель підготовки педагогічних працівників в системі безперервної освіти України.....	378
<b>В. Д. Філіппова, М. Е. Фролова.</b> Ситуаційне лідерство в публічному управлінні.....	384

## СФЕРА ОБСЛУГОВУВАННЯ

<b>О. Л. Загорянська.</b> Особливості поведінки споживачів на ринку туристичних послуг у післявоєнний період.....	390
<b>І. І. Рига, С. М. Рошко.</b> Тенденції розвитку світового ринку туристичних послуг.....	396
<b>V. Yu. Stepanov.</b> Innovative opportunities of foresight in tourism activities.....	401
<b>Г. П. Щука, М. З. Паска, О. В. Побігун.</b> Державно-приватне партнерство як основна умова розвитку гастрономічного туризму на Закарпатті.....	406

## СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

<b>М. В. Бужанська.</b> Актуальні проблеми безпеки праці під час воєнного стану в Україні.....	414
<b>С. М. Кваша, В. Л. Вакуленко.</b> Теоретичні основи продовольчої безпеки в умовах сьогодення.....	419
<b>А. М. Сорокіна.</b> Аналіз сучасного стану підприємств кондитерської галузі України та шляхи підвищення економічної ефективності виробництва з запровадженням інновацій.....	429

**CONTENTS**

**ENGINEERING SCIENCES**

**O. R. Belyanska, L. V. Vashchenko, D. S. Gromova, A. L. Kovalenko, O. V. Kravchenko.** The use of glauconite in the technology of the disposal of liquid waste of the coke chemical production.....11

**V. Ya. Bunko.** Analysis of software functional capabilities for controlling intelligent devices of relay protection and power system automation.....18

**I. I. Vysotska, O. O. Soloviova, V. S. Konovaliuk, I. M. Herasymenko.** Formation of a comprehensive airline security system.....24

**S. O. Voinova.** About the informatization impact on the postgraduate students’ training.....31

**M. I. Gorbiychuk, M. Z. Vasylenchuk.** Synthesis of the structural diagram of the oil heater as an object of automatic control.....44

**M. B. Yedynovych, V. M. Polishchuk, N. V. Sarafannikova, V. S. Osadchuk.** Quality control of textile fabrics.....53

**V. O. Zubenko, I. A. Bereziuk, I. V. Volkov, R. V. Teliuta.** Analysis of the opportunities of wind energy providing for farms in Kirovograd region.....63

**S. I. Kuznietsov, O. O. Venher, V. M. Bezpalchenko, O. O. Semenchko, E. S. Ivkina.** Efficiency of liquid oxidizers for purification of industrial waste gases from nitrogen oxides.....70

**O. M. Kuchkin, A. Yu. Sazonov, M. V. Lukiniuk, I. Yu. Cherepanska.** Analyzing strategies of the production efficiency enhancement by mobile robots integration.....77

**V. M. Lytvynenko.** Optimization of manufacturing technology for epitaxial-planar varicap.....85

**M. S. Maistat, A. V. Kryvobok.** Review of existing methods for the investigation of physical properties of ceramics.....91

**S. M. Pashkevych, O. V. Makarichev, S. V. Svichynskiy, S. V. Kozak.** Analytical description of the trip length distribution for urban trips to intercity bus station.....100

**O. V. Pipko, I. A. Getman, M. A. Derzhevetska.** Analysis of the subject area for the software system of mathematical modeling of a tunnel oven in order to reduce natural gas consumption and improve the quality of fired products.....110

**A. O. Polishchuk.** Experimental study of volume productivity of screw extruder of 3D printer.....117

**I. M. Rybalko, A. V. Zakharov, O. V. Saichuk, V. O. Korotii.** Study of the causes of base metal melting during electroslag surfacing and methods of its regulation.....129

**V. L. Romakh, V. I. Tykhonin, I. I. Tykhonina.** Method of determining the route of cargo flows in the “dry port-sea port” system.....137

**S. P. Sapon, D. I. Dzyuba.** Digital twin of spindle units. Review.....148

**S. O. Semenov, A. O. Haharina.** Analysis of dangerous goods transportation by rail.....159

**N. V. Tarelnyk, M. M. Mayfat.** A new process to protect steel parts from hydro abrasive wear using environmentally safe technological methods.....165

**I. V. Trembus, A. S. Hondovska, N. V. Mykhailenko.** Study properties of polysulfonamide membrane.....173

**Yu. M. Fedenko, V. V. Synitska.** Peculiarities of wastewater treatment of electroplating industries from heavy metals on the example of hexavalent chromium. Environmental aspects.....182

**S. O. Chursov.** Processes of degradation of pneumatic tire materials and ensuring the resistance of mechanical properties.....188

**V. P. Plis.** Testing of microprocessor terminals of relayprotection in calculation modes.....197

**THE TECHNOLOGY OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY**

**H. A. Yevenko, O. M. Kunyk, T. A. Yurova, O. M. Morozova.** Identification expertise of feta-type brine cheeses.....209



## INFORMATION TECHNOLOGIES

<b>Y. O. Albrekht, A. V. Pysarenko.</b> Decision-making heterogeneous UAV swarm system with neural network-enhanced reinforcement learning.....	217
<b>A. S. Vecherkovskaya, S. V. Popereshnyak.</b> Overview of machine learning algorithms and their application for prediction of cryptocurrency purchase prices.....	223
<b>I. A. Holovatenko, A. V. Pysarenko.</b> Method of route planning in autonomous logistics cyberphysical systems using artificial intelligence.....	230
<b>M. V. Hora, M. O. Volk.</b> Resource management models for ensuring the functional sustainability of the distributed computing process.....	244
<b>M. A. Hunko, V. M. Tkachov.</b> Deep integration of cloud and fog computing.....	252
<b>S. V. Popereshnyak, A. S. Vecherkovskaya.</b> Study of the development of requirements for cloud programs and services.....	258
<b>E. A. Rekhletsyy, V. I. Babych, M. B. Krutiak, V. I. Plesha, O. M. Shvets.</b> Overview of visualisation technologies and their use in the educational process.....	265
<b>S. M. Shevchenko, Yu. D. Zhdanova, T. I. Shevtsova.</b> The research of cluster analysis ways of application for business promotion in social networks.....	271

## MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

<b>S. V. Zubarev.</b> Digitalization of HR management at service companies.....	282
<b>L. P. Sidelnykova, O. M. Posadnieva.</b> Guidelines for making decisions on tax evasion in transfer pricing.....	287
<b>A. A. Steba, O. A. Kravchenko, S. S. Borovik.</b> The issue of the relationship of responsibility for due diligence for the maritime condition of the vessel between participants in the process of transportation of cargo by marine transport.....	293
<b>O. M. Telizhenko, S. V. Shashkov.</b> Directions of agregation in electrical power industry activity based on distributed generation development.....	299
<b>O. V. Tsiatkovska.</b> Features of the accounting process of receipt of non-financial assets of state institutions.....	305

## PUBLIC MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

<b>M. P. Behan.</b> Mechanisms for ensuring food security at the local level.....	312
<b>O. O. Bilyk, V. Zaburany.</b> The state strategic communications in the public environment as a mechanism of electronic governance.....	320
<b>O. O. Bilyk.</b> Education in Ukraine as a priority of e-government and its improvement.....	326
<b>O. M. Volska, M. P. Bulgakov.</b> The impact of mental health on the professionalism of maritime workers.....	334
<b>O. Ye. Gudz, S. M. Petkun.</b> Shaping a new media reality in the context of digital transformation.....	339
<b>V. M. Demchenko.</b> State imperative on art (according to document of 1925).....	346
<b>N. M. Koval'ska.</b> Gender policy in Ukraine: relevance and innovations.....	352
<b>O. V. Kozyr.</b> Monitoring of the social sphere of a large city based on the method of system dynamics.....	358
<b>L. P. Olenkovska, M. I. Guba.</b> Strategies and plans for the restoration of the region, district, community 2024: a new round of the Soviet syndrome?.....	365
<b>O. V. Polovtsev, O. P. Zubal.</b> Concept of controlled system evolution of the subject of public administration.....	371
<b>Ya. F. Radish.</b> Public administration: a new model of teacher training in the continuous education system of Ukraine.....	378
<b>V. D. Filippova, M. E. Frolova.</b> Situation leadership in public administration.....	384

## SERVICE SECTOR

<b>O. L. Zahorianska.</b> Features of consumer behavior in the market of tourist services in the post-war period.....	390
<b>I. I. Ryha, S. M. Roshko.</b> Development trends of the world market of tourist services.....	396
<b>V. Yu. Stepanov.</b> Innovative opportunities of foresight in tourism activities.....	401

---

**H. P. Shchuka, M. Z. Paska, O. W. Pobihun.** Public-private partnership as the essential condition for the development of gastronomic tourism in transcarpattia.....406

## **SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES**

**M. V. Buzhanska.** Current work safety problems during time martial law in Ukraine.....414

**S. M. Kvasha, V. L. Vakulenko.** Theoretical foundations of food security in the modern world.....419

**A. M. Sorokina.** Analysis of the current state of enterprises in the confectionery industry of Ukraine and ways to increase the economic efficiency of production with the implementation of innovations.....429

## ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 66

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.1>**О. Р. БЄЛЯНСЬКА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри хімічних та біологічних технологій  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-8026-8004

**Л. В. ВАЩЕНКО**

завідувач лабораторії кафедри хімічних та біологічних технологій  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0006-6464-2784

**Д. С. ГРОМОВА**

магістр кафедри фізичної, органічної та неорганічної хімії  
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара  
ORCID: 0009-0003-5735-5240

**А. Л. КОВАЛЕНКО**

кандидат хімічних наук, доцент,  
завідувач кафедри хімічних та біологічних технологій  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-1496-6634

**О. В. КРАВЧЕНКО**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,  
професор кафедри хімічних та біологічних технологій  
Дніпровський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0006-8833-3441

**ВИКОРИСТАННЯ ГЛАУКОНІТУ В ТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕШКОДЖЕННЯ  
РІДКИХ ВІДХОДІВ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА**

*Через обмеження у доступі до широкого асортименту вугільних марок, промисловість вимушена використовувати тільки 2–3 марки вугілля. Такий технологічний прийом негативно впливає на уловлення і переробку хімічних продуктів коксування. Цехи спроектовані на певні склади шихт, де можуть утилізуватися рідкі відходи тільки обмеженим вмістом поліюгантів. Утворені рідкі відходи не знешкоджуються повністю на стадії біохімічного очищення і, коли надходять на гасіння коксу, випаровуються, потрапляють у навколишнє середовище.*

*Метою роботи є моделювання процесу сорбції поліюгантів на глауконіті, що впливає на ведення технології переробки рідких відходів коксохімічного виробництва. Глауконіт не має єдиної хімічної формули через коливання його вмісту. Формула змінюється у залежності від родовища, де він утворився. Узагальнена хімічна формула глауконіту має вигляд  $(K, Na)(Fe^{3+}, Al, Mg)_2[(OH)_2(Si, Al)_2O_{10}]$ . Великі родовища глауконіту є у Західно-Волинському регіоні та у Адамівському родовищі Хмельницької області.*

*У роботі шляхом математичного моделювання створено фрагмент структури глауконіту Адамівського родовища Хмельницької області (довжина зв'язку між Калієм і Оксигеном становить 2,265 Å; кут зв'язування Алюміній-Оксиген-Сіліцій становить 133°; довжина зв'язку Алюміній-гідроксид становить 1,834 Å; енергія фрагмента після оптимізації геометрії становить 758,992 кДж/моль). Запропоновано механізм сорбції поліюгантів із рідких відходів коксохімічного виробництва на глауконіті. Висока специфічність сорбції глауконіту до наведених поліюгантів обумовлюється дисперсійними силами Ван-дер-Ваальсових взаємодій та іонообмінним механізмом.*

*Пропонується методом обкатки або екструзією отримувати гранульований сорбент із хімічно-активованого глауконіту для знешкодження рідких відходів коксохімічного виробництва, що містять широкий спектр поліюгантів.*

*Наведено удосконалену технологічну схему установки знефенолення стічних вод біохімічним методом із попереднім доочищенням рідких відходів шляхом адсорбції на кислотно-активованому гранульованому глауконіті. Після зниження ефективності вилучення фенолів нижче 50 % пропонується проводити десорбцію HCl 0,1 М протягом 6–12 діб.*

**Ключові слова:** рідкі відходи, коксохімічна галузь, адсорбція, стічні води, глауконіт, кислотна активація, Avogadro 1.2.1, Molview.

O. R. BELYANSKA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Chemical and Biological Technologies  
Dnipro State Technical University  
ORCID: 0000-0001-8026-8004

L. V. VASHCHENKO

Head of the Laboratory of the Department of Chemical  
and Biological Technologies  
Dnipro State Technical University  
ORCID: 0009-0006-6464-2784

D. S. GROMOVA

Master at the Department of Physical, Organic and Inorganic Chemistry  
Dnipro National University named after Oles Honchar  
ORCID: 0009-0003-5735-5240

A. L. KOVALENKO

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Chemical and Biological Technologies  
Dnipro State Technical University  
ORCID: 0000-0003-1496-6634

O. V. KRAVCHENKO

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher,  
Professor at the Department of Chemical and Biological Technologies  
Dnipro State Technical University  
ORCID: 0009-0006-8833-3441

## THE USE OF GLAUCONITE IN THE TECHNOLOGY OF THE DISPOSAL OF LIQUID WASTE OF THE COKE CHEMICAL PRODUCTION

*Due to restricted access to a wide range of coal grades, the industry is forced to utilize only 2–3 coal types. Such a technological approach negatively impacts the technology of capturing and processing the chemical products of coking. These plants are designed for specific compositions of charge materials, where liquid waste with only limited pollutant content can be utilized. The formed liquid waste is not completely neutralized in the biochemical purification stage and, upon entering the coke quenching process, evaporates, releasing pollutants into the environment.*

*The purpose of the work is to model the process of pollutant sorption on glauconite, which affects the technology of processing liquid waste of coke chemical production. Glauconite does not have a single chemical formula due to fluctuations in its content. The formula varies depending on the deposit where it was formed. The generalized chemical formula of glauconite has the form  $(K, Na)(Fe^{3+}, Al, Mg)_2[(OH)_2(Si, Al)_4O_{10}]$ . There are large deposits of glauconite in the Western Volyn region and in the Adamiv deposit of the Khmelnytskyi region.*

*Using mathematical modeling in the research, a fragment of the structure of Adamivka deposit glauconite in Khmelnytskyi region was created (the bond length between Potassium and Oxygen is 2.265 Å; the Aluminum-Oxygen-Silicon bonding angle is 133°; the Aluminum-hydroxide bond length is 1.834 Å; the energy of the fragment after geometry optimization is 758.992 kJ/mol). A mechanism for the sorption of pollutants from liquid waste of coking chemical production on glauconite has been proposed. The high specificity of glauconite's sorption to the mentioned pollutants is determined by van der Waals dispersion forces and an ion exchange mechanism.*

*It is proposed to obtain a granular sorbent from chemically activated glauconite by the method of running-in or extrusion for the disposal of liquid waste from coke-chemical production containing a wide range of pollutants.*

*An improved technological scheme for the installation of phenol removal from wastewater by biochemical methods with preliminary purification of liquid waste through adsorption on acid-activated granulated glauconite is provided. If the efficiency of phenol removal decreases below 50%, it is proposed to conduct desorption with 0.1 M HCl for 6–12 days.*

**Key words:** liquid waste, coking industry, adsorption, wastewater, glauconite, acid activation, Avogadro 1.2.1, Molview.

### Постановка проблеми

В умовах військової агресії через відсутність можливості транспортування різноманітних марок вугілля постає проблема створення коксу із тих марок, що є більш доступними: газового, коксового, слабоспівливого. Використання тільки 2–3 х марок вугілля впливає не тільки на якість утвореного коксу, але й на всю технологію загалом. Цехи вловлення і переробки хімічних продуктів коксування спроектовані на певні склади шихт, де може

утворюватися якісний кокс із заданими високими його характеристиками. Із такою зміною складу шихти відбувається зміна у складі коксового газу, хімічних речовин, складу рідких відходів. Такі рідкі відходи не знешкоджуються повністю на стадії біохімічного очищення і, потрапляючи на гасіння коксу, випаровуються у навколишнє середовище.

Відомі роботи [1–4], де поряд із біохімічним методом знешкодження рідких відходів коксохімічного виробництва використовується попередня сорбція на природному сорбенті – глауконіті. Використання гравітаційних комбінованих фільтрів із завантаженням кислотного-активованого глауконіту і активованого вугілля допоможе знизити навантаження на стадію біохімічної очистки та поліпшити екологічний стан територій коксохімічних підприємств та дотичних територій. Слід відмітити, що у попередніх роботах недостатньо сформульовано механізм сорбції, тому саме описання механізму сорбції на глауконіті для глибшого розуміння і прогнозування технології знешкодження рідких відходів коксохімічного виробництва є актуальним.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [1] представлено удосконалену технологію сорбційних методів очистки стічних вод на модифікованому гранульованому глауконіті. Ефективність вилучення важких металів із стічних вод гальванічної дільниці підприємства ПАТ «ДВРЗ» становила 74–95 %.

Вченими [2] запропоновано цікавий технологічний прийом використання активної сорбційної мінеральної добавки – подрібнений мінеральний порошок глауконіту. Технологія введення сорбційної добавки у будівельні матеріали дозволяє знизити вміст природних радіонуклідів у сумішах та виробках. Досліджено [3] гібридні мінерал-полімерні композитні матеріали на основі поліаніліну та кремнезем-глауконіту. Виявлено, що участь поверхні мікрочастинок глауконіт-кремнезем у процесі полімеризації аніліну призводить до суттєвого зростання структурованості полімеру в композиті.

Проведено порівняльні дослідження адсорбційної здатності глауконіту і активованого вугілля БАУ-А для створення комбінованого сорбенту [4]. Виявлено, що глауконіт ефективніше за активоване вугілля поглинає альдегіди і вищі спирти. Запропоновано використовувати суміш сорбційну в малих ємностях, що містить 10 % активованого вугілля і 90 % глауконіту. У промислових масштабах пропонується встановлювати окремо адсорбер із глауконітом, окремо, із активованим вугіллям, вугілля повинно бути наприкінці технологічної лінії для кращої його регенерації і довгого строку експлуатації адсорбційної установки.

Запропонована принципова технологічна схема доочистки оборотних вод із використанням натуральних силікатних сорбентів [5]. За проведеною техніко-економічною оцінкою вилучення іонів важких металів, собівартість очищення води за традиційною іонообмінною технологією становить 2 грн/м<sup>3</sup>, а з використанням КУ-2-8-М знижується до 0,51 грн/м<sup>3</sup>.

Відомо, що глауконіт є найбільш поширеним мінералом – алюмосилікатом, де в якості катіонів виступають Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>. Глауконіт міститься у осадових породах. Використання глауконіту в якості сорбенту обумовлює його високими іонообмінними, буферними та сорбційними властивостями. Глауконіт міститься у пісках, глинах, вапняках, і надає зеленого кольору породі. Кислотно-активованій сорбент на основі глауконіту має високі експлуатаційні показники, не вимагає додаткових заходів по промиванню фільтраційної колонки і її перезавантаженню.

Глауконіт не має єдиної хімічної формули через коливання його вмісту. Формула змінюється у залежності від родовища, де він утворився. Узагальнена хімічна формула глауконіту має вигляд (K, Na)(Fe<sup>3+</sup>, Al, Mg)<sub>2</sub>[(OH)<sub>2</sub>(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>] [6]. Великі родовища глауконіту є у Західно-Волинському регіоні та у Карачаївському, Адамівському родовищі Хмельницької області.

При обробці глауконітів кислотою відбувається «розчинення» внутрішньої решітки, пов'язаної з видаленням основної маси гідратованих оксидів. Так, при обробці HCl 0,1 М і витримкою продовж 12 тижнів статична об'ємна ємність глауконіту становить 0,25 ммоль/г, а при обробці KOH 0,1 М через той самий час статична об'ємна ємність глауконіту становить 0,21 ммоль/г. При цьому на поверхні глауконіту утворюються тонкі шари аморфної фази. Незначні зміни сорбційної ємності, обробленого розчином кислоти, глауконіту пов'язані з не істотною зміною структури глауконіту. Обробка розчинами луку призводить до адсорбції ОН-комплексів алюмосилікатним каркасом, в результаті чого, збільшується кількість обмінних центрів та зростає значення обмінної ємності [7].

Серед головних факторів, що впливають на ведення процесу адсорбції на глауконіті слід виділити наступні: вихідна концентрація поллютанту; кількість сорбенту; рН (збільшення рН із 6,5 до 8,5 підвищує ефективність очистки на глауконіті на 10 %); температура розчину; час адсорбції; гідродинамічні умови (статична чи динамічна адсорбція). Тому, дослідження механізму адсорбції на глауконіті є важливим аспектом у розумінні процесу та прогнозуванні результатів сорбції.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є моделювання процесу сорбції поллютантів на глауконіті, що впливає на ведення технології переробки рідких відходів коксохімічного виробництва.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Доведено [8], що при вихідній концентрації фенолів від 100 до 400 мг/дм<sup>3</sup> у рідких відходах коксохімічного виробництва (стічні води) можливо вилучення фенолів до залишкової концентрації 4 – 2,0 мг/дм<sup>3</sup> після адсорбції

на необробленому природному глауконіті (питома активна поверхня 30 м<sup>2</sup>/г, величина адсорбції 37,6 мг/г). На кислотно-активованому глауконіті (питома активна поверхня 153–370 м<sup>2</sup>/г, величина адсорбції 63,8–79,6 мг/г) спостерігається 100 % вилучення фенолів із стічних вод. Температура розчину у обох випадках була 20 °С, рН 6,5. Отже, використання гранульованого кислотно-активованого глауконіту у адсорбері знешкодження коксохімічних рідких відходів є важливим технічним моментом у переробці рідких відходів.

Шляхом молекулярного моделювання (програма Avogadro 1.2.1 [9], вебдодаток Molview [10]), створено фрагмент структури глауконіту Адамівського родовища Хмельницької області, що представлена на рисунку 1.

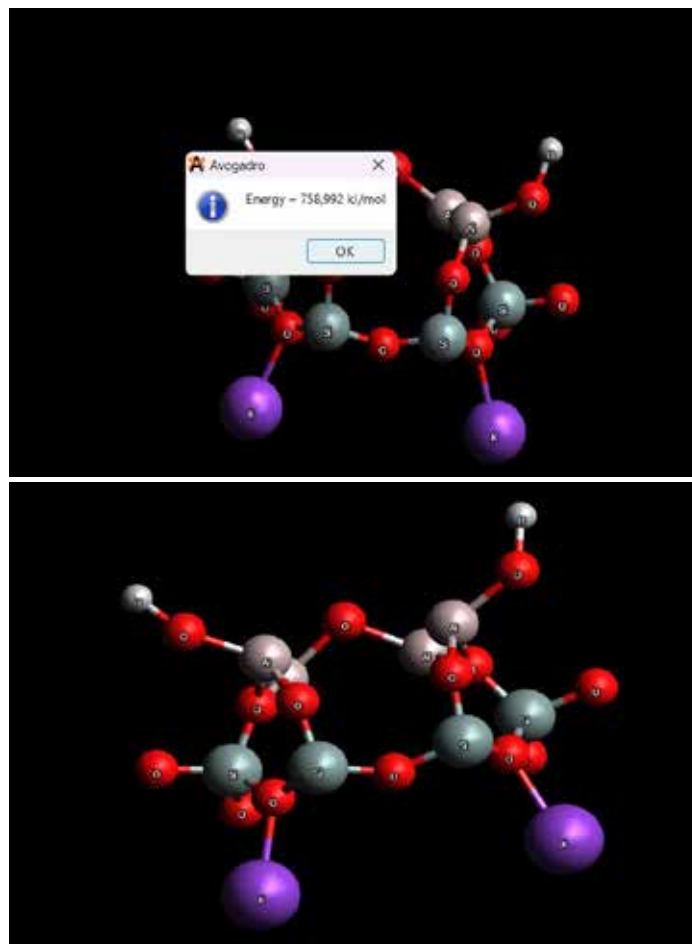


Рис. 1. Фрагмент структури глауконіту

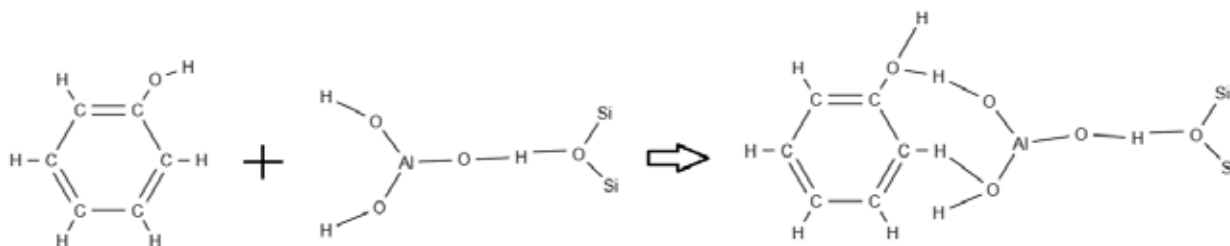
Довжина зв'язку між Калієм і Оксигеном становить 2,265 Å. Кут зв'язування Алюміній-Оксиген-Сіліцій становить 133°. Довжина зв'язку Алюміній-гідроксид становить 1,834 Å. Енергія фрагмента після оптимізації геометрії становить 758,992 кДж/моль.

Досліджено сорбційні процеси вилучення поллютантів із рідких відходів, зокрема фенолів і аміаку на глауконіті. Для ілюстрації наявності металу у фрагменті структури представлено наявність іонів Al.

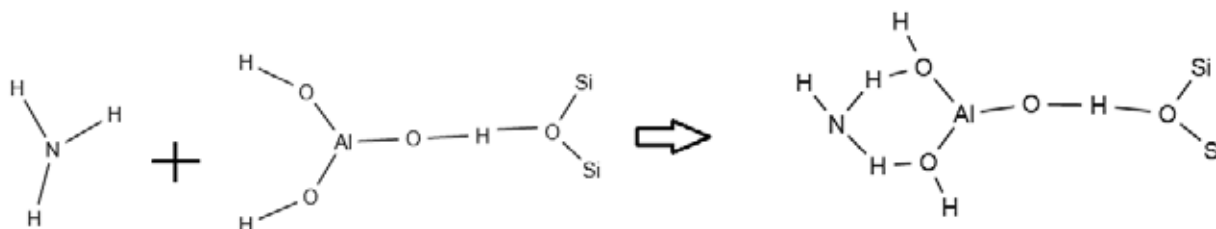
Моделювання структури глауконіту проводилося після математичного розрахунку геометричних координат кожного з атомів фрагмента структури глауконіту (рис. 1) на основі довідкових даних про довжини зв'язків. З використанням алгоритму оптимізації при пошуку структури, що відповідає мінімуму потенційної енергії, проводили оптимізацію геометрії структури глауконіту. Методами молекулярної механіки взаємодіючи атоми частинки глауконіту і фенолів, аміаку встановлювали на рівноважній відстані Ван-дер-Ваальсової взаємодії та знову оптимізували геометрію системи.

Взаємодія у сорбційному комплексі «фенол – глауконіт» може мати специфічний характер, який обумовлено утворенням водневих зв'язків поллютанту з атомами кисню глауконіту: У цьому випадку вільна пара гідроксильних груп, що залишилася, здатна до подальшого утворення водневих зв'язків, може ініціювати наступне зростання ланцюжка. Цей процес пояснює вид кривих, що спостерігаються при багаторазовій адсорбції. Оскільки зростання ланцюгів при багаторазовій адсорбції починає проходити асинхронно, відповідно в адсорбційному шарі одночасно починають утворюватися ланцюжки з одним і двома кінцевими центрами утворення водневого

зв'язку:



Таким чином, сорбція поллютантів, фенолів та аміаку на глауконіті забезпечується водневими зв'язками і включає в себе періодичне утворення одного або двох таких зв'язків.



Створене комп'ютерне моделювання дозволяє передбачити високу селективність матеріалу не тільки до фенолів і аміаку. За представленим вище механізмом відбувається сорбція і інших поллютантів, таких як піридин, роданіди, гідроген сульфід та ін., що містяться у рідких коксохімічних відходах. Через структуру, що утворює довгі ланцюжки із прошарком води, поллютанти із рідких відходів можуть прикріплюватися вздовж усього ланцюжка. Висока специфічність сорбції глауконіту до наведених поллютантів обумовлюється дисперсійними силами Ван-дер-Ваальсових взаємодій та іонообмінним механізмом. Отримані результати узгоджуються із попередніми дослідженнями за темою сорбції на природних глинах [8].

Отже, методом обкатки або екструзією можливо отримувати гранульований сорбент із хімічно-активованого глауконіту, який буде ефективно знешкоджувати рідкі відходи коксохімічного виробництва від широкого спектру поллютантів, і буде придатний до подальшого використання за схемою сорбція – десорбція.

На рисунку 2 представлено удосконалену технологічну схему установки для знефенолення стічних вод біохімічним методом із використанням попереднього доочищення рідких відходів шляхом адсорбції на глауконіті.

Удосконалена технологічна схема установки для знефенолення стічних вод біохімічним методом (рис. 2) містить 1 врівнювальний резервуар, 2 пісколовку, розподільчу камеру, 4 первинний відстійник, 5 масловідділювач, 6 холодильники для охолодження над смольної води, 7 склад суперфосфату, 8 баки для приготування розчину суперфосфату, 9 повітредувка, 10 насос для відкачки смоли та масла, 11 збірник смоли та масла, 12 збірник фенольних вод, 15 насоси для перекачування фенольних вод, 16 збірник над смольної води, 17 збірник очищеної води, 18 вторинний відстійник, 19 адсорбер із гранульованим глауконітом, 20 біологічний басейн, 21 пропеллерні насоси, 22 запасні ємності для активного мулу, 23 усереднювач, 24 ерліфт, 25 дренажні площини.

Ємності для зберігання рідин проведення процесу десорбції та обслуговуючі насоси не виведені на схему. Передбачається, що гранульований кислотно-активованій глауконіт буде завантажуватися у адсорбер 19 (питома активна поверхня 153–370 м<sup>2</sup>/г, величина адсорбції 63,8–79,6 мг/г, рН не менше 6,5 [8]). Після зниження ефективності вилучення фенолів нижче 50 % пропонується проводити десорбцію HCl 0,1 М протягом 6–12 діб.

#### Висновки

Створено фрагмент структури глауконіту шляхом молекулярного моделювання (довжина зв'язку між Калієм і Оксигеном становить 2,265 Å; кут зв'язування Алюміній-Оксиген-Сіліцій становить 133°; довжина зв'язку Алюміній-гідроксид становить 1,834 Å; енергія фрагмента після оптимізації геометрії становить 758,992 кДж/моль).

Встановлено, що сорбція поллютантів, зокрема фенолів та аміаку на глауконіті забезпечується водневими зв'язками і включає в себе періодичне утворення одного або двох таких зв'язків. Запропоновано механізм сорбції поллютантів із рідких відходів коксохімічного виробництва на глауконіті. Висока специфічність сорбції глауконіту до наведених поллютантів обумовлюється дисперсійними силами Ван-дер-Ваальсових взаємодій та іонообмінним механізмом.

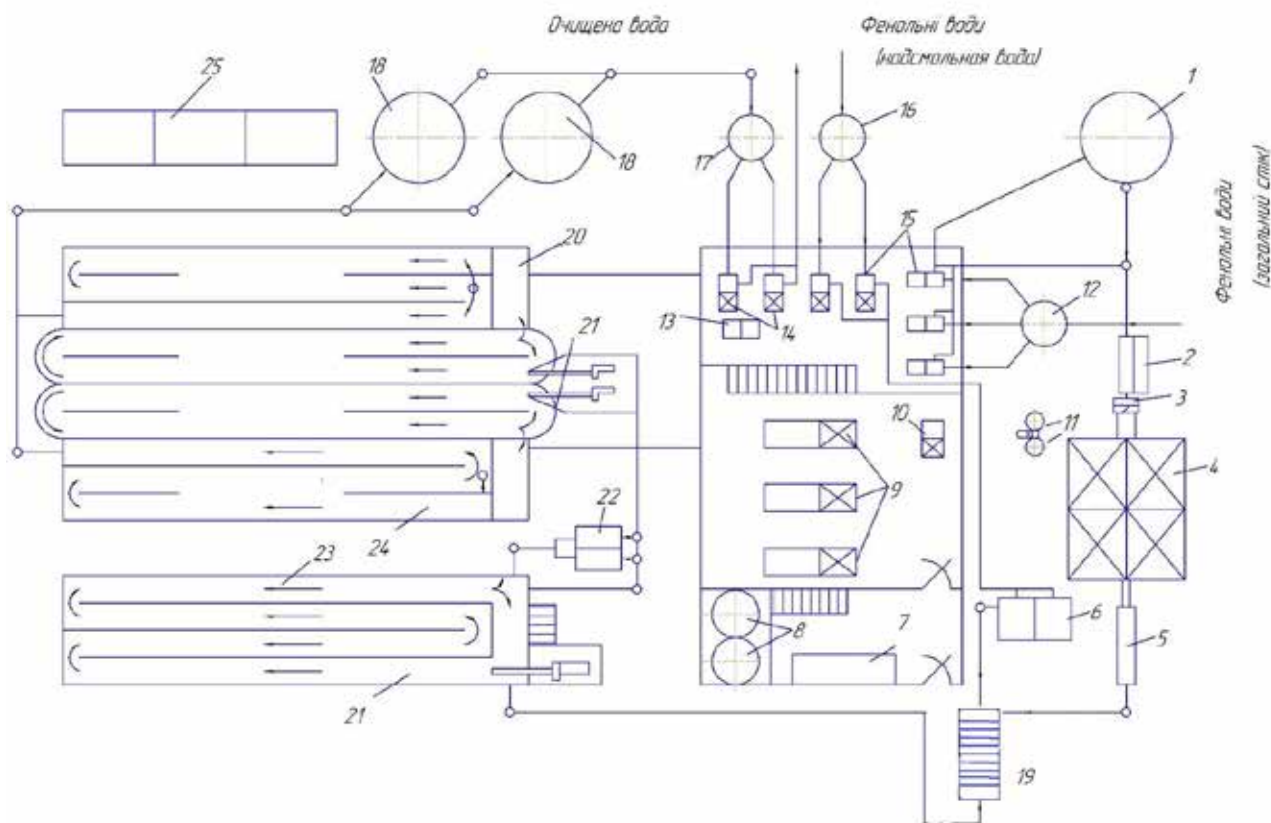


Рис. 2. Удосконалена технологічна схема установки для знефенолення стічних вод біохімічним методом

Запропоновано удосконалену технологічну схему установки знефенолення стічних вод біохімічним методом із попереднім доочищенням рідких відходів шляхом адсорбції на кислотно-активованому гранульованому глауконіті. Після зниження ефективності вилучення фенолів нижче 50 % пропонується проводити десорбцію HCl 0,1 М протягом 6–12 діб.

#### Список використаної літератури

1. Коваленко А. (2021) Удосконалення сорбційних методів очистки стічних вод від солей важких металів [Електронний ресурс]. Український державний університет науки і технологій. Режим доступу: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/de5bb5d1-24f1-4c02-a4da-be647874c554/content> (дата звернення: 15.11.2023).
2. Друкований М. Ф., Ковальський В. П., Бурлаков В. П. Зниження радіоактивності будівельних матеріалів та виробів [Електронний ресурс] / Матеріали ХІХ науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27–28 квітня 2020 р. Електрон. текст. дані. 2020. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/8959>.
3. Yatsyshyn M., Reshetnyak O., Dumanchuk N., Kulyk Yu., Fartushok N., Stadnyk Yu. Hybrid mineral-polymeric composite materials on the basis of the polyaniline and glauconite-silica/ Chemistry & Chemical Technology. Vol. 7, No. 4, 2013. P. 441–444.
4. Ткачук Н.А., Мельник Л.М. Порівняння адсорбційних властивостей глауконіту та активного вугілля при очищенні бортивок. / Харчова промисловість. № 10. 2011. С. 208–212.
5. Хохотва А. П., Маслянка К. С. Сорбція міді та нікелю фосфорильованими сорбентами у статичних умовах / Вістник НТУ «ХП»: Нове рішення в сучасних технологіях. 2019. № 5 (1330). С. 169–174.
6. Білоніжка П. Глауконіт, сколіт, селадоніт: кристалохімія, номенклатура, систематика, умови утворення./ Мінералогічний збірник. 2012. № 62. Вип. 1. С. 38–51.
7. Вплив кислотної активації на структурно-сорбційні характеристики глауконіту та гідрослюди / С.В. Паховчишин, Є.В. Корякіна, А.К. Матковський, Є.М. Нікіпелова, А.В. Панько, В.Ф. Гриценко // Український хімічний журнал. 2007. Т. 73, № 4. С. 92–95.
8. Zango, Z.U.; Rozaini, M.N.; Bakar, N.H.H.A.; Zango, M.U.; Haruna, M.A.; Dennis, J.O.; Alsadig, A.; Ibaouf, K.H.; Aldaghri, O.A.; Wadi, I.A. Advancements in Clay Materials for Trace Level Determination and Remediation of Phenols from Wastewater: A Review. Separations 2023, 10, 125. <https://doi.org/10.3390/separations10020125>.



9. Molview. Режим доступу: <https://molview.org/>(дата звернення: 15.11.2023).  
10. Avogadro. Режим доступу: <https://avogadro.cc/>(дата звернення: 15.11.2023).

#### References

1. Kovalenko A. (2021). Improvement of sorption methods of wastewater treatment from heavy metal salts [Electronic resource]. Ukrainian State University of Science and Technology. Retrieved from: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/de5bb5d1-24f1-4c02-a4da-be647874c554/content> (date of application: 20.11.2023).
2. Drukovany M.F., Kovalskyi V.P., Burlakov V.P. Reduction of radioactivity of building materials and products [Electronic resource] / Materials of the XIIX scientific and technical conference of the divisions of the VNTU. Vinnytsia, Vinnytsia National Technical University, April 27–28, 2020. Retrieved from: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/8959>.
3. Yatsyshyn M., Reshetnyak O., Dumanchuk N., Kulyk Yu., Fartushok N., Stadnyk Yu. (2013). Hybrid mineral-polymeric composite materials on the basis of the polyaniline and glauconite-silica. *Chemistry & Chemical Technology*, 7 (4). P. 441–444.
4. Tkachuk N.A., Melnyk L.M. (2011). Comparison of the adsorption properties of glauconite and activated carbon in the cleaning of sidewalls. *Food Industry*, 10. P. 208–212.
5. A. P. Khokhotva (2019). Sorption of copper and nickel by phosphorylated sorbents under static conditions. *Bulletin of NTU «KhPI». A new solution in modern technologies*, 5 (1330). P. 169–174.
6. Bilonizhka P. (2012). Glauconite, scolite, celadonite: crystal chemistry, nomenclature, systematics, conditions of formation. / *Mineralogical collection*, 62 (1). P. 38–51.
7. Pakhovchyshyn S.V., Koryakina E.V., Matkovskiy A.K., Nikipelova E.M., Panko A.V., Hrytsenko V.F. (2007) The influence of acid activation on the structural and sorption characteristics of glauconite and hydromica. *Ukrainian Chemical Journal*, 73(4). P. 92–95.
8. Zango, Z.U.; Rozaini, M.N.; Bakar, N.H.H.A.; Zango, M.U.; Haruna, M.A.; Dennis, J.O.; Alsadig, A.; Ibaouf, K.H.; Aldaghri, O.A.; Wadi, I.A. Advancements in Clay Materials for Trace Level Determination and Remediation of Phenols from Wastewater [Electronic resource]: A Review. *Separations* 2023, 10, 125. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/separations10020125>.
9. Molview. Retrieved from: <https://molview.org/> (date of application: 15.11.2023).
10. Avogadro. Retrieved from: <https://avogadro.cc/> (date of application: 15.11.2023).

В. Я. БУНЬКО

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри енергетики і автоматики

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів  
і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ORCID: 0000-0002-9403-8135

## АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСИСТЕМ

В даній статті розглянуто питання щодо правильної та безпечної роботи із сервісним програмним забезпеченням «Монітор-2» при використанні персонального комп'ютера для керування інтелектуальними мікропроцесорними пристроями релейного захисту та автоматики серії РЗЛ-05, РЗЛ-06. Дане програмне середовище «Монітор-2» дозволяє керувати пристроями релейного захисту серії РЗЛ-05, РЗЛ-06 за допомогою персонального комп'ютера в лабораторних умовах або з диспетчерського пункту підприємства електричних мереж. В даному випадку для зв'язку інтелектуальних пристроїв релейного захисту і автоматики із ПК використовується протокол зв'язку MODBUS-RTU.

Варто зазначити, що мікропроцесорний пристрій релейного захисту та автоматики РЗЛ-05М призначений для виконання функцій релейного захисту, автоматики, сигналізації приєднань трансформаторів, кабельних та повітряних ліній електропередач напругою до 6–35 кВ. Пристрої призначені для встановлення в релейних відсіках КСО, КРП, КРПЗ електричних станцій та підстанцій, а також на панелях та в шафах РЗА, розташованих у релейних залах та пунктах керування.

Представлено систему керування для дослідження та налаштування мікропроцесорного терміналу, як виконавчого елемента, що забезпечує підвищення надійності системи релейного захисту та автоматизації станцій, підстанцій та електричних мереж.

При експлуатації пристрою необхідно керуватися паспортом пристрою, Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ-2017), Правилами технічної експлуатації електроустановок станцій та мереж (ПТЕ), Правилами безпечної експлуатації електроустановок (ПБЕЕ), СОУ-Н ЕЕ 35.514:2007 «Технічне обслуговування мікропроцесорних пристроїв захисту, протиаварійної автоматики, електроавтоматики, дистанційного керування та сигналізації електростанцій та підстанцій від 0,4 кВ до 750 кВ».

**Ключові слова:** інтелектуальний пристрій, релейний захист, автоматика, мікропроцесорний термінал, енергосистема, електричні станції, підстанції, електричні мережі.

V. YA. BUNKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Power Engineering and Automation

Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

“Berezhany Agrotechnical Institute”

ORCID: 0000-0002-9403-8135

## ANALYSIS OF SOFTWARE FUNCTIONAL CAPABILITIES FOR CONTROLLING INTELLIGENT DEVICES OF RELAY PROTECTION AND POWER SYSTEM AUTOMATION

This article discusses the issue of correct and safe work with the «Monitor-2» service software when using a personal computer to control intelligent microprocessor relay protection and automation devices of the RZL-05, RZL-06 series. This «Monitor-2» software environment allows you to control relay protection devices of the RZL-05, RZL-06 series using a personal computer in laboratory conditions or from the control room of an electrical network enterprise. In this case, the MODBUS-RTU communication protocol is used for communication of intelligent relay protection and automation devices with a PC.

It is worth noting that the RZL-05M microprocessor relay protection and automation device is designed to perform the functions of relay protection, automation, signaling of transformer connections, cable and overhead power lines with a voltage of up to 6–35 kV. The devices are intended for installation in relay compartments of KSO, KRP, KRPZ of electric stations and substations, as well as on panels and in RZA cabinets located in relay halls and control points.

A control system is presented for the study and adjustment of the microprocessor terminal as an executive element that ensures increased reliability of the relay protection system and automation of stations, substations and electrical networks.

*When operating the device, it is necessary to be guided by the device passport, the Rules for the arrangement of electrical installations (PUE-2017), the Rules for the technical operation of electrical installations of stations and networks (PTE), the Rules for the safe operation of electrical installations (PBEE), SOU-H EE 35.514:2007 «Maintenance of microprocessor protection devices, emergency automation, electrical automation, remote control and signaling of power plants and substations from 0.4 kV to 750 kV».*

**Key words:** *intelligent device, relay protection, automation, microprocessor terminal, energy system, electrical stations, substations, electrical networks.*

### Постановка проблеми

Рівень технічного розвитку будь-якої держави визначається в основному станом її енергетики, потужністю електростанцій і виробництвом електричної енергії. Тому, враховуючи пошкодження значної частини енергетичної інфраструктури, спричинене російською військовою агресією варто звернути увагу на відновлення енергетичної системи України, в тому числі на ефективність її роботи за рахунок мікропроцесорних терміналів релейного захисту та автоматизації ліній електропередач, станцій та підстанцій [2].

В даний час більшість використовуваних в Україні пристроїв релейного захисту і автоматики (РЗА) електроенергетичних мереж (ЕЕМ) відносяться до покоління електромеханічних і мікроелектронних реле і не відповідають сучасним науково-технічним вимогам [1]. Один з напрямків удосконалення – використання інтелектуальних пристроїв для виконання функцій релейного захисту і противарійної автоматики в системі електропостачання. Цифрові пристрої мають ряд переваг у порівнянні із системами, виконаними на традиційній елементній базі, у тому числі більш широкі експлуатаційні показники і можливість інтеграції їх у системи керування електроенергетичними об'єктами [1].

Використання мікропроцесорних терміналів для релейного захисту на даному етапі є основними пристроями електричної автоматики, без якого неможлива нормальна та надійна робота сучасних електроенергетичних систем [2].

Тому, використання мікропроцесорних терміналів різного функціонального призначення в системі енергопостачання є невід'ємною частиною прийняття раціональних інженерно-технічних рішень, які дозволять забезпечити безаварійність такої системи та підвищити її надійність та ефективність [2].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженнями мікропроцесорних пристроїв захисту та автоматики (МП РЗА) займалися вчені, зокрема Кузнецов С.М., Яндутьський О.С., Демиденко І.С., Гашкова А.В., Гречишников В.А., Кутін В.М., Кутіна М.В., Ллюхін М.О., Данилов О.А., Гребченко М.В. та інші [1,3]. Значний внесок у розвиток МП систем РЗА внесли: ІЕД НАН України (м. Київ) – Стогній Б.С., Кириленко О.В., Сопель М.Ф. [1]. За останній період щодо науково-технічних розробок, підвищення ефективності функціонування та впровадження МП РЗА ведуться відомими компаніями, зокрема ТОВ «Науково-виробниче підприємство «РЕЛСІС», РЗА СИСТЕМЗ, SCHNEIDER ELECTRIC Україна, ВО «Київприлад», АВВ Україна – General Energy Ukraine», ТОВ НВП «Хартрон Інкор», SIEMENS та інші [1, 4].

### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи являється детальний аналіз функціональних можливостей та режимів роботи інтелектуального мікропроцесорного терміналу релейного захисту та автоматики, зокрема використання програмного забезпечення для керування даним пристроєм. Також метою дослідження являється проведення аналізу роботи мікропроцесорного терміналу в лабораторних мовах за допомогою програмного середовища «Монітор-2», як засіб для підвищення надійності та ефективності функціонування елементів електроенергетичної системи, зокрема трансформаторів, автотрансформаторів, кабельних та повітряних ліній електропередач високої напруги тощо.

### Викладення основного матеріалу дослідження

На сьогоднішній день в системі електропостачання використовуються мікропроцесорні термінали, які мають програмне забезпечення для надійного та ефективного керування технологічними процесами при виробництві, передачі, розподілі та споживанні електричної енергії. Особливу роль в системі релейного захисту та автоматизації енергосистеми відіграють мікропроцесорні пристрої з спеціалізованим програмним забезпеченням, яке використовується для диспетчеризації об'єкту електропостачання [7].

Програма верхнього рівня «Монітор-2» призначена для керування пристроями релейного захисту серій РЗЛ-05, РЗЛ-06 за допомогою персонального комп'ютера. Для зв'язку пристроїв захисту із ПК використовується протокол зв'язку MODBUS-RTU [5–7].

Варто зазначити, що програмне середовище «Монітор-2» має широкі функціональні можливості для керування даними інтелектуальними пристроями і дозволяє [5–6]: зчитувати інформацію про пристрій захисту (тип пристрою, серійний номер пристрою, версію та дату запису програмного забезпечення); переглядати вимірювані величини у первинних чи вторинних величинах; синхронізувати годинник пристрою з ПК; переглядати стан дискретних входів, стан контактів реле, стан світлодіодного індикатора (СДІ), стан віртуальних виходів пристрою; проводити дистанційне керування пристроєм (вмикання, вимикання, квітування, пуск осцилограм тощо)

за командами з ПК; переглядати події в реальному часі; переглядати та змінювати параметри пристрою такі як: пароль, адреси та швидкості портів, відображення вимірювань, перемикання групи уставок, коефіцієнти трансформації трансформаторів струму (ТС) та напруги (ТН) та ін.; переглядати та змінювати налаштування мережевих інтерфейсів RS-485 та USB; переглядати та змінювати уставки функцій захисту, автоматики та контролю, а також режими роботи дискретних входів (ДВ), реле та СДІ; зберігати значення уставок у файл і завантажувати їх з файлу в пристрій; зберігати таблиці налаштувань параметрів та уставок у форматі Excel; переглядати журнал подій пристрою, налаштовувати та зберігати його у форматі Excel; зчитувати з пристрою аварійні та користувальницькі осцилограми, налаштовувати та зберігати їх на ПК у форматі COMTRADE; настроювати умови запису користувацьких осцилограм (за допомогою вільно програмуючої логіки (ВПЛ) або уставок); здійснювати запис користувацьких осцилограм у пристрої за командою з ПК; здійснювати друк лічених осцилограм; переглядати, зберігати та роздруковувати журнал адрес MODBUS пристрою; формувати та переглядати звіти щодо подій; створювати і редагувати логічні схеми користувача, в пристроях, які підтримують ВПЛ (рис. 1); зберігати у файл та завантажувати логічні схеми (для пристроїв, що підтримують ВПЛ).

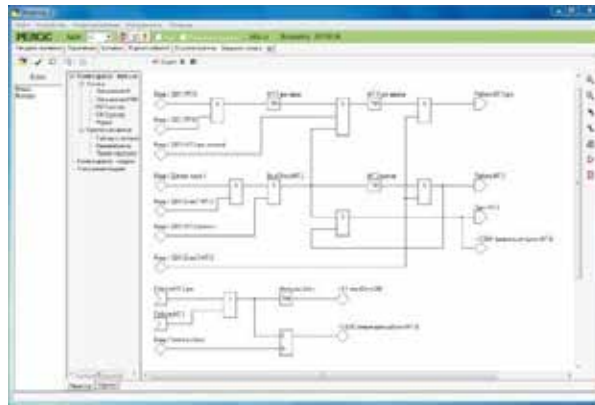


Рис. 1. Спрощена ступінь МСЗ, що створена за допомогою редактора вільної програмованої логіки (ВПЛ) [5, 6]

Керування пристроєм захисту можливе як при підключенні через передній порт USB, так і через інтерфейс RS-485.

Вкладка «Поточні значення» ПЗ «Монітор-2» призначена для моніторингу стану пристрою і може бути налаштована під потреби користувача. Вид панелі представлений рисунку 2.

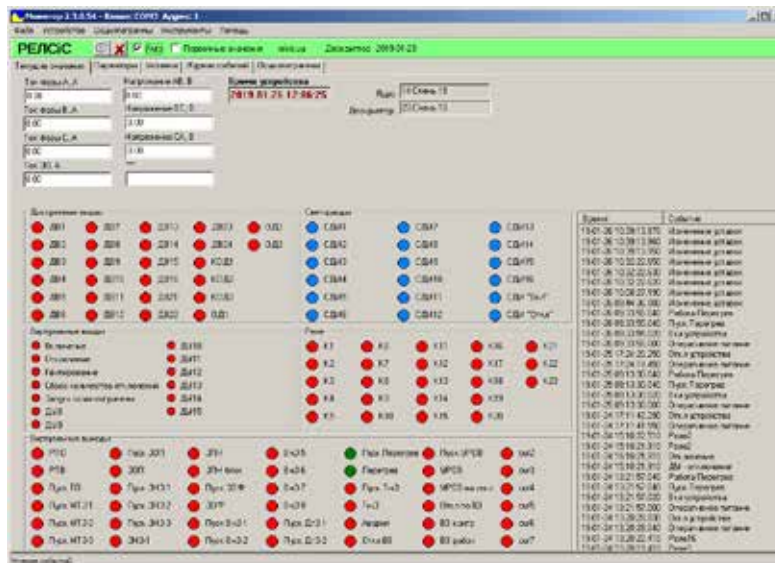


Рис. 2. Панель «Поточні значення» [5, 6]

Ця панель може працювати в режимі автоматичного оновлення або статичному режимі. Вибір режиму здійснюється міткою біля «Auto» на рядку статусу або пунктом меню «Пристрій» – > «Автоповтор».

У режимі автооновлення ПЗ «Монітор-2» з деякою періодичністю зчитує дані про стан пристрою (такі як значення часу пристрою, значення вимірюваних величин, стану дискретних входів, реле, СДІ, віртуальних виходів тощо) та виводить їх на панель «Поточні значення» [5, 6].

Період зчитування інформації може бути змінений, але не менше значення часу повної вичитки інформації. Час вичитування інформації залежить від кількості об'єктів на панелі та від конкретного виконання пристрою [5, 6].

Найбільш цікавим та відповідальним при налаштуванні даних мікропроцесорних реле являється розділ «Уставки», від якого залежить правильність та ефективність роботи системи релейного захисту та автоматики. Панель «Уставки» призначена для відображення або зміни вставок функцій захисту, автоматики та контролю конкретного пристрою. Зовнішній вигляд панелі «Уставки» в режимі відтворення наведено на рисунку 3.

Уровень	Наименование	Группа 1 Active	Группа 2
ТО, MT3, Р3В	ТО режим	Вкл	Откл
ТО, MT3, Р3В	ТО ток, А	5.00	14.00
ТО, MT3, Р3В	ТО время, с	5.00	0.00
ТО, MT3, Р3В	MT3-1 режим	Откл	Откл
ТО, MT3, Р3В	MT3-1 ток, А	2.60	2.60
ТО, MT3, Р3В	MT3-1 время, с	0.10	0.10
ТО, MT3, Р3В	MT3-1 ОНМ режим	В левую	В левую
ТО, MT3, Р3В	MT3-1 ОНМ угол, градус	45	45
ТО, MT3, Р3В	MT3-1 ОНМ сектор, градус	180	180
ТО, MT3, Р3В	MT3-2 режим	Откл	Откл
ТО, MT3, Р3В	MT3-2 ток, А	6.50	6.50
ТО, MT3, Р3В	MT3-2 время, с	0.70	0.70
ТО, MT3, Р3В	MT3-2 ОНМ режим	В левую	В левую
ТО, MT3, Р3В	MT3-2 ОНМ угол, градус	45	45
ТО, MT3, Р3В	MT3-2 ОНМ сектор, градус	180	180
ТО, MT3, Р3В	MT3-3 характеристика	Откл	Откл
ТО, MT3, Р3В	MT3-3 режим	Ненаправленная	Ненаправленная
ТО, MT3, Р3В	MT3-3 ток, А	1.50	5.00
ТО, MT3, Р3В	MT3-3 время, с	0.20	0.00
ТО, MT3, Р3В	MT3-3 ограничение, с	0.00	0.00
ТО, MT3, Р3В	MT3-3 ОНМ режим	В левую	В левую
ТО, MT3, Р3В	MT3-3 ОНМ угол, градус	45	45
ТО, MT3, Р3В	MT3-3 ОНМ сектор, градус	180	180
ТО, MT3, Р3В	ВМ-блок U, В	90.0	90.0

Рис. 3. Панель «Уставки» [5, 6]

Читання значень вставок панелі «Уставки» відбувається автоматично після встановлення зв'язку програми з пристроєм. Повторне читання значень уставок панелі «Уставки» (наприклад, після розриву з'єднання) можна здійснити натисканням на кнопку «Оновити» (або поєднанням клавіш «Ctrl + R»).

Для зручності уставки розбиті на рівні. Кожен із рівнів містить уставки тієї чи іншої функції захисту, автоматики та контролю. У правій частині вікна панелі «Уставки» є фільтр «Рівні». Використовуючи цей фільтр, користувач може вибрати один або кілька рівнів уставок, необхідних для роботи на даний момент.

Список уставок, як правило, поділено на чотири стовпці, зокрема:

1. «Рівень» – вказує, до якого рівня відноситься дана уставка (наприклад, ЗНЗ, ВнЗ, ЗОФ і т.д.);
2. «Найменування» – власне найменування уставки (наприклад, «МСЗ-1 струм», «ЗОФ режим»);
3. «Група 1» – значення уставок для першої групи уставок;
4. «Група 2» – значення уставок для другої групи уставок.

Варто зауважити, що деякі пристрої можуть мати більше двох груп уставок. Активна група уставок позначена позначкою «Active» у верхньому рядку стовпця значень уставок.

Для редагування вставок необхідно перейти в режим редагування, вибравши, перебуваючи на панелі «Уставки», пункт меню «Файл» -> «Редагувати параметри/уставки» (рисунок 4).

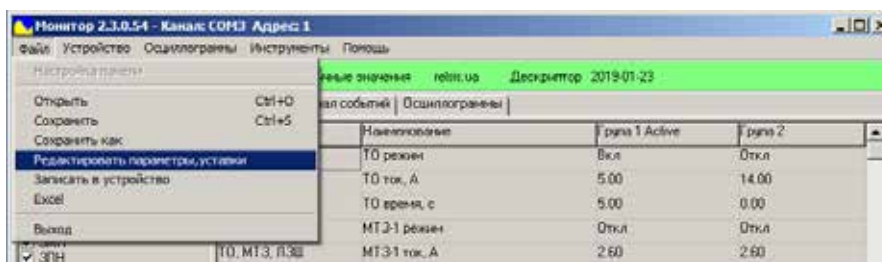


Рис. 4. Активація режиму редагування панелі «Уставки» [5, 6]



3. Кутін В.М. (2017). Засоби діагностування релейного захисту та автоматики електроенергетичних систем : навч. посіб. / В.М. Кутін, М.В. Кутіна, М.О. Ілюхін. Вінниця: ВНТУ. 120 с.
4. Бунько В.Я. (2019). Дослідження та аналіз роботи мікропроцесорного пристрою в умовах зміни потужності споживача. [Електронний ресурс] / В.Я. Бунько, П.М. Дарморіс. // Енергетика і автоматика. № 1. С. 64–72. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia\\_2019\\_1\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2019_1_9).
5. Пристрої серії РЗЛ-05 з вільно програмованою логікою. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05-spl> (дата звернення 12.11.2023)
6. Пристрій захисту та контролю для підстанцій та приєднань 6–35 кВ РЗЛ-05.М [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05m>. (дата звернення 15.11.2023)
7. Гребченко М.В., Нікіфоров А.П., Бунько В.Я. Релейний захист і автоматика розподільних електричних мереж. Частина 1. Навчальний посібник. Київ : ЦП «КОМПРИНТ». 2019. 314 с.

#### References

1. Yandulskiy, O.S. & Dmytrenko, O.O. (2016). *Releinyi zakhyst. Tsyfrovі prystroi releinoho zakhystu, avtomatyky ta upravlinnia elektroenerhetychnykh system [Relay protection. Digital devices of relay protection, automation and control of power systems]*. Kyiv: NTUU «KPI». [in Ukrainian].
2. Bunko, V.Ia. & Darmoris, P.M. (2023). Doslidzhennia intelektualnogo terminalu dlia releinoho zakhystu ta avtomatyzatsii system. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo universytetu korablebuduvannia imeni admiralа Makarova* № 1 (490) / 2023. S. 135–142 [in Ukrainian].
3. Kutin, V.M., Kutina, M.V., & Iliukhin, M.O. (2017). *Zasoby diahnostuvannia releinoho zakhystu ta avtomatyky elektroenerhetychnykh system [Diagnostic tools for relay protection and automation of electric power systems]*. Vinnitsa: VNTU [in Ukrainian].
4. Bunko, V.Ia. & Darmoris, P.M. (2019). Doslidzhennia ta analiz roboty mikroprotsesorного prystroiu v umovakh zminy potuzhnosti spozhyvacha [Research and analysis of the operation of the microprocessor device under the conditions of changing the power of the consumer]. *Enerhetyka i avtomatyka – Energy and automation*, № 1. 64–72. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia\\_2019\\_1\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2019_1_9) [in Ukrainian].
5. Prystroi serii RZL-05 z vilno prohramovanoiu lohikoiu. [Devices of the RZL-05 series with freely programmable logic]. *reلسis.ua*. Retrieved from: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05-spl> [in Ukrainian].
6. Prystrii zakhystu ta kontroliu dlia pidstantsii ta pryednan 6–35 kV RZL-05.M [Protection and control device for substations and connections 6–35 kV RZL-05.M]. *reلسis.ua*. Retrieved from: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation/rzl-05/rzl-05m> [in Ukrainian].
7. Hrebchenko, M.V., Nikiforov, A.P. & Bunko, V.Ia. (2019). *Releinyi zakhyst i avtomatyka rozpodilnykh elektrychnykh merezh [Relay protection and automation of electrical distribution networks]*. Kyiv: TsP «KOMPRYNТ» [in Ukrainian].

**I. I. ВИСОЦЬКА**

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри організації авіаційних перевезень  
Національний авіаційний університет  
ORCID: 0000-0002-0646-2105

**O. O. СОЛОВ'ЙОВА**

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри економіки та бізнес-технологій  
Національний авіаційний університет  
ORCID: 0000-0002-7089-0067

**B. C. КОНОВАЛЮК**

кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри організації авіаційних перевезень  
Національний авіаційний університет  
ORCID: 0000-0001-9909-2491

**I. I. ГЕРАСИМЕНКО**

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг  
Національний авіаційний університет  
ORCID: 0000-0002-4297-3973

## ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ АВІАЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

*У статті розглянуто роль авіації як однієї з галузей національної економіки, стабільність діяльності якої є дуже важливою. Проаналізовано джерела міжнародного та національного нормативно-правового характеру, а також визначено трансформацію дефініції актів незаконного втручання (АНВ). Доведено, що питання, пов'язані з захистом від терористичних загроз, особливо помітні в аеропорту і найімовірніші спроби АНВ відбуваються поблизу нього або безпосередньо в ньому. Також в статті узагальнено нормативну базу функціонування аеропортів за документами і стандартами ICAO, IATA та наведено класифікацію АНВ згідно цих стандартів. З'ясовано, що авіаційна безпека важлива, оскільки це чисте життя і це виводить питання протидії та попередження АНВ на новий щабель.*

*Проаналізовано динаміку видів АНВ за 2020–2022 роки та з'ясовано, що сьогодні таких подій набагато менше і це свідчить про належне регулювання щодо запобігання подібних актів незаконного втручання.*

*В загальній схемі управління ризиками в умовах невизначеності та недостатньої інформації, необхідної для належної оцінки загроз та ризиків, сформовано трирівневу можливість проведення оцінки параметрів наслідку загроз кожної вразливої групи. Таким чином, оцінка ризику тісно пов'язана з кожним критичним елементом аеропорту, а самі втрати пов'язані з успіхом запропонованих заходів щодо протидії загрозам.*

*Удосконалено оцінку рівня інформованості про кожну складову системи «ПС – система автоматичного управління – екіпаж – середовище – особлива ситуація» щодо можливих ризиків та загроз, що викликаються їх діяльністю. Запропоновано в цій системі розглядати як складову «акт незаконного втручання», а саме: «ПС – система автоматичного управління – екіпаж – середовище – акт незаконного втручання – особлива ситуація».*

*Доведено, що безпека будь-якого аеропорту в питаннях рішення технічних та організаційних заходів має бути об'єднано в єдину систему на основі комплексного підходу.*

**Ключові слова:** аеропорт, авіаційна безпека, акт незаконного втручання, загроза, вразливість, ризик, тероризм.

**I. I. VYSOTSKA**

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Air Transport Organization  
National Aviation University  
ORCID: 0000-0002-0646-2105



O. O. SOLOVIOVA

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Economics and Business Technology  
National Aviation University  
ORCID: 0000-0002-7089-0067

V. S. KONOVALIUK

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Air Transport Organization  
National Aviation University  
ORCID: 0000-0001-9909-2491

I. M. HERASYMENKO

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Organization  
of Aviation Works and Services  
National Aviation University  
ORCID: 0000-0002-4297-3973

## FORMATION OF A COMPREHENSIVE AIRLINE SECURITY SYSTEM

*The article examines the role of aviation as one of the national economy branches, the stability of which is very important. Sources of international and national normative and legal nature were analyzed, and the transformation of the definition of illegal interference acts (IIA) was determined. It has been proven that the issues related to protection against terrorist threats are particularly visible at the airport and the most likely attempts of IIA take place near it or directly in it. Also, the article summarizes the regulatory framework for the functioning of airports according to the documents and standards of ICAO, IATA and gives the classification of IIA according to these standards. It became clear that aviation security is important because it is someone's life and this brings the issue of countering and preventing IIA to a new level.*

*The dynamics of IIA types for the years 2020–2022 were analyzed and it was found that today there are much fewer such events and this indicates proper regulation to prevent similar acts of illegal interference.*

*In the general scheme of risk management in conditions of uncertainty and insufficient information necessary for the correct assessment of threats and risks, a three-level possibility of assessing the parameters of the consequence of each vulnerable group threats has been formed. Thus, the risk assessment is closely related to each critical element of the airport, and the losses themselves are related to the success of the proposed countermeasures against the threats.*

*The assessment of the each component awareness level of the «aircraft – automatic control system – crew – environment – special situation» system regarding possible risks and threats caused by their activities has been improved. It is proposed to consider the « illegal interference act » as a component in this system, namely: «aircraft – automatic control system – crew – environment – illegal interference act – special situation.»*

*It has been proven that the security of any airport in matters of technical and organizational measures should be combined into a single system based on an integrated approach.*

**Key words:** airport, aviation security, illegal interference act, threat, vulnerability, risk, terrorism.

### Постановка проблеми

Цивільна авіація характеризується специфічними умовами реалізації виробничої діяльності, які пов'язані з підвищеними вимогами в галузі безпеки польотів і авіаційної безпеки (АБ). Як поняття АБ існує з ХХ століття. Тому, можна вважати, що дослідження процесу забезпечення АБ є новим і потребує постійного удосконалення відповідно сучасних реалій.

На кожному етапі свого становлення АБ продовжує змінюватися під впливом нових загроз, викликів щодо управління безпекою, застосування нових технологій, процесів, політики та законодавства.

Захист аеропорту від актів незаконного втручання залежить також від рівня професійної підготовки і готовності співробітників служби авіаційної безпеки (САБ) відповідально та ефективно виконувати посадові обов'язки у своїй сфері. Важливим для досягнення цієї мети є розуміння всім персоналом того, що атаки, ймовірно, відбуватимуться незалежно від кількості та ефективності встановлених рівнів стримування. Тому важливим є формування комплексної системи безпеки авіаційного підприємства.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Загальні проблеми впровадження заходів авіаційної безпеки авіапідприємства досліджували багато вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема: С. Богданов, А. О. Лещинський, Д. Бугайко, Н. Соколова, В. Харченко, В. Іваннікова, О. Соколова, Черепа, Є. Сич, Г. Гарипова, В. Кулик, Т. Акімова, К. Марінцева, Д. Бейлі, І. Бланк, П. Друкер та інші. В цих наукових працях достатньо повно висвітлені поняття авіаційної безпеки, безпеки польотів в умовах виникнення особливої ситуації, запропоновані теоретичні підходи до вимірювання рівнів безпеки,

а також запропоновані методи прийняття рішень по оперативному реагуванню та відновленню діяльності в нестабільних умовах на всіх рівнях управління системою.

Згідно з системними дослідженнями стан об'єкта захисту розглядається як певна його характеристика, пов'язана з нерівномірним, неоднорідним і нестабільним середовищем, що гарантує захист цього об'єкта.

#### Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження динаміки та видів актів незаконного втручання (АНВ) та розробка комплексної системи безпеки авіаційного підприємства.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Авіація – одна з найважливіших галузей національної економіки, ефективне функціонування якої є необхідною умовою стабілізації, структурних перетворень, розвитку та провадження зовнішньоекономічної діяльності, задоволення потреби населення і суспільного виробництва в перевезеннях, забезпечення захисту національних інтересів України.

Згідно з Повітряним кодексом України, аеропорт – це комплекс споруд, призначених для приймання, відправлення повітряних суден та обслуговування повітряних перевезень, що має для цих цілей аеродром, інші наземні споруди та необхідне обладнання [1]. Метою діяльності будь-якого аеропорту є надання якісних та своєчасних послуг.

Існує багато таких регуляторних органів, але всі вони працюють для впровадження та підтримки серії стандартів, визначених Міжнародними організаціями цивільної авіації: ICAO, IATA, ACI. Нормативна база функціонування аеропортів представлена в таблиці 1.

Таблиця 1

#### Нормативна база функціонування аеропортів

<i>Основні документи ICAO щодо організації функціонування аеропортів:</i>	<i>Основні документи IATA щодо організації функціонування аеропортів:</i>
Додаток 9 (до Чиказької конвенції) «Спрощення формальностей»	Керівництво по аеропортовій діяльності – Airport Handling Manual (AHM), поточне видавництво.
Додаток 14 (до Чиказької конвенції) «Аеродроми».	Керівництва IATA з наземного обслуговування – IATA Ground Operations Manual (IGOM), поточне видавництво.
Док. 9652 Керівництво з економіки аеропортів	Резолюції конференцій з обслуговування пасажирів – PSCR (Passenger Service Conference Resolution).
Док 9636 Міжнародні піктограми, що забезпечують орієнтацію відвідувачів в аеропортах.	Керівництво зі стандартів ISAGO–ISAGO Standards Manual – 6-е видавництво.
	Стандартна Згода про Наземне Обслуговування (Standard Ground Handling Agreement – SGHAAHM810).
	Згода про рівень (якості) обслуговування (Service Level Agreement – SLA).

Державний орган, що працює на національному рівні, називається Авіаційним регулюючим органом. Він затверджує та регулює нормативну базу цивільної авіації на національному рівні. Ці регулюючі органи часто називають Національним авіаційним органом (NAA – National Aviation Authority) або Управлінням цивільної авіації.

Постійна співпраця ICAO з усією спільнотою авіаційного транспорту націлена покращувати авіаційну безпеку та стандарти.

Документи ICAO виділяють чотири основні види нападів на міжнародну цивільну авіацію: диверсії проти повітряних суден та будівель аеропорту, захоплення повітряних суден, збройні напади на аеропорти та збройні напади на будівлі авіакомпаній [2].

В документі 9713 (словник ICAO) зазначається, що АНВ – це протиправні дії, пов'язані з посяганням на нормальну і безпечну діяльність авіації й авіаційних об'єктів, унаслідок яких сталися нещасні випадки з людьми, майнові збитки, захоплення чи викрадення повітряного судна або такі, що створюють ситуацію для подібних наслідків [3].

Класифікація АНВ згідно Міжнародної організації ICAO відбувається наступним чином:

- незаконне захоплення повітряного судна в польоті;
- незаконне захоплення повітряного судна на землі;
- захоплення заручників на борту повітряного судна або на аеродромах;
- насильницьке проникнення на борт повітряного судна, в аеропорт або в розташування аеронавігаційних засобів чи служб;
- розміщення на борту повітряного судна або в аеропорту зброї, небезпечного пристрою, чи матеріалу, що призначені для злочинних цілей;

– повідомлення неправдивої інформації, яка ставить під загрозу безпеку повітряного судна в польоті і на землі, пасажирів, членів екіпажу, наземного персоналу або спільноти в аеропорту або в розташуванні засобів та служб цивільної авіації.

Сьогодні кількість людей в світі, що вважають тероризм серйозною загрозою національній безпеці, значно зменшилася. Наразі їх більше хвилює економіка, коронавірус, пандемія та расизм.

Але, пов'язані з захистом від терористичних загроз питання особливо помітні в аеропорту. І найімовірніші спроби АНВ відбуваються поблизу нього або безпосередньо в ньому. Заборонені речі, безсумнівно, можна використати як зброю. Тому, посилені заходи з АБ є виправданою мірою. Також можна стверджувати, що сучасні технології та кіберпростір дають можливість спростити терористам і злочинним групам питання здійснення АНВ і їхня присутність не є обов'язковим елементом, а це ускладнює задачу. Але, потрібно пам'ятати, що авіаційна безпека важлива, оскільки це чиєсь життя і це виводить питання протидії та попередження АНВ на новий щабель.

Статистичний ряд динаміки АНВ за 2020–2022 роки наведено на рисунку 1.

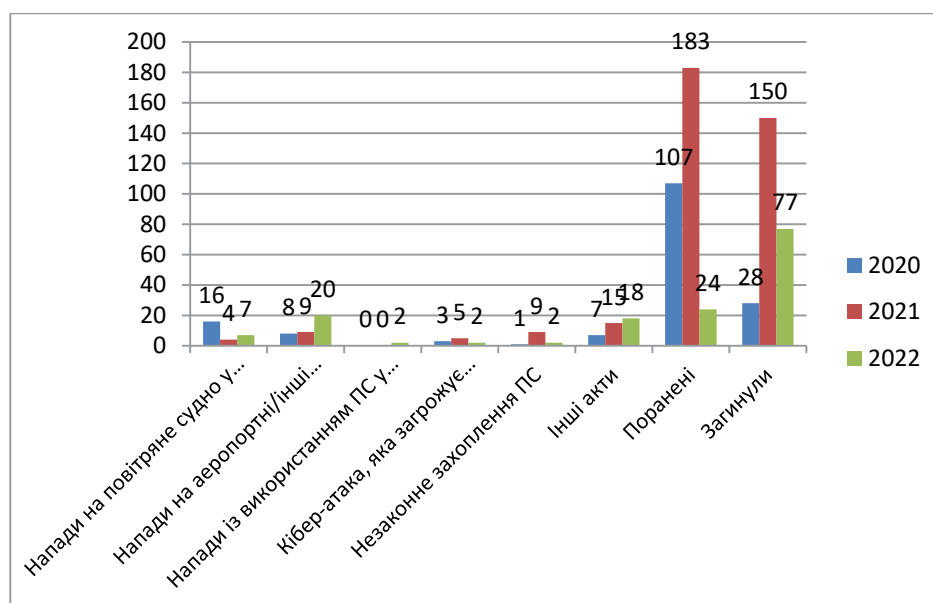


Рис. 1. Статистичний ряд динаміки АНВ за 2020–2022 роки

Що стосується подій, які відбувалися, можна сказати, що сьогодні таких подій набагато менше. Це свідчить про грамотне регулювання щодо запобігання подібних актів незаконного втручання.

Аналіз джерел міжнародного та національного нормативно-правового характеру показав трансформацію дефініції АНВ зі зміною паралельно і тактики терористів, де сам зміст дефініції АНВ включає в себе такі категорії як: загрози та ризики.

Поняття загрози, ризику та вразливості для авіаційних підприємств надані в нормативно-правових актах, науковій та навчальній літературі.

Оцінка вразливості – це процес, який враховує використання терористами наявності слабких місць в діяльності авіапідприємств та рекомендує варіанти усунення або пом'якшення виявлених недоліків. Що ж до оцінки критичності, то цей процес має мінливий та різний характер впливу, що в системі ідентифікації та оцінки активів організації визначає основні їх цінності та важливість функцій різноманітних груп.

Оцінка ризиків дає можливість виявити параметри наслідку загроз кожної вразливої групи. Таким чином, оцінка ризику тісно пов'язана з кожним критичним елементом аеропорту, а самі втрати пов'язані з успіхом запропонованих заходів щодо протидії загрозам.

Управління ризиками, в принципі, є одним з важливих етапів процесу управління безпекою польотів в авіаційних організаціях, але не єдиним, оскільки його вплив поширюється на багато інших факторів. Все залежить від мети та обсягу управління ризиками. На рисунку 2 показаний приклад процесу управління ризиками [4].

Згідно з результатами оцінки, ризик потрапляння в недопустиму зону неприйнятний ні за яких обставин. Імовірність та серйозність наслідків небезпечних факторів дуже важливі, тому можливість попередження виникнення ризику для діяльності авіапідприємства знижує збиток.

Авіаційна влада рекомендувала два способи перевести неприйнятний ризик в прийнятну зону або в межу допустимої зони: якщо це можливо, то вжити заходів щодо зниження рівня небезпеки, якщо ні – даний вид діяльності необхідно припинити.

Ризики, які знаходяться в допустимих межах залежно від результатів оцінки, можуть бути прийнятними за умови, що вжиті заходи для їх зниження гарантують прогнозовану ймовірність, а тяжкість наслідків впливу небезпечних факторів є контрольованою авіапідприємством.



Рис. 2. Загальна схема управління ризиками

Іншими словами, суть процедури оцінки ризиків – це економічне співвідношення між вартістю запропонованих рішень з авіаційної безпеки і можливими наслідками від ризиків.

Авіаційна безпека також є фактором впливу щодо запобігання аварій та інцидентів в авіаційній галузі. Тоді, доречно стверджувати, що безпека – це не випадковість. Насправді, нещасний випадок або інцидент рідко бувають випадковими. Під час здійснення він має багато ознак, які можна легко визначити для своєчасного втручання.

Аварія, як правило, не є прямим наслідком однієї несправності, бо це об'єднання різних причинних факторів, які послідовно складаються та збігаються в одну точку часу, де останній тригер призводить до перекриття всіх невдалих бар'єрів. Зазвичай, це один випадок помилки чи недогляду, який знаходить безперешкодний прохід крізь низку відсутніх, неефективних або невдалих перешкод. Ідея полягає в тому, щоб розірвати ланку в ланцюгу можливих помилок. Безпека має першочергове значення, де б не були задіяні люди: вдома, на роботі чи в транспортному засобі.

Взаємодія трьох характерних складових безпеки авіатранспортного підприємства: безпека польотів, авіаційна безпека і екологічна безпека, являють собою основу комплексної системи безпеки авіатранспортних підприємств. А всі функціональні елементи даної системи, що наведено на рисунку 3, мають синергетичний ефект і їх відокремлення неможливо.

Важливим для системи безпеки авіатранспортних підприємств є рівень інформованості про кожну складову цієї системи. Як зазначено у роботі [5], культуру безпеки польотів можна оцінити через рівень інформованості про кожну складову системи «ПС – система автоматичного управління – екіпаж – середовище – особлива ситуація» щодо можливих ризиків та загроз, що викликаються їх діяльністю.

На нашу думку, необхідно в цій системі розглядати як складову «акт незаконного втручання», а саме: «ПС – система автоматичного управління – екіпаж – середовище – акт незаконного втручання – особлива ситуація».

$$W_{\text{об}}(P) = W_{\text{пс}}(P) * W_{\text{ек}}(P) * W_{\text{ср}}(P) * W_{\text{анв}}(P) * W_{\text{ос}}(P),$$

$$W_i(P) \leq 1 \quad (1)$$

У виразі (1) закладено наступні властивості: за наявності  $i$ -тої причини, що викликає виникнення ОС у польоті, передатна функція, що відповідає місцю її появи  $W_i(P)$  приймає наступні значення – за відсутності впливу  $i$ -тої причини на культуру безпеки  $W_i(P) = 1$ , при переводі цією причиною штатної польотної ситуації відразу в катастрофічну  $W_i(P) = 0$ . У всіх інших ситуаціях  $W_i$  змінюється від значень більше нуля, але менше одиниці, створюючи таким чином блокову матрицю, що є системною агрегацією системи «ПС – система автоматичного управління – екіпаж – середовище – акт незаконного втручання – особлива ситуація».

В авіації безпека визначає саме існування галузі. Авіація є складним бізнесом і передбачає участь людей у кількох сферах.

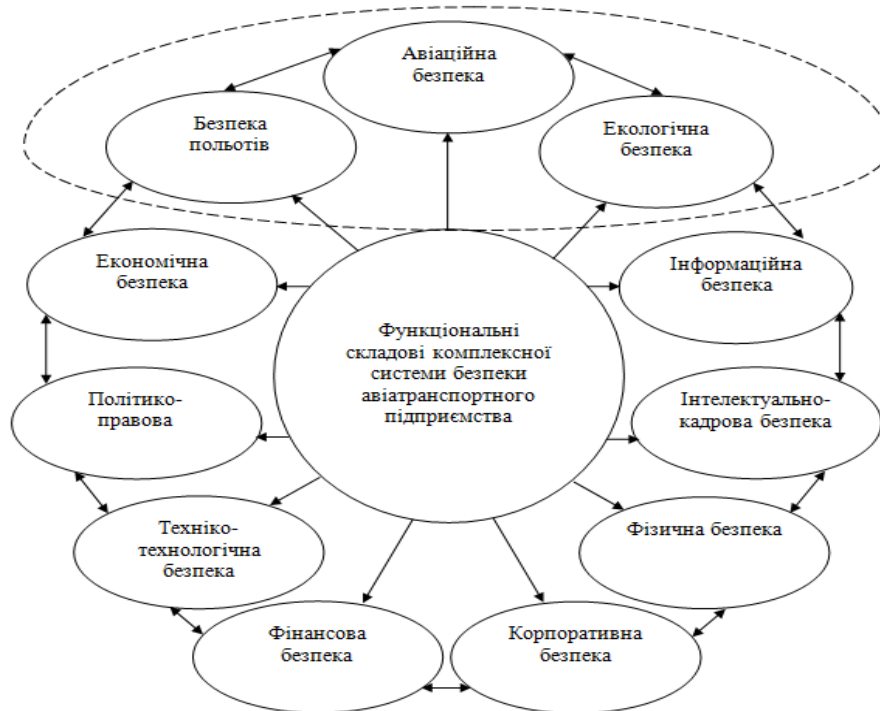


Рис. 3. Комплексна система безпеки авіатранспортного підприємства

Кожне авіапідприємство відіграє важливу роль у забезпеченні безпечної зльоту та приземлення кожного рейсу, починаючи від виробника, технічного обслуговування, наземної підтримки, диспетчерського управління, борту до екіпажу й навіть пасажирів. Це досягається за допомогою складної мережі процедур, які запобігають помилкам і пропускам, а також процесів, які існують для виявлення таких недоліків. Люди працюють біля обладнання та в умовах, які самі можуть бути небезпечними. Ця безпека передбачає не лише безпечну експлуатацію повітряних суден, але й безпеку та добробут персоналу, який працює за лаштунками бажаного та безпечного результату.

Щоб забезпечити безпеку пасажирів і екіпажу під час польоту, авіабезпеку має бути завжди на першому місці, також це питання номер один для будь-якого авіапідприємства в усіх аспектах авіаперевезень. Через погане управління безпекою авіапідприємство несе не лише збитки, пов'язані з авіакатастрофою, але й втрату багатьох цінних людських життів.

Як було зазначено вище, безпека будь-якого аеропорту в питаннях рішення технічних та організаційних заходів має бути об'єднана в єдину систему на основі комплексного підходу.

Сучасні системи які використовуються в аеропортах, як правило, комплектуються комплексно, за рахунок інтелектуальних систем авіаційної безпеки. Ці системи пов'язані між собою реверсивним (або нейронним) сполученням і передачею відповідних сигналів від однієї системи до іншої, де вибудовані моделі поведінки і алгоритм сценарію реагування на нештатні ситуації. У зв'язку з безперервним пасажиропотоком, цілодобово і безперервно повинна працювати система безпеки аеропорту, де, в першу чергу, має розглядатися максимальний захист людей з урахуванням різних факторів всіх існуючих загроз.

Ефективність забезпечення комплексної системи авіаційної безпеки залежить від виконання і дотримання чинного законодавства. Важливою передумовою зростання ефективності авіаційної безпеки є достатній рівень розвитку інфраструктури, поширення доступу до інноваційних і інформаційних центрів, а також належний стан економіки та науково-технічного прогресу.

Особливості суспільства також впливають на показники ефективності авіаційної безпеки. Адже процедури безпеки слід застосовувати, враховуючи менталітет, стать, вік тощо суб'єктів, а це впливає і на якість, і на швидкість їх проведення.

Таким чином, ефективність авіаційної безпеки залежить від ряду як внутрішніх, так і зовнішніх чинників. Її можна представити у вигляді функції:

$$E_{AB} = f(k_1, k_2, \dots, k_n), \quad (2)$$

де  $E_{AB}$  – ефективність авіаційної безпеки;  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – внутрішні і зовнішні чинники, що на неї впливають.

Проблема підвищення ефективності авіаційної безпеки полягає в тому, щоб при мінімальній кількості залучених ресурсів (трудових, матеріальних і фінансових) та при чіткому виконанні вимог чинного законодавства

з питань авіаційної безпеки досягти максимально можливого збільшення бажаного результату (запобігання актам незаконного втручання, зменшення їх кількості, пом'якшення наслідків тощо) [6]. Саме тому, лише вміле використання усієї системи перелічених складових може забезпечити достатні темпи зростання ефективності авіаційної безпеки.

### Висновки

Авіаційний сектор демонструє позитивну тенденцію до рівня допандемічного періоду. Це зростання породжує проблему довіри до авіаційного сектору і забезпечення високого рівня авіаційної безпеки. Авторами підкреслюється необхідність розробки та впровадження у діяльність авіа підприємства комплексної системи безпеки, в результаті чого буде відбуватись істотне підвищення рівня авіаційної безпеки авіа підприємства, а також перехід від тактики оперативного реагування до стратегії попередження виникнення загроз. За рахунок цього можливо створити передумови не тільки для підвищення ефективності роботи служби авіаційної безпеки, але і отримати додатковий економічний ефект від збільшення пасажиропотоку внаслідок зростання довіри до авіаційного сектору.

### Список використаної літератури

1. Повітряний кодекс України : станом на 21 жовт. 2023 р. / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text> (Дата звернення: 21.11.2023).
2. Авіаційна безпека. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Авіаційна\\_безпека](https://uk.wikipedia.org/wiki/Авіаційна_безпека) (Дата звернення: 21.11.2023).
3. Про затвердження Авіаційних правил України «Організація повітряного руху» : Наказ Державної авіаційної служби України від 09 груд. 2021 р. № 1920 URL: <https://ips.ligazakon.net/document/TM029708> (Дата звернення: 21.11.2023).
4. S. Wong, N. Brooks. Development of security based on risks: an overview of current issues and emerging trends affecting security screening in the aviation industry. *J. Air transport. Manager.* 2015; 48: 60–64. URL: <https://www.infona.pl/licenses/list?documentId=bwmeta1.element.elsevier-ae0dded4-d739-3d6c-8298-a1bcf0cf3b83> (Дата звернення: 21.11.2023).
5. Прохоренко І.В., Тимошенко Н.А., Соколова Н.П., Кравчук Н.П., Мазур Т.А. Методи підвищення безпеки польотів повітряних суден в особливих ситуаціях у польоті. *Вісник ХНТУ.* 2023. № 1(84). С. 55–62.
6. Bugayko D., Isaienko V., Lischinskiy O., Sokolova N., Zamiar Z. Analysis of aviation safety system by fractal and statistical tools. *Logistics and Transport.* Wroclaw : International School of Logistics and Transport in Wroclaw, 2019. № 4 (44). P. 41–60. URL: <http://jeej.wunu.edu.ua/index.php/ukjee/article/download/1523/1514> (дата звернення 03.11.2023).

### References

1. Air Code of Ukraine (2023, 21 october). Verkhovna Rada of Ukraine. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text>.
2. Aviation security. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Aviation\\_security](https://uk.wikipedia.org/wiki/Aviation_security).
3. Order of the State Aviation Service of Ukraine dated «On the approval of the Aviation Rules of Ukraine «Organization of Air Traffic» № 1920 (2021, 09 december). <https://ips.ligazakon.net/document/TM029708>.
4. Wong, S., & Brooks, N. (2015). Development of security based on risks: an overview of current issues and emerging trends affecting security screening in the aviation industry. *J. Air transport. Manager*, (48), 60–64. <https://www.infona.pl/licenses/list?documentId=bwmeta1.element.elsevier-ae0dded4-d739-3d6c-8298-a1bcf0cf3b83>.
5. Prokhorenko, I.V., Tymoshenko, N.A., Sokolova, N.P., Kravchuk, N.P., & Mazur, T.A. (2023). The safety increasing methods of aircraft flights in special situations in flight. *KhNTU Bulletin.* № 1(84), 55–62.
6. Bugayko, D., Isaienko, V., Lischinskiy, O., Sokolova, N., & Zamiar, Z. (2019). Analysis of aviation safety system by fractal and statistical tools. *Logistics and Transport. Wroclaw.* № 4 (44), 41–60. <http://jeej.wunu.edu.ua/index.php/ukjee/article/download/1523/1514>.

С. О. ВОІНОВА

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації технологічних процесів  
і робототехнічних систем  
Одеський національний технологічний університет  
ORCID: 0000-0003-0203-0599

## ПРО ВПЛИВ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ НА ПІДГОТОВКУ АСПІРАНТІВ

Пріоритетним завданням підготовки здобувачів третього освітньо-наукового ступеня вищої освіти – доктора філософії є інформатизація освітнього простору під час навчання в аспірантурі. Також інформатизація є принципово важливою характеристикою нинішнього етапу розвитку науки. Уряд України законодавчо затвердив завдання інформатизації суспільства, чим підтвердив актуальність питання. Процес інформатизації суспільства включає в себе медіатизацію, комп'ютеризацію та інтелектуалізацію. Серед існуючих у відкритому друці наукових розробок щодо питання інтеграції навчальної і наукової діяльності аспірантів, мало дослідженим є питання впливу інформатизації на цей процес. Метою дослідження є вивчення впливу інформатизації на науково-дослідну і навчальну роботи аспірантів та можливості її використання як інструмента інтеграції цих взаємопов'язаних сторін діяльності аспірантів. В національній доктрині розвитку системи освіти визначальним чинником ефективності її інформатизації зазначено здатність викладачів здійснювати професійну діяльність із використанням інформаційних та телекомунікаційних технологій. Розвиток та інформатизація науки та освіти вимагають від вишів постійного коригування способів підготовки аспірантів з урахуванням нових прогресивних методів навчання та наукового дослідження. Педагогам-дослідникам, схильним до інновацій, простіше запровадити у навчальний процес результати сучасних наукових досліджень та ефективно використовувати сучасні інформаційні технології. Корисно підсилити увагу аспірантів до того, що комп'ютерна техніка та інформаційні технології сприяють автоматизації та інтенсифікації досліджень. Інформатизація має стати суттєвим фактором інтеграції наукової та навчальної роботи аспірантів.

**Ключові слова:** інформатизація, вища школа, заклад вищої освіти, аспірант, навчальна робота, науково-дослідна робота.

S. O. VOINOVA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation  
of Technological Processes and Robotic Systems  
Odesa National University of Technology  
ORCID: 0000-0003-0203-0599

## ABOUT THE INFORMATIZATION IMPACT ON THE POSTGRADUATE STUDENTS' TRAINING

The priority task of training the applicants of the third educational and scientific degree of higher education – PhD – is the informatization of the educational space during postgraduate studies. Informatization is also a fundamentally important characteristic of the current stage of the development of science. The Government of Ukraine has legislatively approved the task of informatization of society, thereby confirming the relevance of the issue. The process of informatization of society includes mediatization, computerization, and intellectualization. Among the scientific developments in open print on the issue of integration of educational and scientific activities of postgraduate students, the question of the influence of informatization on this process is little researched. The purpose of the study is to study the impact of informatization on research and educational work of postgraduate students and the possibility of using it as a tool for integrating these interrelated aspects of the activities of postgraduate students. In the national doctrine of the development of the education system, the determining factor of the effectiveness of its informatization is the ability of teachers to carry out professional activities using information and telecommunication technologies. The development and informatization of science and education require universities to constantly adjust the methods of postgraduate students training, taking into account new progressive methods of teaching and scientific research. Educators-researchers prone to innovation find it easier to introduce the results of modern scientific research into the educational process and effectively use modern information technologies. It is useful to increase the attention of postgraduate students to the fact that computer equipment and information technologies contribute to the automation and intensification of research. Informatization should become an essential factor in the integration of scientific and educational work of postgraduate students.

**Key words:** informatization, higher school, institution of higher education, postgraduate student, educational work, research work.

### Постановка проблеми

В умовах глобалізації та прискорення інтеграційних процесів у вищій освіті одним із ключових елементів інноваційної інфраструктури сучасного вишу є дослідницький ступінь професійної підготовки кадрів найвищої кваліфікації. Ключові тенденції сучасної вищої освіти змінюють структуру та методичні підходи до організації підготовки фахівців-дослідників. Тому необхідне педагогічне осмислення процесів, що відбуваються в цій сфері.

У сучасній вищій школі з великою прогресією зростає потреба в особистісно орієнтованому, креативному, конкурентоздатному педагогові, який готовий не лише до відтворення набутих знань, сформованих умінь і навичок, а й до самостійного проектування власної діяльності [1].

Пріоритетними завданнями підготовки здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти як нового покоління педагогів, здатних до здійснення професійної діяльності в умовах інформаційно-комунікаційних технологій є інформатизація освітнього простору під час навчання в аспірантурі.

Таким чином здійснюється процес забезпечення системи освіти теорією та практикою розробки та використання нових інформаційних технологій, орієнтованих на реалізацію цілей освіти та виховання – інформатизація освіти [2].

З іншого боку, на рубежі ХХ–ХХІ століть парадигма e-science прийшла на заміну емпіричній, теоретичній та обчислювальній парадигмам, які вже не могли забезпечити потрібні темпи реєстрації, накопичення, обробки та швидкості обміну необхідними обсягами наукової інформації за допомогою існуючих засобів, методів та технологій. У всьому світі створюються відповідні інфраструктури, які здатні забезпечити швидке переміщення як первинних та оброблених даних, так і інтенсивне наукове спілкування, засновані на використанні глобальних мереж та Web-технологій [3].

Таким чином, принципово важливою характеристикою нинішнього етапу розвитку науки є становлення та стрімкий розвиток комп'ютерних наук та інформаційних технологій, тобто інформатизація науки.

Інформатизація (англ. Informatization), як свідчить українська Вікіпедія, це – політика та процеси, спрямовані на побудову та розвиток телекомунікаційної інфраструктури, що поєднує територіально розподілені інформаційні ресурси. Процес інформатизації є наслідком розвитку інформаційних технологій та трансформації технологічного, продукто-орієнтованого способу виробництва в постіндустріальний. В основі інформатизації закладено кібернетичні методи та засоби управління, а також інструментарій інформаційних та комунікаційних технологій.

Загальновідомо, що наукова та навчальна робота є основними видами діяльності будь-якого аспіранта, а необхідність їхнього взаємопов'язання не викликає сумнівів. При цьому необхідні процеси інтеграції подібних видів діяльності аспірантів протікають на фоні глобальних процесів інформатизації освіти та повсюдного поширення інновацій.

Необхідний пошук значущих чинників підвищення ефективності підготовки аспірантів у вишах, оскільки саме у аспірантурі відбувається підготовка педагогічної еліти – спеціалістів, здатних розробити та реалізувати більшість інноваційних підходів у галузі педагогіки. До аспірантів традиційно пред'являються підвищені вимоги, що полягають у необхідності поєднання практичної навчальної, науково-дослідної та інноваційної діяльності в умовах повсюдного використання інформаційних технологій. При цьому самі технології багато в чому є інноваціями.

Широке поширення сучасних інформаційних технологій фундаментально змінило традиційні уявлення про можливості розвитку людського інтелекту та призвело до розробки принципово нових способів організації його освітньо-пізнавальної сфери, зокрема на третьому освітньо-науковому рівні.

Актуальність застосування нових інформаційних технологій продиктована передусім педагогічними потребами у підвищенні ефективності навчання, зокрема, потребою формування навичок самостійної навчальної діяльності, дослідницького, креативного підходу у навчанні, формування критичного мислення, нової культури. Нині зі стрімким наростанням обсягу інформації знання перестають бути самоціллю, вони стають умовою успішної реалізації особистості, її професійної діяльності. У зв'язку з цим важливо допомогти аспірантам стати активними учасниками процесу навчання та формувати у них потребу у постійному пошуку. Відповідно, стоїть завдання створити таку модель навчального процесу, яка б дозволяла розкривати та розвивати їх творчий потенціал. Інформаційно-комунікативні технології сприяють побудові подібної моделі, створенню відкритого інформаційно-освітнього простору, в основу якого покладено принцип спільної творчої діяльності тих, хто навчається та навчає. Основна мета інформатизації – створення єдиного інформаційно-освітнього простору вишу, що є необхідним для підтримки освітньої, науково-дослідної та організаційно-комерційної діяльності закладу вищої освіти в умовах впровадження сучасних інформаційних технологій.

У нових умовах формування професійно значимих якостей майбутнього доктора філософії освіта має бути орієнтована не так на обсяг і повноту конкретного знання, скільки на здатність самостійно поповнювати знання, ставити і вирішувати різноманітні завдання, висувати альтернативні рішення, виробляти критерії відбору найефективніших з них.

Взагалі відбувається процес інформатизації суспільства, який включає в себе як мінімум три елементи, що доповнюють один одного: медіатизацію як процес удосконалення засобів роботи з інформацією, комп'ютеризацію



як процес удосконалення засобів з обробки інформації та інтелектуалізацію як процес удосконалення знань та здібностей людини до породження та сприйняття інформації [4].

Рік тому урядом України прийнятий Закон 2807-IX (законопроект № 6241) «Про Національну програму інформатизації», який демонструє актуальність питання у сучасній Україні [5].

Важливим проявом сучасних тенденцій розвитку освітнього простору є інформатизація навчальної та наукової роботи аспірантів [6, 7].

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

Багато фахівців досліджують питання інформатизації освіти і науки в вищій школі, зокрема діяльності здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти. Так І. В. Олійник відмічає, що інформатизація освітнього простору майбутніх докторів філософії може суттєво вплинути на результативність педагогічного процесу, на удосконалення особистості у професійному та дослідницькому аспектах [8]. В огляді дослідження світових тенденцій розвитку інформатизації освіти КНЕУ ім. В. Гетьмана акцентовано увагу на тому, що інформатизація освіти вимагає впровадження в неї інноваційних за змістом методів, засобів та форм професійної підготовки майбутніх фахівців нової формації, створення потужної інформаційної інфраструктури у закладах вищої освіти з розвиненим інформаційно-комп'ютерним навчальним середовищем, впровадження Інтернет-технологій, електронного навчання, комунікаційних мереж (глобальних, національних, локальних) [9]. О. О. Гагарін та С. В. Титенко розкривають суть Web-систем та систем дистанційного навчання стосовно штучного інтелекту в освіті, моделі подання знань, системи керування вмістом сайту, семантичного моделювання контенту тощо [10]. А. Яцишин наголошує на те, що відповідно до нових вимог щодо підготовки аспірантів та докторантів в Україні мають відбутися значні організаційні та методичні зміни у закладах, що будуть у подальшому реалізовувати освітню програму та дослідницький аспект; означені інновації потребують обґрунтування та розроблення нових освітніх програм, а для цього необхідно здійснювати координацію та науково-методичний супровід, що має забезпечити Національна академія педагогічних наук України [11]. Передові країни визнають інформатизацію важливим чинником національного розвитку і створюють відповідну законодавчу та нормативну базу, на основі якої здійснюється політика (зміст, ресурси, фінанси) у цьому напрямі [12]. Аспекти інформатизації науки і освіти розглянуто у працях В. Ю. Бикова [13, 14], В. П. Вембер [15], Р. С. Гуревич [16], М. П. Шишкіної [17]. Питанням, пов'язаним з підготовкою наукових і науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації, присвячено праці В. І. Лугового [18], І. Ю. Регейло [19, 20].

Проте мало дослідженим є питання інтеграції науково-дослідної та навчальної роботи аспірантів в закладах вищої освіти за інформатизації цих напрямів їх діяльності.

### **Формулювання мети дослідження**

Метою дослідження є вивчення впливу інформатизації на науково-дослідну і навчальну роботи аспірантів та можливості її використання як інструмента інтеграції цих взаємопов'язаних сторін діяльності аспірантів.

Задачами дослідження є наступні:

- дослідити сутність основних видів діяльності аспірантів у закладах вищої освіти;
- уточнити поняття інформатизації освітньої та наукової діяльності в виші;
- обґрунтувати необхідність зародження та розвитку інноваційного компонента в діяльності аспірантів;
- проаналізувати підходи до вивчення аспірантами навчального матеріалу, методичних принципів наукового мислення, логічних засобів пізнання, етапів пізнавального процесу;
- уточнити компоненти оновленої стратегії розвитку системи вищої освіти;
- систематизувати підходи щодо розвитку творчості в науковій та навчальній діяльності аспірантів.

### **Методи і матеріали досліджень**

Основним методом проведеного дослідження був системний метод. Також використано такі емпіричні методи як спостереження та опис, а серед теоретичних методів – аналіз, узагальнення, індукція, дедукція, пояснення, класифікація тощо.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Швидкі та глибокі зміни, що відбуваються в сучасному світі, які часто описуються як становлення глобального інформаційного суспільства, заснованого на знаннях, стали найважливішими факторами, що вплинули на розвиток вищої школи в кінці ХХ – початку ХХІ століття. Змінюється роль, організаційні форми та методи функціонування науки. Змінюються і форми життя вишу як одного з основних елементів системи освіти, що грає в ній як системо- так і культуруотворюючу роль. Сучасний заклад вищої освіти все частіше виявляється на передньому краї інноваційного розвитку, де від нього потрібно не тільки виконання освітніх функцій, а й створення наукових наділів для розвитку промисловості, проведення наукової експертизи бізнес-проектів, розробка наукомістких технологій та передових теорій, здатних конвертуватися в ринкові переваги для замовника досліджень.

Вектор трансформації університетської освіти супроводжується різноманітними організаційними змінами та переглядом місії вишів, у яких пріоритетними стають завдання гнучкого управління інтелектуальними та матеріальними ресурсами, стимулювання інновацій, позиціонування на ринку освітніх послуг тощо. У той же час виші залишаються простором, де створюються та підтримуються традиції наукового пізнання.

Традиційно вершиною системи вищої професійної освіти вважалася аспірантура. На цьому ступені, орієнтованому на підготовку фахівців-дослідників, концентрувалися цінності та зміст самої культури університетської освіти, заснованої на поєднанні традицій наукової праці та цінностей пізнання і педагогічної місії збереження та передачі культурної спадщини. Залишаючись невід'ємною частиною академічного світу та університетської освіти, система підготовки фахівців-дослідників також стикається з необхідністю перегляду своїх орієнтирів і форм роботи.

Одним із найважливіших завдань вищої школи є найбільш повне розкриття інтелектуального потенціалу слухачів, їх здібностей генерувати та сприймати нові знання, формування умінь застосовувати їх у своїй повсякденній та професійній діяльності, використовуючи сучасні інформаційні методи та засоби. Це завдання, а саме впровадження освітніх інновацій, зокрема інформаційних технологій, серед інших пріоритетних напрямів державної політики, поставлене в національній доктрині розвитку освіти. Визначальним чинником ефективності інформатизації вітчизняної системи освіти є здатність педагогів здійснювати професійну діяльність із використанням інформаційних та телекомунікаційних технологій (рис. 1).



Рис. 1. Складові інформатизації освіти

На тлі глобальних процесів інформатизації освіти, під якими мають на увазі процеси забезпечення системи освіти теорією та практикою розробки та використання нових інформаційних технологій, орієнтованих на реалізацію цілей навчання та виховання, протікає процес інтеграції науково-дослідної та навчальної роботи, які є основними видами діяльності будь-якого аспіранта.

Аспіранти повинні володіти прийомами відбору зі змісту, методів та засобів науки основних ідей, закономірностей, технологій інформатизації та будувати на цьому свою інноваційну діяльність, а через неї – зміст та методику навчання. Постійний розвиток науки та розширення підходів до інформатизації освіти вимагають від закладу вищої освіти постійного коригування способів підготовки аспірантів з урахуванням нових прогресивних методів та засобів навчання та наукового дослідження.

Сьогоднішній аспірант завтра займатиметься підготовкою здобувачів вищої освіти у вищій школі, а лише педагог-дослідник, схильний до інновацій, може запровадити у навчальний процес результати сучасних наукових досліджень, ділитися зі слухачами найціннішими науковими знахідками та ефективно використовувати сучасні інформаційні технології. Це підтримає інноваційну атмосферу занять, підвищить привабливість наукової творчості, познайомить здобувачів вищої освіти з сучасними завданнями, що стоять перед наукою.

Інформатизація освіти є процесом багатоплановим, який передбачає з боку аспіранта – майбутнього викладача:

- управління навчальним процесом на основі використання автоматизованих банків даних науково-педагогічної інформації, інформаційно-методичних матеріалів, а також комунікаційних мереж;
- удосконалення методології та стратегії відбору змісту, методів та організаційних форм навчання, виховання, відповідних задач розвитку особистості учня в сучасних умовах інформатизації суспільства;
- створення методичних систем навчання, орієнтованих на розвиток інтелектуального потенціалу;
- формування умінь самостійно набувати знання, здійснювати експериментально-дослідницьку діяльність; різноманітні види самостійної діяльності з обробки інформації;
- створення та використання комп'ютерних тестуючих, діагностують методик контролю та оцінки рівня знань учнів.

Програма інформатизації навчального процесу передбачає запровадження аспірантом – майбутнім викладачем нових форм роботи з використанням інформаційних технологій. Один із ефективних шляхів впровадження нових форм роботи бачиться у створенні комплексної системи забезпечення навчального процесу.

Інформатизація освіти – процес зміни змісту, методів та організаційних форм підготовки слухачів на етапі переходу до життя в умовах інформаційного суспільства.

Таким чином, логічні основні напрямки реалізації програми інформатизації навчального процесу у сучасних умовах:

- системне бачення ролі інформаційних комп'ютерних технологій у рамках інформатизації освіти;
- проектування та моніторинг розвитку інформаційно-освітнього середовища університету на всіх рівнях навчально-виховного процесу у ньому;
- формування готовності професорсько-викладацького колективу до використання нових інформаційних технологій у навчанні на основі системи підтримуючого навчання, заснований на безперервному оволодінні новими знаннями;
- розвиток технічної бази; використання телекомунікацій та властивих їм технологій; розвиток інформаційних ресурсів освітнього призначення.

Велика роль у становленні інноваційної діяльності аспіранта належить його науковому керівнику, який повинен бути взірцем у проведенні наукових робіт. Він повинен підвести аспіранта до висновку, що наука збагачується проблемами, через вирішення яких виникають нові інноваційні ідеї. При цьому в аспірантів виробляються навички творчого мислення, розвивається потреба до інноваційної діяльності та використання інформаційних технологій.

У процесі підготовки аспірантів особлива увага має бути приділена аналізу підходів до вивчення матеріалу, їх залучення до методичних принципів наукового мислення, озброєння логічними засобами пізнання, ознайомлення з етапами пізнавального процесу. Пізнавальним результатом у цьому разі можуть бути нові факти, закони, теорії, інновації, методи діяльності, отримані самими аспірантами, що спираються на використання нових комп'ютерних розробок.

Необхідно також виробити в аспірантів уявлення про те, що комп'ютерна техніка та відповідні технології багато в чому здатні автоматизувати та інтенсифікувати роботу, підвищивши результативність практичної частини досліджень, що проводяться. Аспірантам необхідно враховувати, що будь-яка дослідницька робота починається з вивчення вітчизняної та зарубіжної літератури з обраної теми. Така література може публікуватися в електронних ресурсах мережі Інтернет та бути доступною для стандартних прийомів пошуку наукових джерел.

Інформатизація освітньої діяльності аспірантів спричинила створення електронних підручників, електронного планування, електронного контролю. Характерною особливістю інформатизації в університеті взагалі є перехід від фрагментарної до широкомасштабної інформатизації, заснованої на створенні інформаційних ресурсів (бази даних, бази знань, електронні бібліотеки тощо), розвитку телекомунікацій, створенні програмного забезпечення мережевих інформаційних технологій, розробці концептуальних та методологічних засад інформатизації наукових досліджень. Крім інформаційних технологій, які є основними елементами власне навчального процесу, в університеті більше уваги стали приділяти впровадженню та супроводу так званих обслуговуючих технологій (електронний підручник, мультимедіа, експертні системи, видавничі системи, відеореклама).

Високу ефективність сучасного освіти можна забезпечити лише за умови створення аспірантами – майбутніми викладачами таких комп'ютерних пакетів (електронних підручників, посібників, тренажерів, тестерів та ін.), наявність яких забезпечить одне й те саме комп'ютерне середовище у спеціалізованій аудиторії на практичних заняттях, у комп'ютерних класах закладу вищої освіти або гуртожитку, обладнаному для самостійної роботи здобувачів вищої освіти, здобувачів рівня PhD, а також вдома на персональному комп'ютері або на будь-яких гаджетах.

Інформатизація навчального процесу у виші заснована на добрій базовій комп'ютерній підготовці та реалізації принципу безперервного застосування інформаційних технологій у навчальному процесі. Тому без комп'ютерного забезпечення вишу говорити про інформатизацію не можна.

Кожен навчальний посібник є каналом педагогічного впливу викладача на слухача. У сукупності такі впливи зливаються в інформаційний шум. У цьому шумі практично неможливо виділити систематичне та вичерпне джерело інформації. Складається парадоксальна ситуація: велика кількість навчальних посібників не знижує, а посилює потребу викладача та студента в новому навчальному посібнику, максимально адекватному тому конкретному навчальному процесу, до якого вони залучені.

Електронний підручник – комп'ютерний, педагогічний програмний засіб, призначений насамперед для пред'явлення нової інформації, що доповнює друковані видання, що служить для індивідуального та індивідуального навчання і дозволяє в обмеженій мірі тестувати отримані знання та вміння того, хто навчається. Модифікація електронного підручника може знадобитися, в першу чергу, для адаптації його до конкретного навчального плану, що враховує специфіку дисципліни, що вивчається в даному виші, можливості матеріально-технічної бази, особистий досвід викладача, сучасний стан науки, базовий рівень підготовленості слухачів, обсяг годин, виділених на вивчення дисципліни тощо.

Слід зазначити, що електронний підручник має не просто повторювати друковані видання, а використати всі сучасні досягнення комп'ютерних технологій.

Електронний підручник необхідний для самостійної роботи при очному і, особливо, дистанційному навчанні тому, що він полегшує розуміння матеріалу, що вивчається за рахунок інших, ніж у друкованій навчальній літературі, способів подачі матеріалу:

- індуктивний підхід, вплив на слухову та емоційну пам'ять тощо;
- допускає адаптацію відповідно до потреб слухача, рівня його підготовки, інтелектуальних можливостей та амбіцій;
- звільняє від громіздких обчислень і перетворень, дозволяючи зосередитися на суті предмета, розглянути більше прикладів і вирішити більше завдань;
- надає найширші можливості для самоперевірки на всіх етапах роботи;
- надає можливість акуратно оформити роботу і здати її у вигляді файлу або роздруківки;
- виконує роль нескінченно терплячого наставника, надаючи практично необмежену кількість роз'яснень, повторень, підказок та інше.

Електронний підручник необхідний слухачеві, оскільки без нього не може отримати міцні та всебічні знання та вміння з цієї дисципліни.

Електронний підручник корисний на практичних заняттях у спеціалізованих аудиторіях тому, що він:

- дозволяє використовувати комп'ютерну підтримку для вирішення більшої кількості завдань, звільняє час для аналізу отриманих рішень та їхньої графічної інтерпретації;
- дозволяє викладачеві проводити заняття у формі самостійної роботи за комп'ютерами, залишаючи за собою роль керівника та консультанта;
- дозволяє викладачеві за допомогою комп'ютера швидко та ефективно контролювати знання учнів, задавати зміст та рівень складності контрольного заходу.

Електронний підручник зручний для викладача тому, що він дозволяє виносити на лекції та практичні заняття матеріал на власний розсуд, можливо, менший за обсягом, але найбільш суттєвий за змістом, залишаючи для самостійної роботи з ним те, що виявилось поза рамками аудиторних занять, а також:

- звільняє від стомлюючої перевірки індивідуальних завдань, типових розрахунків і контрольних робіт, передаючи цю роботу комп'ютеру;
- дозволяє оптимізувати співвідношення кількості та змісту прикладів і завдань, що розглядаються в аудиторії та задаються додому;
- дозволяє індивідуалізувати роботу зі слухачами, особливо у частині, що стосується домашніх завдань та контрольних заходів.

Говорячи про контроль та систематизацію результатів інноваційної діяльності аспірантів, не можна не зупинитися на регулярних доповідях, рефератах та звітах, які вони складають. При виконанні подібних проєктів відбувається активний процес закріплення наукових досягнень, систематизуються знання, отримані в ході вивчення наукової літератури та довідкових посібників, робляться висновки про необхідність коригування напрямів експериментальної діяльності, більш ефективно застосовуються нові засоби інформатизації освіти.

Одним із прикладів залучення України до процесів глобалізації освіти та науки є її участь у Болонському процесі, який з окремого політичного процесу, спрямованого на підвищення якості підготовки та мобільності кваліфікованих кадрів у Європейському союзі, став основою реформування системи професійної освіти в Україні та інших країнах світу. Болонські угоди розглядають аспірантуру (докторантуру – у термінології західної освіти) як третій ступінь освіти, який також має будувати свою роботу з урахуванням його базових принципів. Окрім Євросоюзу потужний вплив на розвиток університетських досліджень надають США та країни англосаксонської культури, які акумулюють дедалі більше молодих дослідників.

Таким чином, Україна стикається з впливом нових глобальних тенденцій у сфері підготовки фахівців-дослідників. Тому для впровадження відповідних підходів до використання інформаційних технологій в аспірантурі корисним може стати досвід інформатизації підготовки майбутніх науковців, наявний в інших країнах.

Загалом у світі склалися три основні моделі організації наукового та педагогічного життя університету, які різняться за своїми пріоритетами та установками щодо ролі науки та освіти в їх діяльності.

Німецька модель передбачає злиття викладання та наукових досліджень в університетах. Французька модель віддає перевагу поділу цих двох функцій, залишаючи університету переважно педагогічні завдання. Третя, «атлантична», британська модель є комбінацією перших двох, запозичуючи різний досвід і традиції.

Французька модель переживає нині глибоку кризу.

Два інші типи організації академічного життя, які були втілені у континентальній Європі, за останні 50 років суттєво еволюціонували у бік компромісних рішень. Досвід країн – економічних лідерів показує, що провідна роль у переході до інноваційної економіки належить університетам, оскільки тут сконцентровані основні складові успіху: підготовка висококваліфікованих спеціалістів; науково-технічні ідеї та розробки; можливості вирішення міждисциплінарних проблем.

На вершині піраміди освітньої системи розвинених країн стоять університети особливого типу, які останнім часом стали називати інноваційними університетами, які роблять найбільше для розвитку науки, винаходу нових технологій та розвитку нових ринків та галузей.

Докторанти відіграють значну роль у співпраці між університетами та промисловістю. Докторанти виконують три ключові функції в цій співпраці:

- по-перше, вони виступають як виробники нового знання в рамках наукової творчості та системи розробки інновацій та технологій;
- по-друге, сприяють поширенню знань у ширшому соціальному середовищі;
- по-третє, є сполучною ланкою у конфігурації мереж партнерства між університетами та комерційними підприємствами.

Навчання в докторантурі дозволяє фахівцю-досліднику здобути навички критичного мислення, наукової комунікації, організації досліджень, які він може реалізовувати у тих сферах діяльності, де продовжує свій професійний розвиток. Докторанти вишів створюють інфраструктуру інновацій як сукупності людського та соціального капіталу в рамках тих організацій, у яких вони ведуть свою діяльність. Таким чином, підготовка дослідників у виші виконує важливі функції зі створення спільнот та соціальних мереж, що складаються з людей, здатних створювати нове знання, сприймати його та втілювати в технології, що служать суспільному благу та економічному зростанню.

Дистанційне навчання в докторантурі набуло широкого поширення в США. У Європі університети лише кількох країн, таких як Великобританія, Іспанія, Кіпр, Швейцарія мають онлайн-програми докторської освіти.

За даними збірки «Guide to Online Schools» в США онлайн-навчання з різних предметних областей, націлене на подальше одержання ступенів PhD, пропонують 274 акредитовані університети або їх підрозділи [21]. Усього американськими вузами пропонується 1425 онлайн-програм навчання в докторантурі. Найбільш популярні дистанційні програми в галузі бізнесу (120 програм) та лідерства (118 програм). Їх пропонують 14 та 52 американських освітніх організації, відповідно. Популярні також програми з фізіології: 95 онлайн-програм підготовки PhD-докторантів пропонують 15 освітніх організацій. Докторські програми з педагогіки (близько 458 програм) пропонують 122 освітні організації.

Ці фактори свідчать про явне розширення сфер застосування інформаційних технологій під час підготовки аспірантів. Крім традиційного застосування комп'ютерної техніки при проведенні досліджень та обробці результатів їх експериментальних частин засоби інформатизації стають невід'ємним компонентом системи засобів навчання в аспірантурі. У поєднанні з новими організаційними підходами до підготовки аспірантів інформатизація спричинить відповідний ефект і сприятиме зростанню кількості високоефективних наукових кадрів.

Не слід забувати, що наукова та тісно пов'язана з нею інноваційна робота аспірантів є сполучною ланкою між закладом вищої освіти та соціально корисною професійною діяльністю, та її основною метою є закріплення теоретичних знань та набуття навичок їх практичного застосування, формування творчого та інноваційного потенціалу майбутніх науковців, залучення їх до використання передових інформаційних технологій. Важливою для розвитку подібної інноваційної роботи є можливість інтеграції всіх видів діяльності, які виконуються аспірантами: педагогічної, науково-дослідної та інноваційної на тлі повсюдної інформатизації освіти.

Щодо інформатизації наукових досліджень, які проводяться аспірантами, слід зазначити, що інформаційні технології відіграють ключову роль у процесі накопичення, поширення та ефективного використання нових знань (рис. 2).



Рис. 2. Завдання інформатизації науково-дослідної діяльності

Сьогодні традиційні методи інформаційної підтримки наукових досліджень, які полягали здебільшого у комп'ютеризації математичних розрахунків, використанні методів статистичного моделювання та розповсюдженні по телекомунікаційних мережах науково-технічної інформації, вже не задовольняють вчених. На зміну їм приходять нові методи, що базуються на використанні швидко прогресуючих можливостей засобів інформатики та перспективних інформаційних технологій.

Яскравими прикладами можуть бути телеконференції, розподілені наукові колективи, що об'єднуються спільною інформаційно-телекомунікаційною мережею, і навіть методи комплексного інформаційного моделювання складних природних процесів і явищ; методи штучного інтелекту, що дозволяють знаходити рішення погано формалізованих завдань, а також задач з неповною інформацією та нечіткими вихідними даними; методи когнітивної комп'ютерної графіки, що дозволяють у просторовій формі представляти на екрані комп'ютера різні математичні формули та співвідношення тощо.

Для успішного планомірного розвитку та впровадження нових інформаційних технологій у вищій освіті необхідна фундаментальна розробка наукових засад нових інформаційних технологій з наступних проблем:

- системний аналіз розвитку та впровадження нових інформаційних технологій, своєчасне уточнення обраних пріоритетних напрямів, прогнозування та попередження можливих негативних тенденцій;
- розробка нових принципів організації обчислювальних процесів, методів подання, обробки та засвоєння даних та знань;
- розробка методів опису предметних галузей та математичного моделювання;
- проектування та використання засобів нових інформаційних технологій (інтерактивні аудіо- та відеозасоби, комп'ютерні та телекомунікаційні середовища).

Мета інформатизації науково-дослідної діяльності полягає у прискоренні здобуття та поглиблення наукових знань про явища та закономірності в природі, техніці та суспільстві за рахунок використання нових інформаційних технологій на всіх етапах наукової роботи.

Для цього необхідно, зокрема, забезпечити вирішення наступних завдань:

- проведення досліджень у фундаментальних галузях, що визначають методологічну базу нових інформаційних технологій у наукових дослідженнях;
- проведення досліджень з використання перспективних програмно-апаратних засобів;
- забезпечення доступу до банків даних та баз знань провідних наукових центрів сфери вищої освіти України та зарубіжних країн з використанням телекомунікацій;
- організація профільованих науково-навчальних центрів з інформатизації наукових досліджень, перепідготовка фахівців з урахуванням цих центрів.

Як зазначалося, сьогодні в світі домінує парадигма e-science. Її характерними ознаками є такі:

- автоматизована реєстрація та накопичення даних спостережень та експериментів на електронних носіях;
- широке використання комп'ютерних ресурсів та чисельних методів для моделювання явищ, у тому числі розподілених обчислювальних середовищ;
- широке використання автоматизованих методів обробки та аналізу даних для виявлення закономірностей та здобуття нових знань;
- використання глобальних мереж (Internet) для обміну результатами досліджень, наукового спілкування, доступу до накопичених наукових результатів;
- кооперація науковців та наукових ресурсів у проведенні досліджень на різних рівнях [22].

Виконання досліджень у таких умовах потребує об'єднання ресурсів всієї наукової спільноти на різних рівнях (установ, держав, міжнародних колаборацій), розподілення всього обсягу досліджень між окремими науковцями та науковими колективами, інтенсивного обміну результатами досліджень. Для цього як в окремих країнах, так і в цілому світі створюються відповідні інфраструктури, які здатні забезпечити швидке переміщення як первинних та оброблених даних, так і інтенсивне наукове спілкування, засновані на використанні глобальних мереж та Web-технологій.

Перехід до нової парадигми потребує відповідної перебудови матеріальної та організаційної бази наукових досліджень, опанування кожним науковцем нових методів виконання наукових досліджень, наукового спілкування та взаємодії у науковому процесі.

Статус Національної академії наук України як вищої державної наукової організації передбачає її провідну роль в організації та координації фундаментальних наукових досліджень, здійсненні наукового прогнозування та експертної оцінки розвитку економіки, суспільства, науки і технологій, активну участь у формуванні та реалізації державної наукової та науковотехнічної політики [23].

Проблема інформатизації власне наукових досліджень є багатопланою, і для її вирішення необхідний суттєвий прогрес у галузі обчислювальної техніки, програмування, штучного інтелекту тощо.

Специфіка процесу наукових досліджень потребує поєднання обчислювальних та інформаційних ресурсів наукових спільнот та їх сумісне використання. Проведення чисельних теоретичних обчислень, обробка результатів

експериментів потребує величезних потужностей, недосяжних одному науковцю і навіть окремій науковій установі. При цьому навантаження на обчислювальні потужності в процесі наукових досліджень досить нерівномірне. В період проведення експериментів воно велике, однак процеси аналізу та оформлення результатів не потребують таких величезних потужностей. Поєднання ресурсів та їх сумісне використання дозволяє згладити нерівномірності навантаження ресурсів.

Ще в 2009 році почалося виконання Державної цільової науково-технічної програми «Впровадження і застосування грид-технологій на 2009–2013 роки» і було побудовано Український Національний Грид [24]. Головним досягненням виконання програм є створення української національної грид-інфраструктури виробничого типу, інтегрованої до Європейської грид-інфраструктури, яка об'єднує більше, ніж 22 тисячі дослідників з усього світу. Це забезпечило необхідні сервіси українським вченим для проведення цифрових досліджень світового рівня як самостійно, так і в колаборації з вченими інших країн.

В даний час у закладах вищої освіти реалізується оновлена стратегія розвитку, яка передбачає орієнтацію на формування творчої особистості слухача, вироблення у нього нестандартного мислення, свободи вибору, потреби та готовності до інноваційної діяльності в умовах інформатизації. У сукупності засобів, що забезпечують вирішення зазначених завдань, особлива роль належить обліку та аналізу не лише досвіду діяльності сучасного вишу, а й позитивного історичного досвіду післядипломного навчання та діяльності видатних науковців – викладачів. Потреба вивчення накопиченого людством досвіду повністю відноситься до процесу підготовки аспірантів і, зокрема, до інтеграції ними педагогічної, інноваційної та науково-дослідної діяльності.

Аспірантам у своїй діяльності необхідно не лише спиратися на позитивний вітчизняний та зарубіжний досвід, а й шукати свої шляхи вирішення проблем, що стоять перед теорією та практикою освіти, здійснюючи при цьому взаємозв'язок навчального, дослідницького та інноваційного компонентів в умовах інформатизації освіти. Аналіз та характеристика структури педагогічної, науково-дослідної та інноваційної діяльності аспірантів показують, що оптимальність інтеграції цих трьох основних напрямів підготовки залежить від різних факторів, таких як спеціальність, вік та рік навчання, загальний та педагогічний стаж роботи, здатність до використання комп'ютерної техніки у професійній діяльності.

Важливим фактором, що впливає на успіх інноваційної діяльності аспірантів, є необхідний рівень професіоналізму як у педагогічній, так і в дослідницькій діяльності. Він формується у майбутніх вчених при підготовці у закладі вищої освіти в умовах самостійної практичної діяльності, яка спрямовується науковим керівником при використанні інформаційних та телекомунікаційних технологій. Більш того, основи наукової, інноваційної та педагогічної творчості мають бути закладені у стінах закладу вищої освіти та слугувати головним показником якості підготовки аспірантів. Очевидним є висновок про бажаність збільшення частки аспірантів, які професійно володіють як педагогічними, так і науково-дослідними та інноваційними аспектами діяльності в умовах інформатизації. Інформатизація освіти та коректне застосування відповідних технологій та засобів можуть розглядатися як суттєвий фактор інтеграції таких видів діяльності.

Роль самостійної роботи при навчанні в аспірантурі в сучасних умовах має тенденцію до зростання, виходячи з вимог до фахівців вищої кваліфікації, де велике значення приділяється вмінню самостійно орієнтуватися у стрімкому потоці інформації та необхідності постійного підвищення професійного зростання та самовдосконалення.

Одним із найбільш революційних досягнень останніх десятиріч, який значно вплинув на освітній процес у всьому світі, стало створення всесвітньої комп'ютерної мережі Інтернет. Цей фактор зумовив нові вимоги до технічної оснащеності освітніх установ, їх доступу до світових інформаційних ресурсів, а з іншого боку, дав потужний імпульс розвитку змісту діяльності викладача, використання нових видів, методів і форм навчання, орієнтованих на активну пізнавальну діяльність аспірантів. Інтернет розвиває навички, пов'язані з розумовими операціями: аналізу, синтезу, абстрагування, порівняння, зіставлення, вербального та смислового прогнозування та попередження тощо.

Використання нових інформаційних технологій при навчанні в аспірантурі обумовлено як прагненням до новизни, так і можливістю реалізувати особистісно орієнтований підхід до аспіранта, що є основним концептуальним напрямом освіти XXI ст. і забезпечує індивідуалізацію та диференціацію навчання з урахуванням здібностей слухачів, їхнього рівня навченості, схильностей тощо.

Пріоритетом сьогодення у навчанні майбутніх докторів філософії є орієнтація на формування комунікативної компетенції, решта всіх цілей (освітня, виховна, розвиваюча) реалізуються в процесі здійснення цієї головної мети. Комунікативна домінуюча у навчанні представляє серйозні вимоги до змісту та форм організації навчального процесу. Комунікативний підхід у сучасному його розумінні має на увазі навчання спілкуванню та формування здатності до міжкультурної взаємодії, що є основою функціонування Інтернету.

Уміння вчитися – це побічний продукт будь-якої навчальної діяльності. Формування умінь самонавчання (тобто набуття здатності вчитися) – це складова частина всіх цілей навчання. Тому проблема формування навчальної компетенції в аспірантів у процесі їхньої самостійної роботи є на сьогоднішній день дуже актуальною.

Крім комунікативних потреб, аспіранти повинні володіти методикою роботи в Інтернеті, щоб бути більш відповідальними за своє власне навчання.

Головне завдання інформаційних та комунікаційних технологій у навчальному процесі – розвинути в аспірантів нові пізнавальні можливості, необхідні людям, що живуть в епоху цифрових технологій, дати можливість для самоосвіти здобувачам з різними стратегіями в навчанні.

Підготовка аспірантів має здійснюватися з урахуванням багатьох чинників їхньої педагогічної, наукової та інноваційної діяльності з опорою на підвищення ефективності викладачів та науковців, які працюють у закладі вищої освіти, а також базуватись на численних аспектах, тенденціях та перевагах інформатизації освіти. При цьому інновації, їх створення та просування у поєднанні з інформатизацією можуть розглядатися як основа для бажаної інтеграції, навчальної, освітньої та науково-дослідної роботи аспірантів (рис. 3).

Говорячи про інформатизацію роботи аспірантів, не можна не сказати про актуальність застосування систем та технологій електронного управління у закладі вищої освіти в цілому. У найближчому майбутньому наявність системи онлайн взаємодії всіх суб'єктів освітнього процесу («Електронна навчальна частина», «Електронний деканат» тощо) буде однією з конкурентних переваг освітньої установи. Електронне управління розглядається сьогодні як перспективна стратегія управління вишу.



Рис. 3. Інтеграція складових роботи аспірантів

Серед очікуваних наслідків створення системи електронного управління закладом вищої освіти виділяються економічні (скорочення витрат на обслуговування слухачів вишу), технічні (поява необхідних технологій), соціальні (підвищення культури здобувачів вищої освіти та здобувачів ступеня доктора філософії).

#### Висновки

1. Пріоритетним завданням підготовки здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти є інформатизація освітнього простору під час навчання в аспірантурі.
2. Принципово важливою характеристикою нинішнього етапу розвитку науки є її інформатизація.
3. Основною метою інформатизації закладу вищої освіти є створення єдиного інформаційно-освітнього простору в ньому.
4. Процес інформатизації суспільства включає в себе медіатизацію, комп'ютеризацію та інтелектуалізацію.
5. Уряд України законодавчо затвердив завдання інформатизації суспільства, чим підтвердив актуальність питання.
6. Серед існуючих у відкритому друці наукових розробок щодо питання інтеграції навчальної і наукової діяльності аспірантів, мало дослідженим є питання впливу інформатизації на цей процес.
7. В національній доктрині розвитку системи освіти визначальним чинником ефективності її інформатизації зазначено здатність викладачів здійснювати професійну діяльність із використанням інформаційних та телекомунікаційних технологій.
8. Розвиток та інформатизація науки та освіти вимагають від вишів постійного коригування способів підготовки аспірантів з урахуванням нових прогресивних методів навчання та наукового дослідження.
9. Педагогам-дослідникам, схильним до інновацій, простіше запровадити у навчальний процес результати сучасних наукових досліджень та ефективно використовувати сучасні інформаційні технології.
10. Корисно підсилити увагу аспірантів до того, що комп'ютерна техніка та інформаційні технології сприяють автоматизації та інтенсифікації досліджень.



11. Крім інформаційних технологій, у вишах важливо впроваджувати обслуговуючі технології (електронний підручник, мультимедіа, експертні системи, видавничі системи та ін.).

12. Реалізація парадигми e-science потребує об'єднання ресурсів всієї наукової спільноти, розподілення всього обсягу досліджень між окремими науковцями та науковими колективами, інтенсивного обміну результатами досліджень.

13. Специфіка процесу наукових досліджень потребує поєднання обчислювальних та інформаційних ресурсів наукових спільнот та їх сумісне використання.

14. Впровадження електронного управління закладом вищої освіти забезпечить нову організацію діяльності його адміністративних підрозділів та зміну всього комплексу відносин адміністрації із здобувачами освіти та викладачами.

15. Єдиний інформаційно-освітній простір вишу можна і має побудувати через забезпечення високої інтерактивності освітнього процесу, єдиного темпу навчання, своєчасного зворотного зв'язку.

16. Методичним вирішенням проблеми організації самостійного пошуку інформації може стати створення електронних електронних робочих місць, що мають самонакопичувану базу завдань і використовуються при підготовці слухачів всіх спеціальностей вишу.

17. Інформатизація має стати суттєвим фактором інтеграції наукової та навчальної роботи аспірантів.

### Список використаної літератури

1. Дніпров О. Концептуальні засади розвитку освіти України. *Вища школа*. 2019. № 7. С. 7–12.
2. Кочарян А. Сучасні тренди ІКТ в освіті. Тенденції їх розвитку. *Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах*. 2021. № 5. С. 10–15.
3. Семенюк Н. Необхідність інформаційного супроводу освіти впродовж життя. *Гілея : науковий вісник*. 2017. № 11. С. 294–297.
4. Тверезовська Н. Т. Борисюк О. Б. Інформаційні технології в освіті. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Педагогіка. Психологія. Філософія*. 2018. Вип. 175. Ч. 1. С. 239–247.
5. Про Національну програму інформатизації : Закон України від 01. 12.2022 р. № 2807-IX. URL: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/231623.html>.
6. Yakubash I., Voinova S. The higher education quality' improving by information technologies' implementation. *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій* : матеріали XXIII всеукр. наук.-техн. конф., м. Одеса, 20–21 квіт. 2023 р. Одеса, 2023. С. 128–130.
7. Якубаш І. В., Воїнова С. О. Про сучасні інформаційні технології у вищій технічній школі. *Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів та студентів Одеського національного технологічного університету*. Одеса, 2023. С. 92–93.
8. Олійник І. В. Інформатизація освітнього простору – важлива передумова формування дослідницької компетентності майбутніх докторів філософії в умовах навчання в аспірантурі. URL: <https://vseosvita.ua/library/informatizacia-osvitnogo-prostoru-vazliva-peredumova-formuvanna-doslidnickoi-kompetentnosti-majbutnih-doktoriv-filosofii-v-umovah-navcanna-v-aspirantu-318004.html> (дата звернення: 25.11.2023).
9. Дослідження світових тенденцій розвитку інформатизації освіти. URL: [https://kneu.edu.ua/ua/dosl\\_glot/informedu/](https://kneu.edu.ua/ua/dosl_glot/informedu/) (дата звернення: 25.11.2023).
10. Гагарін О. О., Титенко С. В. Семантичні технології в електронному навчанні. URL: <https://apeps.kpi.ua/computer-applications> (дата звернення: 25.11.2023).
11. Яцишин А. Інформатизація освіти України та підготовка наукових кадрів вищої кваліфікації до її здійснення. URL: <https://pi.iod.gov.ua/images/pdf/2016%201/8.pdf> (дата звернення: 25.11.2023).
12. Задорожна Н. Т., Кузнецова Т. В., Кільченко А. В. *Методологія інформатизації наукової та управлінської діяльності установ НАПН України на основі Web-технологій*: монографія. Київ : Атіка, 2014. 160 с.
13. Биков В. Ю. Сучасні завдання інформатизації освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2015. № 1(15). URL: <http://journal.iitta.gov.ua> (дата звернення: 25.11.2023).
14. Биков В. Ю. Основні концептуальні засади інформатизації освіти і головна парадигма майбутнього суспільства знань. *Збірник наукових праць Ін-та пед. освіти і освіти дорослих НАПН України: «Я-концепція» академіка Н. Ничкало у вимірі професійного розвитку особистості*. 2014. С. 32–42.
15. Вембер В. П. Інформатизація освіти та проблеми впровадження педагогічних програмних засобів в навчальний процес. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2017. № 3. URL: <http://www.journal.iitta.gov.ua> (дата звернення: 25.11.2023).
16. Гуревич Р. С. Розвиток інформаційних технологій в освіті – важливий чинник розвитку суспільства. *Наукові праці Чорномор. держ. універ. імені П. Могили комплексу «Києво-Могилянська академія»*. Серія: Педагогіка. 2011. Т. 153. Вип. 141. С. 20–24.

17. Шишкіна М. П. Проблеми інформатизації освіти України в контексті розвитку досліджень оцінювання якості засобів ІКТ. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2012. № 1 (27). URL: <http://www.journal.iitta.gov.ua> (дата звернення: 25.11.2023).

18. Луговий В. І., Семиченко В. А., Кононко О. Л. Модернізація підготовки наукових і науково-педагогічних кадрів в аспірантурі та докторантурі наукових установ АПН України в контексті Болонського процесу: досвід, проблеми, перспективи. *Педагогіка і психологія*. 2008. № 1. С. 94–102.

19. Регейло І. Ю. Розвиток докторської освіти в інноваційному суспільстві. *Наукові записки Ніжинського держ. універ. імені М. Гоголя. Серія: Психолого-педагогічні науки*. 2013. № 4. С. 62–68.

20. Регейло І. Ю. Підготовка наукових і науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації в Україні у XX – початку XXI століття: історіографічні аспекти. *Педагогічний дискурс*. 2020. № 7. С. 189–194.

21. Guide to Online Schools. URL: <https://www.guidetoonlineschools.com/degrees/doctoral> (дата звернення: 25.11.2023).

22. Загородній А. Г., Андон П. І., Процикевич І. А. Впровадження сучасних інформаційних технологій в наукових дослідженнях НАН України. *Проблеми програмування*. 2017. № 3. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/144492/01-Zagorodny.pdf?sequence=1> (дата звернення: 25.11.2023).

23. Статут Національної академії наук України : Постанова Президії НАН України від 14.04.2016 р. № 2. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0002550-16#Text> (дата звернення: 25.11.2023).

24. Загородній А.Г., Свистунов С.Я., Белоус Л.Ф. UA-Grid: Украинская национальная гридпрограмма. *International Conference "Parallel and Distributed Computing Systems" PDCS 2013, Kharkiv, 13–14 of March 2013*. URL: <https://www.imath.kiev.ua/~baranovskiy/confitune/2013/> (дата звернення: 25.11.2023).

#### References

1. Dnipro O. (2019) Kontseptualni zasady rozvytku osvity Ukrainy [Conceptual foundations of Ukraine education development]. *Vyshcha shkola*, no 7, pp. 7–12.

2. Kocharian A. (2021) Suchasni trendy IKT v osviti. Tendentsii yikh rozvytku [Modern ICT trends in education. Trends in their development]. *Informatyka ta informatsiini tekhnologii v navchalnykh zakladakh*, no 5, pp. 10–15.

3. Semeniuk N. (2017) Neobkhdnist informatsiinoho suprovodu osvity vprodovzh zhyttia [The need for informational support of education throughout life]. *Naukovyi biuleten Hileia*, no 11, pp. 294–297.

4. Tverezovska N. T. Borysiuk O. B. (2018) Informatsiini tekhnologii v osviti [Information technologies in education] *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser.: Pedagogika. Psihologhiia. Filosofii*, vol. 175, no. 1, pp. 239–247.

5. Zakon Ukrainy vid 01.12.2022 No 2807- IX "Pro Natsionalnu prohramu informatyzatsii" [About the national informatization program]. Retrieved from: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/231623.html> (accessed 25 November 2023).

6. Yakubash I., Voinova S. (2023) The higher education quality improving by information technologies implementation. *Proceedings of the Stan, dosiahnennia ta perspektyvy informatsiinykh system i tekhnologii: XXIII vseukr. nauk.-tekhn. konf. (Ukraine, Odesa, April 20–21, 2023)*, Odesa: ONTU, pp. 128–130.

7. Yakubash I. V., Voinova S. O. (2023) Pro suchasni informatsiini tekhnologii u vyshchii tekhnichnii shkoli [About modern information technologies in the higher technical school] / *Zbirnyk naukovykh prats molodykh uchenykh, aspirantiv ta studentiv Odeskoho natsionalnoho tekhnolohichnoho universytetu* [A collection of scientific works of young scientists, graduate students and students of the Odessa National University of Technology], pp. 92–93.

8. Oliinyk I. V. Informatyzatsiia osvitnoho prostoru – vazhlyva peredumova formuvannia doslidnytskoi kompetentnosti maibutnikh doktoriv filosofii v umovakh navchannia v aspiranturi [Informatization of the educational space is an important prerequisite for the formation of research competence of future doctors of philosophy in the conditions of study at a graduate school]. Retrieved from: <https://vseosvita.ua/library/informatyzatsiia-osvitnoho-prostoru-vazhlyva-pered-umova-formuvannia-doslidnytskoi-kompetentnosti-majbutnih-doktoriv-filosofii-v-umovah-navchannia-v-aspirantu-318004.html> (accessed 23 November 2023).

9. Doslidzhennia svitovykh tendentsii rozvytku informatyzatsii osvity [Study of global trends in the development of informatization of education]. Retrieved from: [https://kneu.edu.ua/ua/dosl\\_glot/informedu/](https://kneu.edu.ua/ua/dosl_glot/informedu/) (accessed 23 November 2023).

10. Haharin O. O., Tytenko S. V. Semantychni tekhnologii v elektronnomu navchanni [Semantic technologies in electronic learning] Retrieved from: <https://apeps.kpi.ua/computer-applications> (accessed 23 November 2023).

11. Yatsyshyn A. Informatyzatsiia osvity Ukrainy ta pidhotovka naukovykh kadriv vyshchoi kvalifikatsii do yii zdiisnennia [Informatization of Ukrainian education and training of highly qualified scientific personnel for its implementation] Retrieved from: <https://pi.iod.gov.ua/images/pdf/2016%201/8.pdf> (accessed 23 November 2023).

12. Zadorozhna N. T., Kuznetsova T. V., Kilchenko A. V. ta in. (2014) *Metodolohiia informatyzatsii naukovoї ta upravlinskoї diialnosti ustanov NAPN Ukrainy na osnovi Web-tekhnologii: monohrafiia* [Methodology of informatization

of scientific and management activities of the National Academy of Sciences of Ukraine based on Web technology: monograph]. Kyiv: Atika. (in Ukrainian)

13. Bykov V. Yu. (2015) Suchasni zavdannia Modern tasks of informatization of education]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia* [Information technologies and teaching aids] (electronic journal), no 1(15). Retrieved from: <http://journal.iitta.gov.ua>. (accessed 23 November 2023).

14. Bykov V. Yu. (2014) Osnovni kontseptualni zasady informatyzatsii osvity i holovna paradyhma pryideshnoho suspilstva znan [The main conceptual principles of informatization of education and the main paradigm of the future knowledge society]. *Zbirnyk naukovykh prats In-ta ped. osvity i osvity doroslykh NAPN Ukrainy: «Ia-kontseptsii» akademika N. Nychkalo u vymiri profesiinoho rozvytku osobystosti* [Collection of scientific works of the Institute of Ped. of education and adult education of the National Academy of Sciences of Ukraine: “I-concept” of academician N. Nychkalo in the dimension of professional development of the individual], pp. 32–42.

15. Vember V. P. (2017) Informatyzatsiia osvity ta problemy vprovadzhennia pedahohichnykh prohramnykh zasobiv v navchalnyi protses [Informatization of education and the problems of introducing pedagogical software tools into the educational process]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia* [Information technologies and teaching aids] (electronic journal), no 3. Retrieved from: <http://www.journal.iitta.gov.ua> (accessed 23 November 2023).

16. Hurevych R. S. (2011) Rozvytok informatsiinykh tekhnologii v osviti – vazhlyvyi chynnyk rozvytku suspilstva [The development of information technology in education is an important factor in the development of society]. *Naukovi pratsi Chornomor. derzh. univer. imeni P. Mohyly kompleksu «Kyievo-Mohylianska akademiia». Serii: Pedahohika* [Scientific works of the Black Sea State University named after P. Mohyli of the “Kyiv-Mohylianska Academy” complex. Series: Pedagogy], vol. 153, no. 141, pp. 20–24.

17. Shyshkina M. P. (2012) Problemy informatyzatsii osvity Ukrainy v konteksti rozvytku doslidzen otsiniuvannia yakosti zasobiv IKT [Problems of informatization of education in Ukraine in the context of research development and evaluation of the quality of ICT tools]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia*. [Information technologies and teaching aids] (electronic journal), no 1 (27). Retrieved from: <http://www.journal.iitta.gov.ua> (accessed 23 November 2023).

18. Luhovyi V. I., Semychenko V. A., Kononko O. L. ta in. (2008) Modernizatsiia pidhotovky naukovykh i naukovopedahohichnykh kadriv v aspiranturi ta doktoranturi naukovykh ustanov APN Ukrainy v konteksti Bolonskoho protsesu: dosvid, problemy, perspektyvy [Modernization of scientific and scientific-pedagogical staff in post-graduate and doctoral research institutions of APN Ukraine in the context of the Bologna process: experience, problems, perspectives]. *Pedahohika i psykholohiia*, no 1, pp. 94–102.

19. Reheilo I. Yu. (2013) Rozvytok doktorskoï osvity v innovatsiinomu suspilstvi [Development of doctoral education in an innovative society]. *Naukovi zapysky Nizhynskoho derzh. univer. imeni Mykoly Hoholia. Serii: Psykholohopedahohichni nauky*, no 4, pp. 62–68.

20. Reheilo I. Yu. (2020) Pidhotovka naukovykh i naukovopedahohichnykh kadriv vyshchoi kvalifikatsii v Ukraini u XX – pochatku XXI stolittia: istoriografichni aspekty [Training of highly qualified scientific and scientific-pedagogical personnel in Ukraine in the 20th and early 21st centuries: historiographical aspects]. *Pedahohichni dyskurs*, no 7, pp. 189–194.

21. Guide to Online Schools. Retrieved from: <https://www.guidetoonlineschools.com/degrees/doctoral> (accessed 23 November 2023).

22. Zahorodnii A. H., Andon P. I., Protsykevych I. A. (2017) Vprovadzhennia suchasnykh informatsiinykh tekhnologii v naukovykh doslidzhenniakh NAN Ukrainy [Implementation of modern information technology in scientific research of the National Academy of Sciences of Ukraine]. *Problemy prohramuvannia* [Programming problems] (electronic journal), no. 3. Retrieved from: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/144492/01-Zagorodny.pdf?sequence=1>

23. Postanova Prezydii NAN Ukrainy vid 14.04.2016 r. № 2 : Statut Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy [Statute of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0002550-16#Text> (accessed 23 November 2023).

24. Zahorodnyi A.H., Svystunov S.Ia., Belous L.F. (2013) UA-Grid: Ukraynskaia natsyonalnaia hrydprohramma [UA-Grid: Ukrainian national grid program]. Proceedings of the *Parallel and Distributed Computing Systems: International Conference (Ukraine, Kharkiv, March 13–14, 2013)*. Retrieved from: <https://www.imath.kiev.ua/~baranovskiy/confitune/2013/> (accessed 23 November 2023).

**М. І. ГОРБІЙЧУК**

доктор технічних наук,  
професор кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
ORCID: 0000-0002-8586-1883

**М. З. ВАСИЛЕНЧУК**

аспірант кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
ORCID: 0009-0008-9725-052X

## СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ НАГРІВНИКА НАФТИ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

*У нафтогазовій промисловості останнім часом стали застосовувати шляхові нагрівники нагрівання нафти (конденсату), у яких на відміну від прямого підігріву димовими газами, забезпечується рівномірне нагрівання продукту, що запобігає появі аномально гарячих ділянок, які можуть бути причиною виникнення аварійних ситуацій – розривів труб, витікання нафти, вибухів.*

*Для підтримання технологічного процесу – нагріву робочого продукту – в заданих межах використовують локальну систему автоматичного регулювання температури продукту на виході нагрівника. Недоліком такої системи є те, що зовнішні збурення, які діють на об'єкт, враховуються системою за допомогою від'ємного зворотного зв'язку. Оскільки об'єкт має значну інерційність, то опосередковане врахування системою зовнішніх впливів приводить до значного погіршення якості процесу керування.*

*Створення системи автоматичного керування процесом нагрівання робочого продукту, з підвищеними показниками якості процесу керування, можливе лише на основі математичної моделі, яка описує динаміку передачі тепла від жарових труб через проміжний теплоносій до робочого середовища.*

*У роботі математична модель нагрівника подана у просторі станів, яка має векторну форму, що дало змогу спростити як процес лінеаризації, так і процес виключення проміжних змінних. Аналіз отриманої моделі показав, що динаміка нагрівача нафти (конденсату) характеризується дев'ятьма передавальними функціями.*

*Розроблена структурна схема нагрівника стане основою для розроблення системи автоматичного керування шляховим нагрівачем нафти з покращеними показниками якості керування.*

**Ключові слова:** *шляхові нагрівники нафти, простір станів, лінеаризація, передавальні функції, динаміка передачі тепла, система автоматичного регулювання.*

**М. І. GORBIYCHUK**

Doctor of Engineering,  
Professor at the Department of Automation  
and Computer-Integrated Technologies  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
ORCID: 0000-0002-8586-1883

**М. Z. VASYLENCHUK**

Postgraduate Student at the Department of Automation  
and Computer-Integrated Technologies  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
ORCID: 0009-0008-9725-052X

## SYNTHESIS OF THE STRUCTURAL DIAGRAM OF THE OIL HEATER AS AN OBJECT OF AUTOMATIC CONTROL

*In the oil and gas industry, oil (condensate) heaters have recently been used, in which, unlike direct heating with flue gases, uniform heating of the product is ensured, which prevents the appearance of abnormally hot areas, which can be the cause of emergency situations – pipe ruptures, oil leaks, explosions.*

*To maintain the technological process – the heating of the working product – within the given limits, a local system of automatic temperature regulation of the product at the outlet of the heater is used. The disadvantage of such a system is that external disturbances acting on the object are taken into account by the system using negative feedback. Since the object has significant inertia, indirect consideration by the system of external influences leads to a significant deterioration in the quality of the control process.*

*The creation of a system for automatic control of the process of heating the working product, with increased indicators of the quality of the control process, is possible only on the basis of a mathematical model that describes the dynamics of heat transfer from heat pipes through an intermediate coolant to the working environment.*

*In the work, the mathematical model of the heater is presented in the state space, which has a vector form, which made it possible to simplify both the process of linearization and the process of excluding intermediate variables. The analysis of the obtained model showed that the dynamics of the oil (condensate) heater is characterized by nine transfer functions.*

*The developed structural diagram of the heater will be the basis for the development of an automatic control system for the oil path heater with improved control quality indicators.*

**Key words:** oil heaters, state space, linearization, transfer functions, dynamics of heat transfer, automatic control system.

### Постановка проблеми

Перед подачею нафти (або конденсату) споживачам, нафту попередньо нагрівають до певної температури. Нагрів нафти здійснюється в апаратах, які представляють собою ємність (ванну), заповненою водою, яка омиває жарові труби. Через жарові труби протікають нагріті продукти згоряння газу, який спалюється в камері згоряння. Тепло від жарових труб передається рідині (воді), яка нагріває пучок труб, через які протікає нафта (конденсат).

Використання ванни з водою забезпечує рівномірне нагрівання продукту та запобігає появі аномально гарячих ділянок, які можуть бути причиною виникнення аварійних ситуацій – розривів труб, витікання нафти, вибухів.

Для підтримання технологічного процесу – нагріву робочого продукту – в заданих межах використовують локальну систему автоматичного регулювання температури продукту на виході нагрівника. Недоліком такої системи є те, що зовнішні збурення, які діють на об'єкт, враховуються системою за допомогою від'ємного зворотного зв'язку. Оскільки об'єкт має значну інерційність, то опосередковане врахування системою зовнішніх впливів приводить до значного погіршення якості процесу керування.

Створення системи автоматичного керування процесом нагрівання робочого продукту, з підвищеними показниками якості процесу керування, можливе лише на основі математичної моделі, яка описує динаміку передачі тепла від жарових труб через проміжний теплоносій до робочого середовища.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для нагрівання нафти або конденсату спалюють попутний або комерційний газ. При видобуванні нафти отримують попутний газ, який не обліковується. На промислах, де видобувають газ, отримують також конденсат, який необхідно відокремити від газу, перед подачею газової суміші до сепараційної установи її нагрівають в шляхових нагрівниках, спалюючи в камерах згоряння комерційний газ.

Тому у більшості робіт, у яких висвітлюються різні аспекти функціонування шляхових нагрівників, ведеться пошук раціонального використання комерційного газу. Так у роботі [1] для дослідження динамічних властивостей нагрівника з проміжним теплоносієм разом з редуційним клапаном створена математична модель, на основі якої сформувані пропозиції щодо підвищення коефіцієнта корисної дії нагрівника. З метою підвищення к. к. д. шляхового нагрівача, який працює у складі газорозподільної станції, у роботі [2] створена математична модель, на основі якої запропоновано нове технічне рішення – оснастити шляховий нагрівач сонячною станцією з водяним акумулятором. Недоліком створеної моделі є те, що вона не враховує динаміку передачі тепла до рідини через стінки жарових труб. Для підвищення к. к. д. нагрівника у роботах [3, 4] запропоновано тепло димових газів використовувати для попереднього підігріву повітря перед подачею його в камеру згоряння. Таке конструктивне рішення дало змогу збільшити к. к. д. нагрівника на 27 % у порівнянні з базовим варіантом. На основі імітаційного моделювання в роботі [5] розроблені рекомендації щодо регулювання довжини факелу полум'я у камері згоряння та по вибору оптимального співвідношення повітря-газ.

Проведений аналіз наукових джерел показує, що дослідники меншу увагу приділяють шляховим нагрівачам нафти, де на нагрівання робочого продукту, використовують попутний газ, який не обліковується і спалюється в факелах.

Дотепер для автоматизації процесу нагрівання нафти (конденсату) використовують одноконтурні системи автоматичного керування [6], які через велику інерційність об'єкта керування, мають незадовільні показники якості процесу керування.

У роботі [7] автори використали імітаційне моделювання шляхового нагрівника для дослідження системи автоматичного регулювання температури на виході редуційного клапану, що запобігає гідроутворенню, яке виникає як результат ефекту Джоуля-Томсона.

Таким чином, не дивлячись на цілий ряд публікацій, присвячених математичному моделюванню різних аспектів роботи шляхових нагрівників, актуальною науковою задачею залишається створення адекватних математичних моделей, які дадуть змогу створити нові системи автоматичного керування процесом нагріву нафти (конденсату) з покращеними показниками якості процесу керування.

**Формулювання мети дослідження**

Синтезувати лінеаризовану математичну модель шляхового нагрівача з проміжним теплоносієм у просторі станів та визначити його передавальні функції і на цій основі створити структурну схему нагрівача як об'єкта автоматичного керування.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

**Синтез лінеаризованої математичної моделі нагрівника у просторі станів**

У роботах [8, 9] отримана математична модель нагрівника з проміжним теплоносієм при таких допущеннях:

- продуктивний теплообмінник і газохід замінюється зосередженою ланкою у якій поверхні обміну, товщина і маса металу стінок відповідають цим же параметрам реальних елементів підігрівника;
- температура середовищ у продуктовому змійовику та газоході дорівнює середній температурі середовищ на вході і виході даних елементів, а у ванні з теплоносієм середньому значенню діапазону паспортних робочих температур;
- передача тепла через поверхні теплообміну продуктового змійовика та від стінки газоходу до теплоносія відбувається шляхом конвекції, а від димових газів до стінки газоходу – радіантним та конвекційним способами;
- тепловий опір теплообмінних стінок дуже малий, тому їх температура в усіх точках однакова;
- густина середовищ і матеріалу стінок є постійною і не залежить від температури.

На основі аналізу нагрівника як об'єкта керування отримані рівняння енергетичного балансу для основних потоків та стінок теплопередачі

$$\tau_n \frac{dT_{ncp}}{dt} + T_{ncp} = -k_{n,1} G_n (T_n^{out} - T_n^{in}) + k_{n,2} T_{sz}, \tag{1}$$

$$\tau_w \frac{dT_w}{dt} + T_w = k_{sdk} T_{sdk} + k_{sz} \cdot T_{sz} \tag{2}$$

$$\frac{dT_{dg\uparrow}}{dt} = \frac{1}{0,5L_1} \left( (k_5 - k_1 \cdot T_{dg\uparrow}) \cdot G(U) - k_2 \left( 0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) \right)^4 + k_3 (T_{sdk})^4 - k_4 \cdot \left( 0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk} \right)^{5/4} \right) \tag{3}$$

$$\tau_{sz} \frac{dT_{sz}}{dt} + T_{sz} = k_{wep} T_w + k_{nep} T_{ncp}, \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \frac{dT_{sdk}}{dt} = & \frac{1}{M_{dk} \cdot c_{dk}} \left( 0,5 \cdot \psi \cdot (\varepsilon_c + 1) C_0 F_{dk} \left[ \varepsilon_{dg} \left( \frac{(T_{max} + T_{dg\uparrow})}{200} \right)^4 - A_{dg} \left( \frac{T_{sdk}}{100} \right)^4 \right] + \right. \\ & \left. + 2,1 \cdot F_{dk} \cdot \sqrt[4]{(0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk})} \cdot (0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk}) - C_{sdk\_w} \cdot F_{dk} \cdot (T_{sdk} - T_w) \right), \end{aligned} \tag{5}$$

У рівняннях (1) – (5) прийняті такі позначення:  $\tau_n = \frac{M_n \cdot c_n}{C_{sz-n} F_z}$  – постійна часу;  $k_{n,1} = \frac{c_n}{C_{sz-n} F_z}$ ;  $C_{sz-n}$  – коефіцієнт теплопередачі від стінки до середовища, що нагрівається;  $F_z$  – площа поверхні обміну змійовика;  $M_n$  – маса продукту (нафти) у змійовику;  $G_n$  – масова витрата нафти;  $c_n$  – середня теплоємність нафти;  $T_{ncp} = 0,5(T_n^{in} + T_n^{out})$  – середня температура нафти;  $T_w$  – температура проміжного теплоносія (води);  $\tau_{sz} = \frac{M_z \cdot c_z}{(C_{w\_sz} + C_{sz-n}) F_z}$ ;  $k_{wep} = \frac{C_{w\_sz}}{C_{w\_sz} + C_{sz-n}}$ ;  $k_{nep} = \frac{C_{sz-n}}{C_{w\_sz} + C_{sz-n}}$ ;  $C_{w\_sz}$  – коефіцієнт теплопередачі від води до стінки;  $M_z$  – маса стінки,  $c_z$  – теплоємність стінки,  $Q_{w\_sz}$  – тепловий потік від води до стінки;  $T_{dg\uparrow}$  – температура димових газів на виході;  $G(U)$  – витратна характеристика регулюючого клапану;  $T_{dgp} = 0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow})$ ;  $T_{max}$  – максимальна розрахункова температура горіння, що еквівалентно температурі димових газів в топці;  $T_{sdk}$  – температура стінки димового каналу;  $L_1 = V_{zdg} \rho_{cpdg} c_{cpdg}$ ;  $k_1 = C_{dg\uparrow} \cdot B_{max} (1 + \alpha L_0)$ ;  $k_2 = 0,5 \cdot 10^{-8} (\varepsilon_c + 1) C_0 F_{dk} \cdot \varepsilon_{dg}$ ;  $k_3 = 0,5 \cdot 10^{-8} (\varepsilon_c + 1) C_0 F_{dk} \cdot A_{dg}$ ;  $k_4 = 2,1 \cdot F_{dk}$ ;  $k_5 = B_{max} \cdot \eta_T \cdot q_g^H$ ;  $V_{zdg}$  – об'єм димового каналу нагрівника;  $\rho_{cpdg}$  – середня густина димових газів;  $c_{cpdg} = 0,5(c_{dg\uparrow}^{\uparrow} + c_{dg\uparrow}^T)$  – середня теплоємність димових газів;  $\varepsilon_c = 0,85$ ;  $c_{dg\uparrow}^{\uparrow}, c_{dg\uparrow}^T$  – теплоємність продуктів згорання на

виході печі і топки;  $q_g^H$  – теплота згорання паливного газу;  $\eta_T = 0,95$ ;  $\tau_w = \frac{M_w c_w}{C_{sdk\_w} F_{dk} + C_{w\_sz} F_z}$  – постійна часу;  
 $k_{sdk} = \frac{C_{sdk\_w} F_{dk}}{C_{sdk\_w} F_{dk} + C_{w\_sz} F_z}$ ;  $k_{sz} = \frac{C_{w\_sz} F_z}{C_{sdk\_w} F_{dk} + C_{w\_sz} F_z}$ .

Рівняння (1) запишемо у такому вигляді:  $p$

$$\tau_n \frac{dT_{ncp}}{dt} + T_{ncp} = -k_{n,1} G_n (T_n^{out} + T_n^{in} - 2T_n^{in}) + k_{n,2} T_{sz}.$$

Оскільки  $T_{ncp} = \frac{T_n^{out} + T_n^{in}}{2}$ , то останнє рівняння буде таким:

$$\frac{dT_{ncp}}{dt} = \frac{1}{\tau_n} (-2k_{n,1} G_n (T_{ncp} - T_n^{in}) - T_{ncp} + T_{sz}). \quad (6)$$

Інші рівняння системи (2) – (5) також подамо у формі Коші

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{1}{\tau_w} (k_{sdk} T_{sdk} - T_w + k_{sz} \cdot T_{sz}) \quad (7)$$

$$\frac{dT_{dg\uparrow}}{dt} = \frac{1}{0,5L_1} \left( (k_5 - k_1 \cdot T_{dg\uparrow}) \cdot G(U) - k_2 \left( 0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) \right)^4 + k_3 (T_{sdk})^4 - k_4 \cdot \left( 0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk} \right)^{5/4} \right) \quad (8)$$

$$\frac{dT_{sz}}{dt} = \frac{1}{\tau_{sz}} (k_{wep} T_w - T_{sz} + k_{nep} T_{ncp}), \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT_{sdk}}{dt} = & \frac{1}{M_{dk} \cdot c_{dk}} \left( 0,5 \cdot \psi \cdot (\varepsilon_c + 1) C_0 F_{dk} \left[ \varepsilon_{dg} \left( \frac{(T_{max} + T_{dg\uparrow})}{200} \right)^4 - A_{dg} \left( \frac{T_{sdk}}{100} \right)^4 \right] + \right. \\ & \left. + 2,1 \cdot F_{dk} \cdot \sqrt[4]{(0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk})} \cdot (0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk}) - C_{sdk\_w} \cdot F_{dk} \cdot (T_{sdk} - T_w) \right), \quad (10) \end{aligned}$$

Вводимо такі позначення:

$$\varphi_1(T_{ncp}, T_{sz}, T_n^{in}, G_n) = \frac{1}{\tau_n} (-2k_{n,1} G_n (T_{ncp} - T_n^{in}) - T_{ncp} + T_{sz}),$$

$$\varphi_2(T_w, T_{sz}, T_{sdk}) = \frac{1}{\tau_w} (k_{sdk} T_{sdk} - T_w + k_{sz} \cdot T_{sz}),$$

$$\varphi_3(T_{dg\uparrow}, T_{sdk}, U) = \frac{1}{0,5L_1} \left( (k_5 - k_1 \cdot T_{dg\uparrow}) \cdot G(U) - k_2 \left( 0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) \right)^4 + k_3 T_{sdk}^4 - k_4 \cdot \left( 0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk} \right)^{5/4} \right);$$

$$\pi_1(T_{ncp}, T_w, T_{sz}) = \frac{1}{\tau_{sz}} (k_{wep} T_w - T_{sz} + k_{nep} T_{ncp}),$$

$$\begin{aligned} \pi_2(T_w, T_{dg\uparrow}, T_{sdk}) = & \frac{1}{M_{dk} \cdot c_{dk}} \left( 0,5 \cdot \psi \cdot (\varepsilon_c + 1) C_0 F_{dk} \left[ \varepsilon_{dg} \left( \frac{(T_{max} + T_{dg\uparrow})}{200} \right)^4 - A_{dg} \left( \frac{T_{sdk}}{100} \right)^4 \right] + \right. \\ & \left. + 2,1 \cdot F_{dk} \cdot \sqrt[4]{(0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk})} \cdot (0,5(T_{max} + T_{dg\uparrow}) - T_{sdk}) - C_{sdk\_w} \cdot F_{dk} \cdot (T_{sdk} - T_w) \right). \end{aligned}$$

З врахуванням прийнятих позначень систему рівнянь (6) – (8) запишемо у векторній формі

$$\frac{d\bar{X}}{dt} = \bar{\varphi}(\bullet). \quad (11)$$

Аналогічно, подаємо і рівняння (9) та (10)

$$\frac{d\bar{X}_1}{dt} = \bar{\pi}(\bullet), \quad (12)$$

де  $\bar{\varphi}(\bullet) = \begin{bmatrix} \varphi_1(\bullet) \\ \varphi_2(\bullet) \\ \varphi_3(\bullet) \end{bmatrix}$ ,  $\bar{\pi}(\bullet) = \begin{bmatrix} \pi_1(\bullet) \\ \pi_2(\bullet) \end{bmatrix}$  – вектор-функції, компоненти яких праві частин системи рівнянь (1),

(6) – (10).

Лінеаризуємо рівняння (11) і (12)

$$\begin{aligned} \frac{d(\Delta\bar{X})}{dt} = & \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\varphi_1}{\partial T_{ncp}}\right)_0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\partial\varphi_2}{\partial T_w}\right)_0 & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{\partial\varphi_3}{\partial T_{dg}}\right)_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta T_{ncp} \\ \Delta T_w \\ \Delta T_{dg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\varphi_1}{\partial T_{sz}}\right)_0 & 0 & 0 \\ \left(\frac{\partial\varphi_2}{\partial T_{sz}}\right)_0 & \left(\frac{\partial\varphi_2}{\partial T_{sdk}}\right)_0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\partial\varphi_3}{\partial T_{sdk}}\right)_0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta T_{sz} \\ \Delta T_{sdk} \\ 0 \end{bmatrix} + \\ & + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\varphi_1}{\partial T_n^{in}}\right)_0 & \left(\frac{\partial\varphi_1}{\partial G_n}\right)_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta T_n^{in} \\ \Delta G_n \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \left(\frac{\partial\varphi_3}{\partial U}\right)_0 \end{bmatrix} \Delta U \end{aligned} \quad (13)$$

$$\frac{d(\Delta\bar{X}_{iv})}{dt} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\pi_1}{\partial T_{ncp}}\right)_0 & \left(\frac{\partial\pi_1}{\partial T_w}\right)_0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\partial\pi_2}{\partial T_w}\right)_0 & \left(\frac{\partial\pi_2}{\partial T_{dg}}\right)_0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta T_{ncp} \\ \Delta T_w \\ \Delta T_{dg} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\pi_1}{\partial T_{sz}}\right)_0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\partial\pi_2}{\partial T_{sdk}}\right)_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta T_{sz} \\ \Delta T_{sdk} \\ 0 \end{bmatrix}_{iv} \quad (14)$$

Якщо увести позначення:  $\Delta\bar{X} = \begin{bmatrix} \Delta T_{ncp} \\ \Delta T_w \\ \Delta T_{dg} \end{bmatrix}$  – змінні стану об'єкта;  $\Delta\bar{X}_{iv} = \begin{bmatrix} \Delta T_{sz} \\ \Delta T_{sdk} \\ 0 \end{bmatrix}$  – проміжні змінні;  $\Delta\bar{X}_{in} = \begin{bmatrix} \Delta T_n^{in} \\ \Delta G_n \end{bmatrix}$  –

збурення;  $A_x = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\varphi_1}{\partial T_{ncp}}\right)_0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\partial\varphi_2}{\partial T_w}\right)_0 & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{\partial\varphi_3}{\partial T_{dg}}\right)_0 \end{bmatrix}$ ;  $A_{iv} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\varphi_1}{\partial T_{sz}}\right)_0 & 0 & 0 \\ \left(\frac{\partial\varphi_2}{\partial T_{sz}}\right)_0 & \left(\frac{\partial\varphi_2}{\partial T_{sdk}}\right)_0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\partial\varphi_3}{\partial T_{sdk}}\right)_0 & 0 \end{bmatrix}$ ;

$$A_m = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\varphi_1}{\partial T_n^{in}}\right)_0 & \left(\frac{\partial\varphi_1}{\partial G_n}\right)_0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \bar{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \left(\frac{\partial\varphi_3}{\partial U}\right)_0 \end{bmatrix}; A_{\pi,1} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\pi_1}{\partial T_{ncp}}\right)_0 & \left(\frac{\partial\pi_1}{\partial T_w}\right)_0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\partial\pi_2}{\partial T_w}\right)_0 & \left(\frac{\partial\pi_2}{\partial T_{dg}}\right)_0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; A_{\pi,2} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial\pi_1}{\partial T_{sz}}\right)_0 & 0 & 0 \\ 0 & \left(\frac{\partial\pi_2}{\partial T_{sdk}}\right)_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

то рівняння (13) і (14) будуть такими:



$$\frac{d(\Delta\bar{X})}{dt} = A_x \cdot \Delta\bar{X} + A_{iv} \cdot \Delta\bar{X}_{iv} + A_{in} \cdot \Delta\bar{X}_{in} + \bar{b} \Delta U, \quad (15)$$

$$\frac{d(\Delta\bar{X}_{iv})}{dt} = A_{\pi,1} \cdot \Delta\bar{X} + A_{\pi,2} \cdot \Delta\bar{X}_{iv}. \quad (16)$$

Рівняння (15) і (16) перетворимо за Лапласом при нульових початкових умовах. У результаті отримаємо

$$(sI - A_x) \cdot \Delta\bar{X} = A_{iv} \cdot \Delta\bar{X}_{iv} + A_{in} \cdot \Delta\bar{X}_{in} + \bar{b} \Delta U, \quad (17)$$

$$(sI - A_{\pi,2}) \Delta\bar{X}_{iv} = A_{\pi,1} \cdot \Delta\bar{X}. \quad (18)$$

Із рівняння (17) знаходимо

$$\Delta\bar{X}_{iv} = (sI - A_{\pi,2})^{-1} A_{\pi,1} \cdot \Delta\bar{X}.$$

Знайдене значення  $\Delta\bar{X}_{iv}$  підставимо в (17), що дасть

$$\left( (sI - A_x) - A_{iv} \cdot (sI - A_{\pi,2})^{-1} A_{\pi,1} \right) \Delta\bar{X} = A_{in} \Delta\bar{X}_{in} + \bar{b} \Delta U.$$

Звідси

$$\Delta\bar{X} = \left( sI - A_x - A_{iv} \cdot (sI - A_{\pi,2})^{-1} A_{\pi,1} \right)^{-1} A_{in} \cdot \Delta\bar{X}_{in} + \left( sI - A_x - A_{iv} \cdot (sI - A_{\pi,2})^{-1} A_{\pi,1} \right)^{-1} \bar{b} \Delta U.$$

Відхилення температур від своїх усталених значень позначимо як  $\theta$ , а відхилення командного сигналу від свого базового значення буде таким:  $u = \Delta U$ .

З врахуванням прийнятих позначень останнє матрично-векторне рівняння буде таким:

$$\bar{\theta} = \left( sI - A_x - A_{iv} \cdot (sI - A_{\pi,2})^{-1} A_{\pi,1} \right)^{-1} A_{in} \cdot \bar{\theta}_{in} + \left( sI - A_x - A_{iv} \cdot (sI - A_{\pi,2})^{-1} A_{\pi,1} \right)^{-1} \bar{b} u. \quad (19)$$

Очевидно, що

$$W_{\theta, \theta_{in}}(s) = \left( sI - A_x - A_{iv} \cdot (sI - A_{\pi,2})^{-1} A_{\pi,1} \right)^{-1} A_{in}, \quad (20)$$

$$W_{\theta, u}(s) = \left( sI - A_x - A_{iv} \cdot (sI - A_{\pi,2})^{-1} A_{\pi,1} \right)^{-1} \bar{b} \quad (21)$$

матричні передавальні функції вихідної величини  $\bar{\theta}$  відносно факторів збурення  $\bar{\theta}_{in}$  і керуючої дії  $u$ . Отже,

$$\bar{\theta} = W_{\theta, \theta_{in}}(s) \bar{\theta}_{in}(s) + W_{\theta, u}(s) u(s). \quad (22)$$

Рівняння (22) дає змогу побудувати структурну схему нагрівника (рис. 1) як об'єкта автоматичного керування.

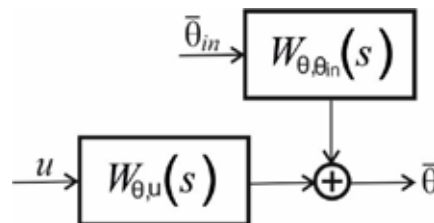


Рис. 1. Структурна схема нагрівника як об'єкта автоматичного керування

З аналізу матричних передавальних функцій  $W_{\theta, \theta_{in}}(s)$  і  $W_{\theta, u}(s)$  випливає, що опис динамічних властивостей нагрівника, при малих відхиленнях вихідних величин від своїх базових значень, зроблений дев'ятьма передавальними функціями. Відповідно маємо три канали впливу вхідних факторів на вихідні величини. При цьому впливи збурення  $\theta_n^{in}$ ,  $g_n$  та керуюча дія  $u$  спричиняють реакцію трьох вихідних величин  $\theta_n^{out}$ ,  $\theta_w$  і  $\theta_{dg}$ .

Останнє твердження випливає із матрично-векторного рівняння (22), яке подамо у розгорнутій формі

$$\begin{bmatrix} \theta_{ncp}(s) \\ \theta_w(s) \\ \theta_{dg}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{\theta, \theta_n}^{(11)}(s) & W_{\theta, \theta_n}^{(12)}(s) \\ W_{\theta, \theta_n}^{(21)}(s) & W_{\theta, \theta_n}^{(22)}(s) \\ W_{\theta, \theta_n}^{(31)}(s) & W_{\theta, \theta_n}^{(32)}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta_n^{in}(s) \\ g_n(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_{\theta, u}^{(1)}(s) \\ W_{\theta, u}^{(2)}(s) \\ W_{\theta, u}^{(3)}(s) \end{bmatrix} u(s).$$

Після виконання відповідних дій над матрицями, отримаємо такі рівняння:

$$\theta_{ncp}(s) = W_{\theta, \theta_n}^{(11)}(s) \theta_n^{in}(s) + W_{\theta, \theta_n}^{(12)}(s) g_n(s) + W_{\theta, u}^{(1)}(s) u(s), \tag{23}$$

$$\theta_w(s) = W_{\theta, \theta_n}^{(21)}(s) \theta_n^{in}(s) + W_{\theta, \theta_n}^{(22)}(s) g_n(s) + W_{\theta, u}^{(2)}(s) u(s), \tag{24}$$

$$\theta_{dg}(s) = W_{\theta, \theta_n}^{(31)}(s) \theta_n^{in}(s) + W_{\theta, \theta_n}^{(32)}(s) g_n(s) + W_{\theta, u}^{(3)}(s) u(s). \tag{25}$$

Із рівняння

$$\theta_{ncp}(s) = \frac{\theta_n^{in}(s) + \theta_n^{out}(s)}{2}, \tag{26}$$

яке визначає взаємозв'язок між середньою температурою  $\theta_{ncp}(s)$  і температурами на вході  $\theta_n^{in}(s)$  та виході  $\theta_n^{out}(s)$  нафти із нагрівника, визначимо

$$\theta_n^{out}(s) = 2\theta_{ncp}(s) - \theta_n^{in}(s). \tag{27}$$

Рівняння (23) – (25) і (27) дають змогу створити структурну схему нагрівника нафти (рис. 2), яка деталізує структурну схему, що зображена на рис. 1.

З врахуванням (26) рівняння (23) набуде такого вигляду:

$$\theta_n^{out}(s) = (2W_{\theta, \theta_n}^{(11)}(s) - 1) \theta_n^{in}(s) + 2W_{\theta, \theta_n}^{(12)}(s) g_n(s) + 2W_{\theta, u}^{(1)}(s) u(s). \tag{28}$$

Зауважимо, що рівняння (28) можна отримати із структурної схеми рис. 2, використавши принцип суперпозиції.

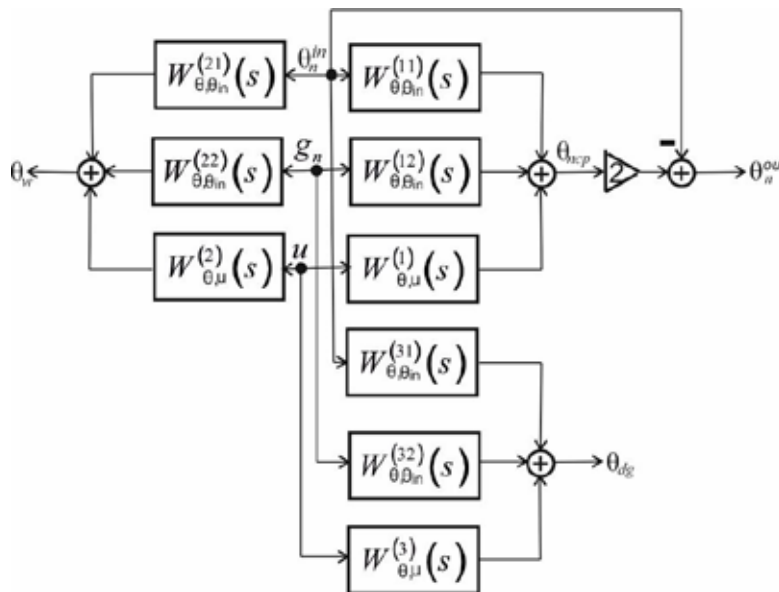


Рис. 2. Структурна схема нагрівника в розгорнутому вигляді

Як видно із рис. 2 керуюча дія  $u$ , яка змінює подачу газу в камеру згорання, впливає на температури нафти  $\theta_n^{out}$ , води  $\theta_w$  і димових газів  $\theta_{dg}$ .

Метою керування процесом нагріву в шляховому нагрівнику є підтримання температури нафти на його виході. Реалізація поставленої мети здійснюється за рахунок подачі природного газу в камеру згорання, що тягне за собою зміну температури не тільки на виході нагрівника нафти, але й температури води і димових газів.

Отримана структурна схема нагрівника (рис. 2), як об'єкта автоматичного керування, буде служити основою для створення системи автоматичного керування процесом нагрівання нафти (конденсату) з врахуванням зовнішніх збурень, що діють на об'єкт.

### Висновки

1. Зроблений аналіз математичної моделі шляхового нагрівника нафти (конденсату) дозволив виявити проміжні змінні у системі диференціальних рівнянь, які повинні бути вилучені у подальшому.
2. Подання математичної моделі нагрівника у формі Коші дало змогу перейти до векторної форми її запису і тим самим спростити процес лінеаризації та вилучення проміжних змінних.
3. На основі векторно-матричної форми математичної моделі нагрівача отримані передавальні функції за всіма каналами передачі вхідних величин і виявлено, що опис динамічних властивостей нагрівника виконаний за допомогою дев'ятьох передавальних функцій.
4. Отримана математична модель нагрівника у вигляді передавальних функцій дала змогу створити його структурну схему, на основі якої буде синтезована система автоматичного керування процесом нагрівання нафти (конденсату) з покращеними показниками якості процесу керування.

### Список використаної літератури

1. Barreto C.V, Pires Luis F. G., Sarmento R. C. Transient simulation of natural gas citygates stations. Proceedings of the 8th International Pipeline Conference IPC2010 September 27–October 1, 2010, Calgary, Alberta, Canada. URL: <http://www.simdut.com.br/Trabalhos/IPC2010-31567.pdf>.
2. Rashidmardani A., Hamzei M. Effect of Various Parameters on Indirect Fired Water Bath Heaters' Efficiency to Reduce Energy Losses. International Journal of Science and Engineering Investigations, 2013. Vol. 2, issue 12. P. 17–25.
3. Azizi S. H., Rashidmardani A., Andalibi M. R. Study of Preheating Natural Gas in Gas Pressure Reduction Station by the Flue Gas of Indirect Water Bath Heater. International Journal of Science and Engineering Investigations, 2014. Vol. 3, issue 27. P. 17–22. URL: <http://www.ijsei.com/papers/ijsei-32714-03.pdf> ISSN: 2251-8843.
4. Khanmohammadi S., Shahsavari A. Thermodynamic assessment and proposal of new configurations of an indirect water bath heater for a City Gate Station (a case study). Energy Equip. Sys, 2020. Vol. 8. No. 4. Dec. 2020. P. 349–365. URL: [http://www.energyequipsys.com/article\\_241292\\_f1fc67b732305a7108c69cf11f6cab0d.pdf](http://www.energyequipsys.com/article_241292_f1fc67b732305a7108c69cf11f6cab0d.pdf).
5. Riahi M., Yazdirad B., Jadidi M., Berenjkar F., Khoshnevisan S., Jamali M., Safary M. Optimization of Combustion Efficiency in Indirect Water Bath Heaters of Ardabil City Gate Stations. MCS 7 Chia Laguna, Cagliari, Sardinia, Italy, September 11–15, 2011. URL: [https://www.researchgate.net/publication/272498858\\_Optimization\\_of\\_Combustion\\_Efficiency\\_in\\_Indirect\\_Water\\_Bath\\_Heaters\\_of\\_Ardabil\\_City\\_Gate\\_Stations](https://www.researchgate.net/publication/272498858_Optimization_of_Combustion_Efficiency_in_Indirect_Water_Bath_Heaters_of_Ardabil_City_Gate_Stations).
6. Розробка та експлуатація нафтових та нафтогазових родовищ: навчальний посібник / Фик М. І., Хріпко О. І., Раєвський Я. О., Варавіна О. П. Харків: «ХПІ», 2019. 149 с.
7. Rastegar S., Kargarsharifabad H., Doost A.K., Rahbar N. Developing a Model for Predicting the Outlet Gas Temperature of Natural Gas Pressure Reduction Stations to Reduce Energy Loss. Journal of Heat and Mass Transfer Research 7, 2020. P. 143–154. URL : [https://jhmtr.semnan.ac.ir/article\\_4469\\_339ae1dfdccab8b200ef6dbcf8e8abfe.pdf](https://jhmtr.semnan.ac.ir/article_4469_339ae1dfdccab8b200ef6dbcf8e8abfe.pdf).
8. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Гарасимів В. М. Математична модель підігрівника з проміжним теплоносієм. *Методи та прилади контролю якості*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. № 2(47). С. 83–96.
9. Горбійчук М. І., Василенчук М. З., Когутяк М. І. Синтез лінеаризованих математичних моделей нагрівника з проміжним теплоносієм. *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»*, 2023. Вип. 3. С. 144–153.

### References

1. Barreto C.V, Pires Luis F. G., Sarmento R. C. Transient simulation of natural gas citygates stations. Proceedings of the 8th International Pipeline Conference IPC2010 September 27–October 1, 2010, Calgary, Alberta, Canada. URL: <http://www.simdut.com.br/Trabalhos/IPC2010-31567.pdf>. DOI: 10.1115/ipc2010-31567.
2. Rashidmardani A., Hamzei M. Effect of Various Parameters on Indirect Fired Water Bath Heaters' Efficiency to Reduce Energy Losses. International Journal of Science and Engineering Investigations, 2013. Vol. 2, issue 12. P. 17–25.
3. Azizi S. H., Rashidmardani A., Andalibi M. R. Study of Preheating Natural Gas in Gas Pressure Reduction Station by the Flue Gas of Indirect Water Bath Heater. International Journal of Science and Engineering Investigations, 2014. Vol. 3, issue 27. P. 17–22. URL: <http://www.ijsei.com/papers/ijsei-32714-03.pdf> ISSN: 2251-8843.
4. Khanmohammadi S., Shahsavari A. Thermodynamic assessment and proposal of new configurations of an indirect water bath heater for a City Gate Station (a case study). Energy Equip. Sys, 2020. Vol. 8. No. 4. Dec. 2020. P. 349–365. URL: [http://www.energyequipsys.com/article\\_241292\\_f1fc67b732305a7108c69cf11f6cab0d.pdf](http://www.energyequipsys.com/article_241292_f1fc67b732305a7108c69cf11f6cab0d.pdf). DOI: 10.22059/EES.2020.241292
5. Riahi M., Yazdirad B., Jadidi M., Berenjkar F., Khoshnevisan S., Jamali M., Safary M. Optimization of Combustion Efficiency in Indirect Water Bath Heaters of Ardabil City Gate Stations. MCS 7 Chia Laguna, Cagliari, Sardinia, Italy, September 11–15, 2011. URL: [https://www.researchgate.net/publication/272498858\\_Optimization\\_of\\_Combustion\\_Efficiency\\_in\\_Indirect\\_Water\\_Bath\\_Heaters\\_of\\_Ardabil\\_City\\_Gate\\_Stations](https://www.researchgate.net/publication/272498858_Optimization_of_Combustion_Efficiency_in_Indirect_Water_Bath_Heaters_of_Ardabil_City_Gate_Stations). DOI: 10.13140/2.1.1153.8720
6. Development and Operation of Oil and Gas Fields: Textbook / Phyk M. I., Khripko O. I., Raevsky Y. O., Varavina O. P. Kharkiv: «KhPI», 2019. 149 p.

7. Rastegar S., Kargarsharifabad H., Doost A.K., Rahbar N. Developing a Model for Predicting the Outlet Gas Temperature of Natural Gas Pressure Reduction Stations to Reduce Energy Loss. *Journal of Heat and Mass Transfer Research* 7, 2020. P. 143–154. URL: [https://jhmtr.semnan.ac.ir/article\\_4469\\_339ae1dfdccab8b200ef6dbcf8e8abfe.pdf](https://jhmtr.semnan.ac.ir/article_4469_339ae1dfdccab8b200ef6dbcf8e8abfe.pdf).

8. Horbiychuk M. I., Kohutyak M. I., Harasymiv V. M. Mathematical model of heater with intermediate heat carrier. *Quality control methods and devices*. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2021. № 2(47). P. 83–96. DOI: 10.31471/1993-9981-2021-2(47)-83-95

9. Horbiychuk M. I., Vasylenchuk M. Z., Kohutyak M. I. Synthesis of linearized mathematical models of heater with intermediate coolant. *International Scientific and Technical Journal "Measuring and Computing Equipment in Technological Processes"*, 2023, issue. 3, pp. 144–153. DOI:10.31891/2219-9365-2023-75-17

**М. Б. ЄДИНОВИЧ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8086-8189

**В. М. ПОЛЩУК**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8775-4977

**Н. В. САРАФАННІКОВА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0006-6609-016X

**В. С. ОСАДЧУК**

старший викладач кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-8326-8173

## КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ ТКАНИН

*Питання контролю якості продукції масового виробництва є дуже важливими в сучасному світі, оскільки застосування розвитку технологій на виробництві забезпечує конкурентоспроможність і попит товару. Звісно передуючий контроль якості зменшує відсоток бракованої продукції що виробляється і відповідно оптимізує і заощаджує витрати на основне виробництво. Дана робота стосується контролю якості структури текстильних тканин на завершальних оздоблювальних етапах виробництва і обробки через деформацію полотна. Розглянуто основні показники якості тканини і чинники які призводять до деформації полотна. Доведено, що контроль доцільно здійснювати автоматичними системами виправлення утоку.*

*В рамках даної статті розглянуто зв'язок анізотропії електричних характеристик тканини з її деформаціями та розробку експериментального датчика перекосу утоку.*

*Наведено класифікацію відповідності методів і засобів виявлення і контролю перекосу утоку. Здійснено огляд існуючих приладів для усунення і автоматичного виправлення перекосу та проаналізовано показники недосконалості. Виявлено, що для вдосконалення системи вимірювання параметрів анізотропії необхідно використовувати безконтактний контроль.*

*Для проведення досліджень було розроблено модель у вигляді електричної еквівалентної схеми системи відношення датчик – тканина для безконтактного контролю електропровідності досліджуваних зразків тканини. Зазначено межі електричних параметрів для відповідного функціонування схеми. З метою оптимізації системи було проведено дослідження взаємодії сухої тканини з електромагнітним полем певної конфігурації. Для створення осесиметричного поля на поверхні тканини було запропоновано кілька варіантів розташування електродів щодо досліджуваного зразка тканини. Здобуто конфігурацію електромагнітних полів для різних варіантів установки електродів.*

*Отримані результати для деяких артикулів наведені у вигляді розподілу потенціалів на поверхні тканини. Результати підтверджують можливість створення функціонального безконтактного датчика контролю деформацій тканини.*

**Ключові слова:** тканина, якість, безконтактний контроль, деформація, перекоп, анізотропія, симетрія, витяжка, ортогональність, основа, уток, розташування ниток, датчик, автоматичне виправлення, комплексний опір.

**М. В. YEDYNOVYCH**

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation,  
Robotics and Mechatronics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8086-8189

V. M. POLISHCHUK

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation,  
Robotics and Mechatronics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8775-4977

N. V. SARAFANNIKOVA

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation,  
Robotics and Mechatronics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0006-6609-016X

V. S. OSADCHUK

Senior Lecturer at the Department of Automation,  
Robotics and Mechatronics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-8326-8173

## QUALITY CONTROL OF TEXTILE FABRICS

*The issue of quality control of mass-produced products is very important in the modern world, since the application of technological development in production ensures competitiveness and product demand. Of course, prior quality control reduces the percentage of defective products produced and accordingly optimizes and saves costs for the main production. This work concerns the quality control of the structure of textile fabrics at the final finishing stages of production and processing due to the deformation of the fabric. The main indicators of fabric quality and factors that lead to fabric deformation are considered. It has been proven that it is advisable to carry out control by automatic systems correction of weft.*

*In the framework of this article, the relationship between the anisotropy of the electrical characteristics of the fabric and its deformations and the development of an experimental sensor of weft skew are considered.*

*The classification of compliance of methods and means of detection and control of weft skew is presented. An overview of the existing devices for the elimination and automatic correction of skew was carried out and the indicators of imperfection were analyzed. It was found that to improve the anisotropy parameter measurement system, it is necessary to use non-contact control.*

*To conduct the research, a model was developed in the form of an electrical equivalent circuit of the sensor-tissue relationship system for non-contact control of the electrical conductivity of the investigated tissue samples. The limits of the electrical parameters for the appropriate operation of the scheme are specified. In order to optimize the system, a study of the interaction of dry tissue with an electromagnetic field of a certain configuration was conducted. In order to create an axisymmetric field on the surface of the fabric, several options for the location of the electrodes in relation to the fabric sample were proposed. The configuration of electromagnetic fields for various options of electrode installation was obtained.*

*The obtained results for some articles are given in the form of distribution of potentials on the surface of the fabric. The results confirm the possibility of creating a functional non-contact sensor for monitoring fabric deformations.*

**Key words:** fabric, quality, non-contact control, deformation, skew, anisotropy, symmetry, hood, orthogonality, base, weft, location of threads, sensor, automatic correction, complex resistance.

### Постановка проблеми

Ткацька справа була закладена на початку новокам'яного століття, коли люди з землеробством освоїли і мистецтво плетіння полотен з трави, пагонів і стебел рослин. І в сучасному світі вже не можливо уявити людину і середовище, яке її оточує, без предметів з тканини. Розвиток сьогодення передбачає конкурентоспроможність і підприємства і продукції, а одним з основних чинників конкурентоспроможності є якість продукту що виробляється [1].

Якість тканини оцінюється сукупністю її споживчих властивостей, які залежно від призначення, умов експлуатації, волокнистого складу та будови можуть бути різними. Контроль якості тканини – це перевірка відповідності показників якості тканин вимогам нормативно-технічних документів.

До основних якісних показників тканини належить щільність полотна, що відповідає за зносостійкість і міцність. Також важлива відсутність дефектів зовнішнього вигляду. У текстильному виробництві деформації тканини, зокрема витяжка і перекис утоку є найпоширенішими дефектами тканини, що виникають на заключних стадіях виробництва при обробці тканин на вибільних, фарбувальних і оздоблювальних лініях через нерівномірне сушіння, перекис і зношування валів устаткування, неоднакової швидкості руху тканини на технологічних переходах [2–5].

Сама тканина має ортогональну структуру і, відповідно дві осі симетрії, орієнтованих уздовж ниток утоку й основи. Вона розглядається як просторові грати зі структурою, що періодично повторюється і якій притаманні загальні ознаки тканин такі як ортогональність, дискретність, двовимірність і симетричність.

Ортогональна структура визначає відповідну симетрію анізотропії механічних властивостей тканини [6], тому деформація тканини призводить до порушення симетрії її анізотропних властивостей.

Під час заключної обробки на потокових лініях оздоблювального виробництва в тканині виникають порушення її ортогональної структури (перекіс утоку) та витяжка полотна уздовж основи. Зазначені деформації суттєво погіршують якість готової тканини. Оскільки деформація тканини призводить до порушення симетрії її анізотропних властивостей, у тому числі, і електричних тому контроль цієї симетрії дозволить виправляти перекіс тканини та підтримувати витяжку у потрібних межах. Симетрія анізотропних характеристик тканини визначається симетрією її ортогональної структури, що утворена переплетінням ниток основи та утоку.

Для усунення перекосу утоку існує широкий ряд правильних пристроїв, які управляються як вручну, так і автоматично [7]. Економічна ефективність від впровадження систем автоматичного виправлення утоку залежить від продуктивності устаткування, виду оброблюваних тканин і організації виробництва. На оздоблювальній лінії фірми «Kyoto», наприклад, збільшення випуску продукції першого гатунку складає не менше 1,3%, що у перерахунку на річний випуск складає понад 150 тис. метрів [3].

Відомі пристрої автоматичного виправлення утоку забезпечують виправлення перекосу без перенастроювання датчика перекосу тільки на певних групах артикулів тканин, а на деяких артикулах вони непрацездатні принципово [3, 4, 7]. В умовах виробництва це приводить до додаткових витрат, пов'язаних як із зупинками на перенастроювання датчиків і системи керування так і зі зниженням сортності тканини.

Виходячи з вищесказаного, очевидна необхідність створення системи автоматичного виправлення утоку, здатної забезпечити високу якість виправлення перекосу незалежно від артикула тканини, типу переплетення й складу ниток.

Тканина складається із взаємно перпендикулярних ниток основи і утоку, що обумовлює наявність анізотропних властивостей, насамперед, механічних. Перекіс – це порушення перпендикулярності ниток утоку відносно ниток основи, що призводить до порушення симетрії анізотропних характеристик. Таким чином, контролюючи порушення цієї симетрії, можна контролювати перекіс утокових ниток. Але контроль механічних властивостей спряжений зі складністю реалізації чутливого елемента датчика перекосу через наявність механічного контакту із тканиною [4]. Тому можна вважати доцільним контролювати симетрію електричних властивостей тканини, зокрема комплексного опору полотна у різних напрямках безконтактним способом. Безконтактний контроль деформацій тканини дозволить підвищити точність вимірювань та надійність системи.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Причини, що викликають перекоси утокових ниток різноманітні [2–7]. Діагональні перекоси виникають в основному через різний ступінь натягу крайок тканин при обробці їх розправленим полотном. Такі перекоси обумовлені, насамперед, перекосом тканиноспрямовувальних роликів. Перекоси іншої форми можуть бути викликані неоднаковим ступенем притиску полотна тканини по крайках тканиноспрямовувальними роликами, що втратили циліндричну форму в результаті зношування; косими або хвилястими швами, якими зшиті окремі шматки полотна; підвищеним тертям полотна в місцях перегину; нерівномірністю потоку повітря при сушінні, нерівномірністю сушіння ниток основи при шліхтуванні й іншими причинами.

Заключною стадією обробки зазвичай є просочення аперетом і сушіння на сушильно-ширильній машині. Тому в більшості випадків пристрої для усунення перекосу утоку встановлюються на вході сушильно-ширильної машини. Після усунення перекосу взаємне розташування ниток основи й утоку остаточно фіксується в процесі сушіння на сушильно-ширильній машині. Перекіс, обумовлений впливом перерахованих вище факторів, може досягати значень до 10–15%, а за формою являти собою досить складну комбінацію різних видів перекосу (лінійних, дугових, S-подібних та ін.) [8].

Існуючі датчики перекосу утоку. Як відомо, тканина складається з поздовжніх ниток основи й поперечних ниток утоку, перпендикулярних одна одній. Таким чином, тканина має ортогональну структуру й, як мінімум дві осі симетрії, орієнтованих уздовж ниток утоку й основи. Ортогональна структура тканини визначає відповідну симетрію анізотропії механічних властивостей тканини [9]. Анізотропія розривних характеристик тканини розглянута в роботі [10, 11]. Автори, розглядаючи зв'язок між міцністю  $P$  і кутом нахилу, роблять висновок про те, що деформація комірки тканини через різні напрямки прикладення навантаження й основних ниток створює більше подовження й менше розривне навантаження під кутами  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  до основи (рис. 1).

Перекіс можна розглядати як порушення ортогональності структури тканини й відповідної їй симетрії анізотропних механічних властивостей. Існує відповідна класифікація методів контролю перекосу, яку наведено на рис. 2.



Рис. 1. Анізотропія розривного навантаження тканини

Подібні датчики контролю симетрії розподілу сил тертя перетворюють положення утокових ниток у положення чутливих механічних елементів, що взаємодіють із тканиною за допомогою сил тертя. Ці елементи являють собою контактуючі із тканиною щупи або коліщатка, що котяться по тканині і повертаються в напрямку перекошу. Наприклад, датчик фірми «Maunt Nore» являє собою пару гумованих коліщат, насаджених на одне коромисло. Вісь симетрії датчика збігається з однією з осей симетрії контрольованої тканини. Тому при відсутності перекошу система датчик – тканина збалансована, сигнал на виході відсутній. Перекіс порушує симетрію тканини, що у свою чергу, при взаємодії датчика із тканиною викликає дисбаланс датчика й появу сигналу на його виході.

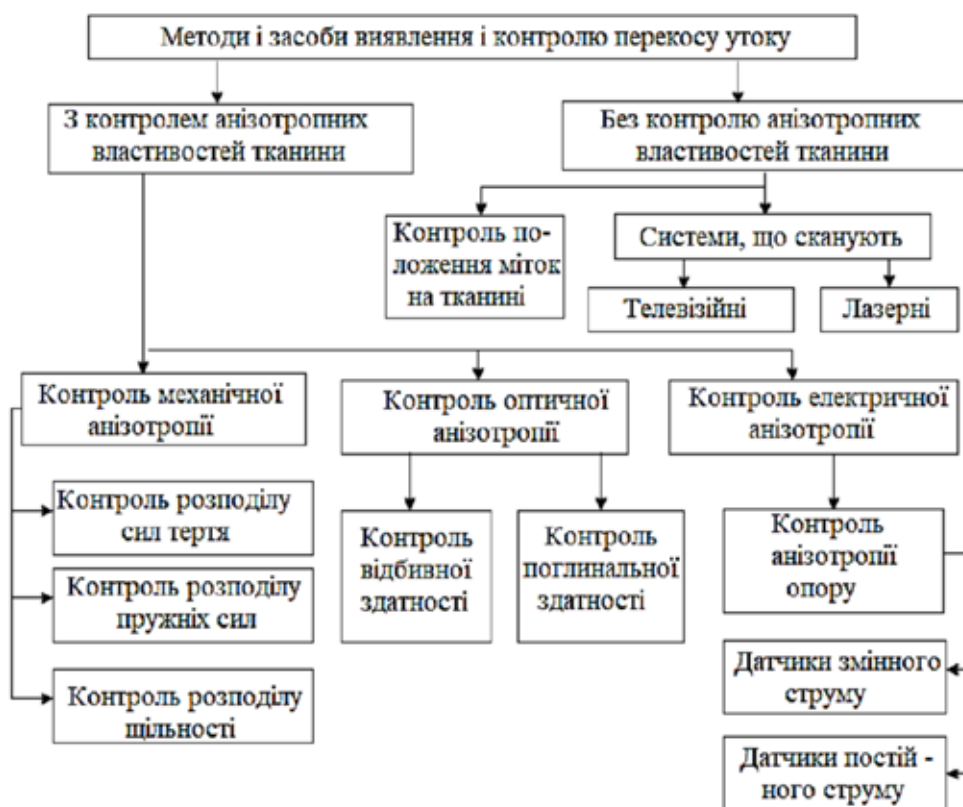


Рис. 2. Методи і засоби виявлення і контролю перекошу утку

Серед безконтактних датчиків контролю перекошу утку найбільш поширені оптичні датчики, працюють у відбитому світлі або на просвіт [12, 13]. Даний тип датчиків є найпоширенішим завдяки їхній простоті, надійності й здатності працювати на широкому асортименті артикулів тканини. Випускаються промислово фірмами «Mahlo» (ФРН); «Kyoto» (Японія); «Elitex» (Чехія) й ін. [14, 15].

Незважаючи на свої переваги, такі датчики не вільні від недоліків, до яких можна віднести погіршення працездатності на щільних тканинах, а також на тканинах зі складним переплетенням, наприклад саржевим, коли рубчик на поверхні тканини сприймається як утокова нитка [11]. У такий спосіб використання анізотропії щільності тканини для контролю перекошу не забезпечує надійного контролю на тканинах високої щільності, а також на тканинах складного переплетення, що у випадку щільної тканини пояснюється зменшенням неоднорідності й відповідно зменшенням чутливості, а у випадку тканини зі складним переплетенням виникає додаткова анізотропія щільності, обумовлена наявністю структурного малюнка, наприклад рубчика на сатині, який сприймається



датчиком як перекіс утоку. Анізотропія оптичної щільності світлих тканин менше, чим у темних тканин, що зв'язане зі зближенням рівня світлового потоку минулого через нитку й потоку, що пройшов через міжниточний простір. Зменшення оптичної анізотропії світлих тканин спричинює зниження чутливості датчика перекоосу утоку при роботі на цих тканинах.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз електричних анізотропних властивостей тканини, обумовлених її структурою та розробка на основі отриманих даних пристрою позбавленого вище наведених недоліків для контролю деформації тканини.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Розглядаючи анізотропні властивості тканини, необхідно використовувати саме електричні анізотропні властивості тканини. Адже тканина має істотну анізотропію електричного опору [16]. У зразків тканин, вирізаних уздовж основних або утокових ниток, величина електричного опору прямо пропорційна довжині зразка й обернено пропорційна його ширині. Для даних зразків опір визначається в основному тільки нитками, спрямованими уздовж силових ліній електричного поля, прикладеного до зразка. Нитки, розташовані перпендикулярно силовим лініям впливають на опір зразка. Для зразків, вирізаних під деяким кутом до основних або утокових ниток, опір визначається також і опором переходів між основними й утоковими нитками.

Навіть при однакових нитках основи й утоку різниця між максимальним і мінімальним значеннями опору становить приблизно 10–20%. У роботі показано, що осі симетрії електричної анізотропії збігаються з нитками основи й утоку. Перекіс утоку викликає відповідне порушення симетрії електричної анізотропії. Відомо кілька конструкцій датчиків перекоосу утоку, що контролюють анізотропію опору тканини контактним способом.

Наявність контакту між датчиком і тканиною обмежує можливості його практичного застосування й знижує точність експериментальних досліджень. Для успішного дослідження електричної анізотропії безконтактним способом необхідно було розв'язати проблему створення на тканині осесиметричного електричного поля й проблему знімання інформації з поверхні тканини [3]. Із цією метою було запропоновано еквівалентну схему системи датчик – тканина. Безконтактний контроль електричних анізотропних властивостей тканини дозволяє уникнути нестабільності електричного контакту датчика з тканиною. Електрична еквівалентна схема датчика для контролю розподілу електричного поля на поверхні тканини наведена (рис. 3).

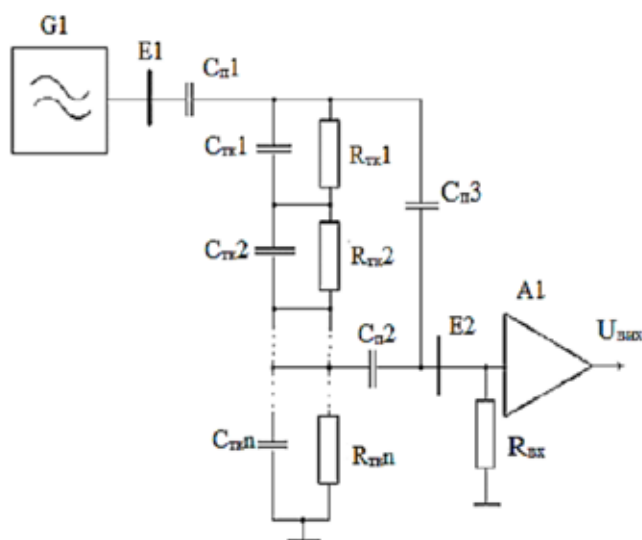


Рис. 3. Електрична еквівалентна схема системи датчик – тканина

$G1$  – джерело напруги живлення (генератор);  $A1$  – вимірювальний підсилювач;  $C_{n1}$  – ємність між живильним електродом і тканиною;  $R_{тк1} \dots R_{ткп}$ ,  $C_{n1} \dots C_{nп}$  – опори і ємності елементарних ділянок тканини, що залежать від виду переплетення;  $C_{n2}$  – ємність між прийомним електродом і тканиною;  $C_{n3}$  – ємність між живильним і приймальним електродами. Індекс «п» означає, що діелектриком у зазначених ємностях є повітря. У моделі не враховуються відповідні індуктивності через низьке значення магнітної проникності тканини.

Запропонована еквівалентна схема висуває наступні вимоги до технічної реалізації даного способу:

1. Для забезпечення максимальної чутливості ємності  $C_{n1}$  і  $C_{n2}$  повинні максимально можливо величину.
2.  $R_{вх}$  вимірювального підсилювача повинен значно перевищувати опір джерела сигналу –  $Z_{тк}$ , що складається з  $R_{тк}$  і  $C_{тк}$ . Для сухих тканин, наприклад,  $R_{вх} > 1 \text{ МОм}$ .
3. Величина ємності  $C_{n}$  повинна бути мінімальна, для того, щоб забезпечити найменший рівень сигналу складової електричного поля, не пов'язаної із тканиною.

Для виконання умови 1 необхідно мати живильні й прийомні електроди максимально можливої площі з мінімально можливим зазором між електродами і тканиною. Збільшення частоти генератора також знижує опір ємностей  $C_{п1}$  і  $C_{п2}$ , однак одночасно знижується опір ємностей  $C_{п3}$  і  $C_{тк}$ .

Також для задоволення вимоги 1 необхідно оптимізувати розміри електродів 1 і 2, виходячи з міркувань максимальної чутливості, а також обмежень, що накладаються розмірами зони контролю, тобто розмірами самого датчика. Оптимальна частота генератора залежить як від співвідношення ємностей  $C_{п1}$ ,  $C_{п2}$ , і  $C_{п3}$ , так і від співвідношення  $R_{тк}$  і  $C_{тк}$ , обумовленим видом волокна, тексом пряжі й вологістю тканини.

Виконання умови 3 також співвідноситься з умовами п. 1, дозволяє зробити висновок, що конструкція датчика буде мати компромісний характер. А виконання умови 2 при використанні сучасної елементної бази взагалі не представляє особливих труднощів.

Слід зазначити велику складність в організації експериментальних досліджень при одержанні характеристик для повної моделі системи вплив – тканина – перетворювач, що пов'язано з вимогами, пропонованими до вимірювальної апаратури й умовам проведення експерименту на зволоженій тканині. Тому слід визнати доцільним поетапне проведення досліджень:

1. Дослідження можливості неконтактного створення й контролю електричного поля на сухій тканині.
2. Дослідження анізотропних властивостей вологих тканин.
3. Створення на основі теоретичних даних і експериментальних досліджень датчика перекосу уткових ниток.

Для неконтактного дослідження анізотропних властивостей тканини за схемою рисунка 3 була розроблена експериментальна установка. Розміри зони контролю й відповідно установки були прийняті з врахуванням мінімальної ширини полотна тканини – 90 сантиметрів і числом датчиків, як мінімум два. Діаметр зони контролю був прийнятий рівним 0,25 м.

Для створення осесиметричного поля на поверхні тканини було запропоновано кілька варіантів розташування електродів щодо досліджуваного зразка тканини (рис. 4):

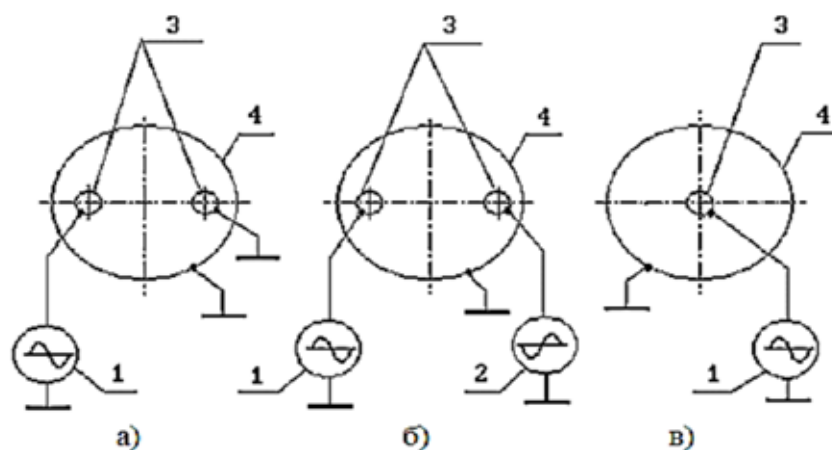


Рис. 4. Варіанти розташування електродів датчика

1 – джерело напруги синусоїдальної форми; 2 – джерело протифазної синусоїдальної напруги; 3 – електроди; 4 – кільцевий екран.

Конфігурація поля відповідних систем електродів наведена на рис. 5:

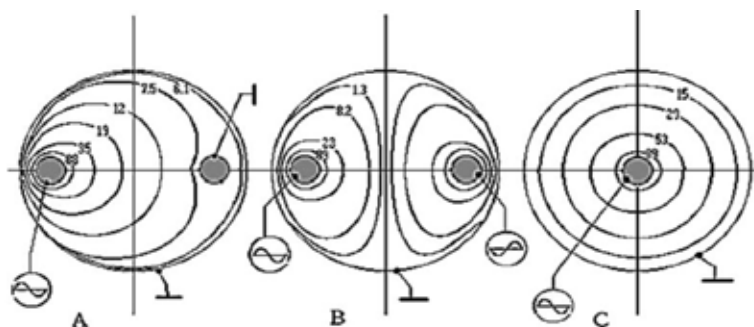


Рис. 5. Конфігурація поля для різних варіантів установки електродів

Значення потенціалів зазначені в мілівольтах. Методика розрахунків такого роду полів досить проста. Дані рис. 5 отримані експериментальним шляхом, тому що необхідно було врахувати вплив на конфігурацію поля елементів конструкції експериментальної установки. Як видно з рисунку, екран суттєво впливає на форму електромагнітного поля у випадках А і В. Контроль потенціалів електричного поля здійснювався точковим щупом із вбудованим повторювачем напруги на ОП, що забезпечило  $R_{вх}$  1 МОм.

Для визначення робочої частоти були зняті частотні характеристики системи (рис. 6). У якості джерела сигналу використовувався генератор з амплітудою напруги 25 В.

У цілому АЧХ установки для тканини вологістю 70–90% відповідає реальній ланці, що диференціює, I-го порядку, що відповідає еквівалентній схемі рис. 3. Частота  $f_n=5$  МГц (АЧХ 2). Однак через те, що в наступних трактах використовувалися підсилювачі на ОП К544УД2  $K_y=100$  і  $f_n=200$  кГц, АЧХ 1, те результуюча АЧХ системи тканина – датчик – підсилювач має  $f_n=200$  кГц і  $f_b=5$  МГц, АЧХ 4. Звідси мінімально можлива робоча частота була прийнята рівною 200 кГц. АЧХ 3 отримана для тканини вологістю 3–5%. Характеристика має  $f_n=20$  кГц і  $f_b=40$  кГц, що пояснюється тим, що із ростом частоти ємність  $C_b$  починає шунтувати  $R_{тк}$  (рис. 3).

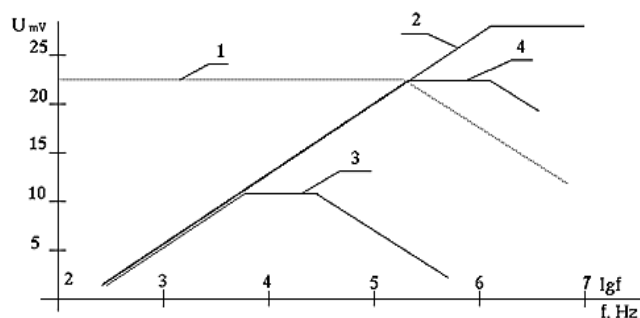


Рис. 6. АЧХ експериментальної установки

З метою оптимізації системи було проведено дослідження взаємодії сухої тканини з електромагнітним полем певної конфігурації. У ході досліджень з'ясувалося, що найбільш прийнятним з погляду повторюваності й чутливості є поле, створене двома електродами, які живляться у протифазі (рис. 4, б).

Експеримент проводився на зразках тканини вологістю 3–5% і діаметром 0,3 м., закріплених на обертовому кільці.

Для усереднення отриманих характеристик експеримент проводився по 5 разів на кількох зразках тканини одного артикулу. Для дослідів використовувалися зразки як з перекосом, так і без перекосу. Максимальна величина перекосу досягала 9 градусів.

Дослідження проводилися на бавовняних тканинах наступних артикулів: «Ефектна» арт. 1231, «Бязь» арт. 149, «Батист» арт. 1402, «Фініш». Схема підключення системи вимірювальних електродів наведена на рис. 7.

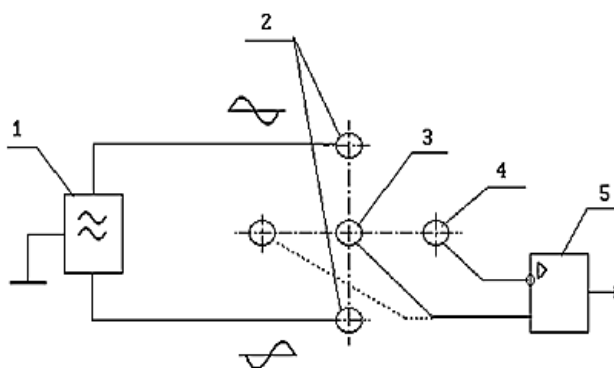
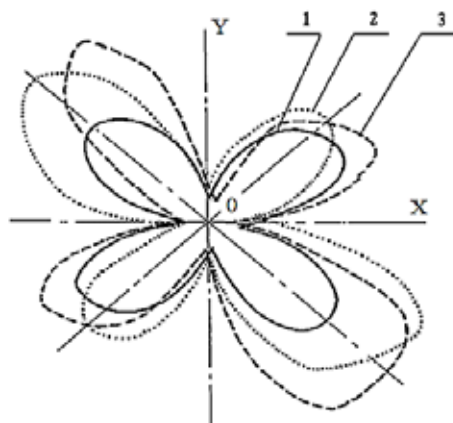


Рис. 7. Схема підключення електродів експериментальної установки

Вимірювальна схема має вигляд симетричного відносно структури тканини мосту, утвореного живильними електродами 2, підключеними до генератора 1, приймальними електродами 3, 4, підключеними до диференціального підсилювача 5, що дозволяє контролювати за допомогою електрода 4 неоднорідність структури тканини. Електрод 3 використовувався для компенсації постійної складової, обумовленої  $C_n$  (рис. 3) тому що він перебуває

посередині лінії, що з'єднує електроди генератора 1 і рівень сигналу не залежить від кута повороту досліджуваного зразка. Отримані результати для деяких артикулів наведені на рис. 8:

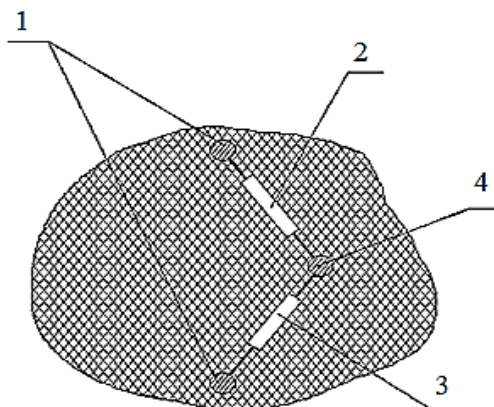


**Рис. 8. Розподіл потенціалів на поверхні тканини арт.142 «Бязь»**

1 – без перекосу; 2 – перекіс уліво на 5 градусів; 3 – перекіс вправо на 5 градусів.

Максимум отриманих характеристик відповідає орієнтації ниток основи й утоку уздовж вимірювальних пліч мосту, що складається з живильних електродів 1, еквівалентних опорів ділянок тканини 2 і 3, і вимірювального електрода 4 (рис. 9).

Ці дані підтверджують результати, які отримані контактним способом. Поява витяжки приводить до зміни опору ниток основи або утоку [16], що викликає збільшення або зменшення «пелюсток» характеристики анізотропії тканини.



**Рис. 9. Електрична модель тканини**

Як видно (рис. 8), перекіс ниток досліджуваного зразка викликає деформацію «пелюсток» характеристики, що полягає в їхньому повороті на кут, що дорівнює куту перекосу, а також у збільшенні їх розмірів.

#### Висновки

За результатами проведених досліджень встановлено, що:

- Анізотропні властивості тканини обумовлені взаємоперпендикулярним переплетінням ниток основи і утоку. Така структура обумовлює механічну, оптичну і електричну анізотропію тканини.
- Датчики деформації тканини, що контролюють симетрію електричних анізотропних властивостей тканини, дозволяють суттєво розширити асортименти тканин для яких можливе використання автоматичних систем усунення деформацій.
- Проведення дослідження показали можливість створення електричного поля на тканини неконтактним способом, а також можливість контролю симетрії цього поля.
- Характеристика електричних анізотропних властивостей тканини, отримана безконтактним способом відповідає ортогональній структурі тканини й не залежить від виду переплетення й складу волокна.
- Результати досліджень підтверджують можливість створення датчиків деформацій тканини на основі безконтактного способу контролю її анізотропії.

## Список використаної літератури

1. Малюта Л.Я. Забезпечення якості продукції – необхідна умова підвищення конкурентоспроможності підприємства та його продукції в сучасному ринковому просторі / Л.Я. Малюта // Економіка, фінанси, право. 2008. № 9. С. 11–14.
2. Рожков С. О. Методи і засоби оцінки якості тканин у системах керування текстильним виробництвом. Херсон: Олді-Плюс, 2011. 316 с.
3. Храпливый А.П. Теоретические основы и практика разработки систем и средств контроля и управления структурными показателями тканей: дис. ... доктора техн. наук: 05.19.03; 05.13.07. Л., 1990. 267 с.
4. Единович М. Б. Исследование и разработка безконтактной системы контроля и управления перекосом утка в тканях: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.07. Херсон, 1999. 133 с.
5. Horrocks A.R. Handbook of Technical Textiles.:Amsterdam: Elsevier, 2000. 532 p.
6. Begum S. Factors of Weave Estimation and the Effect of Weave Structure on Fabric Properties. *Fibers* 2022, 10, 74. P. 115–137.
7. Бельцов В. М. Оборудование текстильных отделочных предприятий / В. М. Бельцов – С Пб.: СПбГУТД, 2000. 568 с.
8. Попруга А. Г. Исследование и разработка системы автоматической правки уточных нитей различного вида тканей: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.03 / Попруга Анатолий Григорьевич. Херсон. 1987. 105 с.
9. Backer S. The Relationship between the Structural Geometry of a Textile Fabric and Its Physical Properties I: Literature Review / Stanley Backer // *Text. Res. J. Nov.* 1948. С. 650–658.
10. Носов М.П. Анизотропия разрывных характеристик тканей / М.П. Носов, В.И. Павлов, А.Е. Мирошников // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* 1976, № 5, С. 10–12.
11. Penava Z., Šimić Penava D. Influence of anisotropy and yarn count on the modulus of elasticity of weft rib knitted fabric *Zeljko Penava Diana Šimić Penava // Tekstil -Zagreb* September 2014, С. 25–36.
12. Method and instrument for determining the distortion angles in textile fabrics or similar whether fixed or in movement: пат. EP 1 182 448 A1, МКВ G01N 21/898; Приоритет 26.07.2000 Опубл. 27.02.2002 EUROPEAN PATENT APPLICATION.
13. Richtmaschine für Schuss und Maschenreihen von Textilien: пат. 2404582 ФРГ, МКИ D 06 H 3/12./ Epple Helmut; Mahlo KG. – заявл. 21.01.74; опубл 24.03.78.
14. Kyoto-machinery. Products. URL: <https://kyoto-machinery.com/en/products/> (дата звернення: 05.10.2022).
15. Mahlo Products & Devices. Measurement and control solutions for industry. URL: «<https://www.mahlo.com/en/products/distortion-correction/details/weft-straightener-orthopac-rvmc.html>» (дата звернення: 05.10.2022).
16. Контроль технологических параметров текстильных материалов: методы, устройства / Л.К. Татотченко, В.И. Киселев, В.Т. Песня; М.: Легпромбытиздат, 1985. 192 с.
17. M. Tokarska Anisotropy of the electrical properties of flat textiles. *The Journal of The Textile Institute.* 2015. Vol. 106, Issue 1. P. 9–18.

## References

1. Malyuta L.YA. (2008) Zabezpechennya yakosti produktsiyi – neobkhdna umova pidvyshchennya konkurentospromozhnosti pidpryyemstva ta yoho produktsiyi v suchasnomu rynkovomu prostori. [Ensuring product quality is a necessary condition for increasing the competitiveness of the enterprise and its products in the modern market space]. *Ekonomika, finansy, pravo*, no 9, pp. 11–14.
2. Rozhkov S. O. (2011) Metody i zasoby otsinky yakosti tkanyn u systemakh keruvannya tekstyl'nym vyrobnytstvom. [Methods and means of fabric quality assessment in textile production control systems]. Kherson: Oldi-Plus. 316 p. [in Ukrainian]
3. Khraplivyy A.P. (1990) Teoreticheskiye osnovy i praktika razrabotki sistem i sredstv kontrolya i upravleniya strukturnymi pokazatelyami tkaney [Theoretical foundations and practice of developing systems and means of control and management of structural indicators of fabrics] Doctor tech. sci.diss. 05.19.03; 05.13.07. Leningrad., 1990. 267 p.
4. Yedynovych M. B. (1999) Issledovaniye i razrabotka bezkontaktnoy sistemy kontrolya i upravleniya perekosom utka v tkanyakh. [Research and development of a non-contact system for monitoring and controlling weft distortion in fabrics]. Cand. tech. sci. diss: 05.13.07. Kherson, 1999. 133 p.
5. Horrocks A.R. (2000) Handbook of Technical Textiles.:Amsterdam: Elsevier, 532 p.
6. Begum S. (2022) Factors of Weave Estimation and the Effect of Weave Structure on Fabric Properties. *Fibers*, 10, 74. P. 115–137.
7. Beltsov V. M. (2000) Oborudovaniye tekstil'nykh otdelochnykh predpriyatiy [Equipment of textile finishing enterprises] St. Petersburg: SPbPGUTD. 568 p. [in Russian]
8. Poprug A. G. (1987) Issledovaniye i razrabotka sistemy avtomaticheskoy pravki utochnykh nitey razlichnogo vida tkaney. [Research and development of an automatic straightening system for weft threads of various types of fabrics] Cand. tech. Sci. diss. 05.13.03 Kherson. 1987. 105 p.

9. Backer S. (1948) The Relationship between the Structural Geometry of a Textile Fabric and Its Physical Properties I: Literature Review / Stanley Backer // Text. Res. J. Nov. C. 650–658.
10. Nosov M.P. (1976) Anizotropiya razryvnykh kharakteristik tkaney. [Anisotropy of tensile characteristics of fabrics]. Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.no5, pp. 10–12.
11. Penava Z., Šimić Penava D. (2014) Influence of anisotropy and yarn count on the modulus of elasticity of weft rib knitted fabric Zeljko Penava Diana Šimić Penava // Tekstil -Zagreb September, Pp. 25–36.
12. Method and instrument for determining the distortion angles in textile fabrics or similar whether fixed or in movement: Patent. no EP 1 182 448 A1, MKB G01N 21/898. 2002 EUROPEAN PATENT APPLICATION.
13. Richtmaschine für Schuss und Maschenreihen von Textilien: Patent FRG. no 2404582, D 06 H 3/12./ Epple Helmut; Mahlo KG. 1978.
14. Kyoto-machinery. Products. URL: <https://kyoto-machinery.com/en/products/> (date of application 05.10.2022).
15. Mahlo Products & Devices. Measurement and control solutions for industry. URL: «<https://www.mahlo.com/en/products/distortion-correction/details/weft-straightener-orthopac-rvmc.html>» (date of application 05.10.2022).
16. L.K. Tatotchenko, V.I. Kiselev, V.T. Pesnya (1985) Kontrol' tekhnologicheskikh parametrov tekstil'nykh materialov: metody, ustroystva [Control of technological parameters of textile materials: methods, devices]. M.: Legprombytizdat, 1985. 192 p.
17. M. Tokarska (2015) Anisotropy of the electrical properties of flat textiles. The Journal of The Textile Institute. Vol. 106, Issue 1. P. 9–18.

**В. О. ЗУБЕНКО**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри гідротехнічного будівництва,  
водної та електричної інженерії  
Херсонський державний аграрно-економічний університет  
ORCID: 0000-0002-8401-755X

**І. А. БЕРЕЗЮК**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації виробничих процесів  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-1903-8204

**І. В. ВОЛКОВ**

викладач кафедри автоматизації виробничих процесів  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-2331-1237

**Р. В. ТЕЛЮТА**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-4923-1227

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІТРОВОЮ ЕНЕРГІЄЮ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ КІРОВОГРАДСЬКОГО РЕГІОНУ

*Стан технічного обладнання електромереж та військова агресія стають причинами систематичних аварійних відключень, що ускладнює забезпечення енергетичних потреб споживачів. Особливо вразливими є фермерські господарства розподілені по території та віддалені від ліній централізованого енергопостачання. Одним з можливих варіантів вирішення цієї проблеми є використання відновлювальних джерел енергії. Перспективним варіантом є впровадження вітроенергоустановок.*

*На жаль їх використання стримується через малу кількість інформації, про вітровий потенціал обраного регіону. А дані з існуючих державних метеостанцій України не можуть служити надійною основою для прогнозу виробництва електроенергії через вітроенергетичні установки, оскільки їхня похибка зазвичай коливається від 40% до 70% та залежить від географічних умов, рельєфу та геометрії місцевості.*

*В якості досліджуваного об'єкту взято фермерське господарство розташоване у в Кіровоградському регіоні, центральній частині України.*

*Тому аналіз та розгляд можливостей впровадження вітроенергетики в цьому регіоні для потреб фермерських господарств, є основною метою досліджень.*

*Для вирішення поставленої мети, був здійснений: збір даних відносно вітрових швидкостей та напрямків; проаналізований енергетичний потенціал енергії вітру досліджуваного регіону; побудовані графіки залежності швидкості вітру та змодельовано роботу вітроустановки, для регіону, що досліджувався.*

*Загальний аналіз виявив, що географічні характеристики та кліматичні умови Кіровоградського регіону створюють сприятливі умови для успішного розвитку вітроенергетики. Застосування вітрогенераторів не лише гарантує стає та продуктивне джерело енергії для фермерських господарств у плані енергетичної самодостатності, але й сприяє природоохоронному виробництву.*

**Ключові слова:** відновлювальні джерела енергії, вітроустановка, фермерське господарство.

**V. O. ZUBENKO**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Hydraulic Construction,  
Water and Electrical Engineering  
Kherson State Agrarian and Economic University  
ORCID: 0000-0002-8401-755X

I. A. BEREZIUK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation of Production Processes  
Central Ukrainian National Technical University  
ORCID: 0000-0003-1903-8204

I. V. VOLKOV

Lecturer at the Department of Automation of Production Processes  
Central Ukrainian National Technical University  
ORCID: 0000-0002-2331-1237

R. V. TELIUTA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Electrical Engineering Systems  
and Energy Management  
Central Ukrainian National Technical University  
ORCID: 0000-0002-4923-1227

## ANALYSIS OF THE OPPORTUNITIES OF WIND ENERGY PROVIDING FOR FARMS IN KIROVOGRAD REGION

*The state of the technical equipment of power grids and military aggression cause systematic emergency outages, which makes it difficult to meet the energy needs of consumers. Farms distributed over the territory and remote from centralized power supply lines are particularly vulnerable. One possible solution to this problem is to use renewable energy sources. A promising option is the introduction of wind turbines.*

*Unfortunately, their usage is constrained by the lack of information about the wind potential of the selected region. And data from existing state weather stations in Ukraine cannot serve as a reliable basis for forecasting electricity production by means of wind turbines, as their error usually ranges from 40% to 70% and depends on geographical conditions, terrain and area geometry.*

*As a research object, a farm has been taken in the Kirovograd region, central Ukraine.*

*Therefore, the analysis and consideration of the possibilities of wind energy implementation in this region for the needs of farms is the main goal of the research.*

*To achieve this goal, the following have been done: data collection on wind speeds and directions; analysis of the energy potential of wind energy in the area under research; the graphs of wind speed dependence and modeling of wind turbine operation for the study area have been made.*

*The general analysis has revealed that the geographical characteristics and climatic conditions of the Kirovograd region create favorable conditions for the successful development of wind energy. The use of wind turbines not only guarantees a sustainable and productive source of energy for farms in terms of energy self-sufficiency, but also contributes to environmental production.*

**Key words:** *renewable energy sources, wind turbine, farming.*

### Постановка проблеми

Енергетична криза в Україні сьогодні є особливо гострою проблемою, зокрема в сільському господарстві та віддалених районах, які знаходяться далеко від централізованих мереж електропостачання [1, 2]. А надзвичайні ситуації в енергопостачанні, які виникають через технічний стан мереж та погіршені через воєнну агресію, призводять до частих аварійних відключень. Все це ускладнює можливість задоволення енергетичних потреб споживачів. Ця ситуація породжує низку викликів, таких як нестабільне електропостачання для фермерських господарств та об'єктів поза міською інфраструктурою. А також ставить під загрозу їхню продуктивність та може мати негативний вплив на врожай, його зберігання та переробку продукції.

Важливим кроком у вирішенні цієї проблеми є використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), які можуть забезпечити стабільне та надійне енергопостачання для сільських господарств, та зменшити залежність від централізованих мереж. Вибір конкретного ВДЕ може залежати від доступності цього джерела в конкретній місцевості. Адже при управлінні процесом енергопостачання необхідно точно визначати типи джерел енергії, їх кількість та потужність, щоб гарантувати задоволення енергетичних потреб споживача [2, 3]. Одним із перспективних варіантів використання альтернативної енергетики є вітрові турбіни, які можуть надавати стабільне джерело електроенергії, особливо в сільських районах.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні сьогодні набирає обертів використання вітряків малої потужності, які встановлюються фермерськими господарствами для власних потреб [4, 5, 7]. Невеликі вітроенергетичні установки (від 200 Вт до 20 кВт)



привабливі тим, що їх можна достатньо швидко встановити та вони оптимально підходять там, де немає інших джерел енергії, або коли підключення до існуючих мереж занадто дороге.

Відомо, що на ефективність генерації енергії вітроустановок впливає вітровий потенціал, який варіюється в залежності від географічних умов, рельєфу та геометрії місцевості. Якщо швидкість вітру спадає нижче мінімального порогу для генерації електроенергії, вітрогенератори можуть припинити свою роботу. З іншого боку, різке збільшення швидкості вітру може вимагати вимкнення вітрогенераторів для захисту обладнання. Загалом великі коливання швидкості вітру можуть призводити до значних змін у виробництві електроенергії, та ускладнити планування роботи і стабільність електромережі. Тому виникає необхідність у дослідженні вітрового потенціалу для конкретної місцевості, та визначенні потужності вітроустановок.

Нажаль, теоретичний аналіз літератури [4–7] та практичний досвід свідчать, що отримані від метеостанцій України дані про середньорічні швидкості вітру часто не можуть служити надійною основою для прогнозу виробництва електроенергії через вітроенергетичні установки, оскільки їхня похибка зазвичай коливається від 40% до 70%. Тому для вирішення цієї проблеми необхідно вирішити наступні задачі:

- зібрати дані відносно вітрових швидкостей та напрямків;
- проаналізувати енергетичний потенціал енергії вітру регіону, що досліджується;
- побудувати графіки залежності швидкості вітру;
- змодельовати роботу вітроустановки, для регіону, що досліджується.

Вирішення цих задач передбачає наявність точних даних щодо потенціалу вітроенергії в конкретній місцевості, та є важливим для визначення ефективних стратегій використання цього джерела енергії у контексті поточних енергетичних вимог.

#### **Формулювання мети дослідження**

Мета даного дослідження полягає у докладному аналізі та розгляді можливостей впровадження вітроенергетики в Кіровоградській області для потреб фермерських господарств.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Для визначення можливого потенціалу відновлювальних джерел за енергетичними потоками необхідно знати кількість енергії, що генерує вітроенергетична установка (ВЕУ) [5, 6]. Для цього потрібно мати інформацію щодо енергетичного потенціалу енергії вітру в місцевості, де розташоване фермерське господарство.

Для подальших досліджень, було взято фермерське господарство розташоване у в Кіровоградському регіоні, центральній частині України.

В роботі [5] наведено результати досліджень енергетичного потенціалу вітрової енергії для Кіровоградського регіону, та визначено імовірнісний розподіл швидкості вітру. Однак в нашому випадку цю інформацію неможливо використати, оскільки нам необхідна інформація про середньодобовий енергетичний потенціал швидкості вітру, а при дослідженнях в [5] використано дані зі швидкості вітру не за всю добу, а лише взято 6 значень часу (через кожні 4 години).

Тому виникла необхідність у проведенні додаткових експериментальних досліджень з вимірювання швидкості вітру. В якості приладу для вимірювання швидкості вітру найчастіше використовують анемометр.

Найбільш важливі загальні фактори [5, 6, 7], що впливають на точність оцінки енергії вітру є: густина атмосфери; висота розташування анемометру; вплив мікрорельєфу місцевості; вертикальна екстраполяція вітру. Вирішення поставленої задачі відбувалось наступним чином.

1. *Збір даних вітрових швидкостей та напрямків.* В нашому випадку для вимірювання швидкості вітру було використано цифрову погодну метеостанцію «Vantage Pro2™» (виробник Davis Instruments Corp., Каліфорнія, США). Для досліджень було використано дані зі швидкості вітру за 2021 рік. Анемометр встановлено на висоті 10 м.

В подальшому за допомогою методики [5] було оброблено статистичні дані та визначено середньодобовий вітроенергетичний потенціал в Кіровоградському регіоні.

2. *Побудова графіків залежності швидкості вітру.* Використавши накопичені статистичні дані, за допомогою програмного пакету Microsoft Excel було визначено середньодобову швидкість вітру в Кіровоградському регіоні за сезонами року.

З даного графіка видно, що максимальний вітроенергетичний потенціал в Кіровоградському регіоні становить: взимку – близько 4,5 м/с, весною – майже 5,7 м/с, влітку та восени – близько 5 м/с.

Отримані дані будуть використані для визначення потужності ВЕУ та моделювання її роботи.

3. *Моделювання роботи вітроустановки.* Технічні характеристики ВЕУ, які наводяться виробниками, не завжди дають змогу визначити кількість електроенергії, яку буде генерувати ВЕУ, особливо в умовах стохастичного характеру зміни вітрового потоку. Тому виникає необхідність розрахувати показники роботи конкретної ВЕУ з урахуванням метеорологічних умов конкретної місцевості.

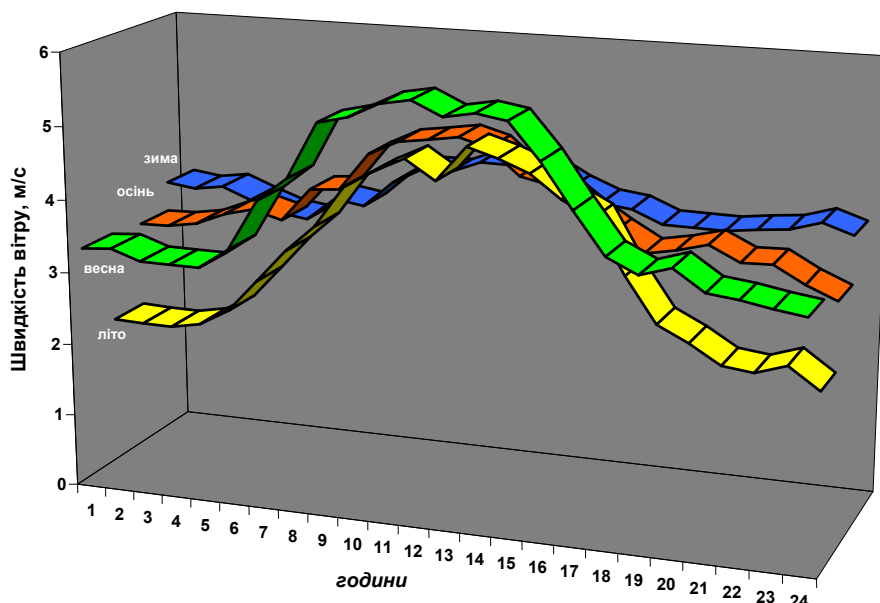


Рис. 1. Середньодобова швидкість вітру за сезонами року

Для забезпечення енергією від ВЕУ використовується WE-10000. Основні технічні характеристики цієї установки наведені в табл. 1.

В джерелах [4, 5] запропоновано методику визначення основних показників роботи горизонтально-осьової ВЕУ. Скористаємося даною методикою.

Таблиця 1

**Технічні характеристики ВЕУ WE – 10000**

Основні характеристики	
Номінальна потужність, Вт	10000
Номінальна напруга, В	240
Діаметр вітроколеса, м	5,6
Номінальна кількість обертів, об. / хв.	190
Кількість лопатей, шт.	3
Рекомендована висота щогли, м	12–21
Коефіцієнт використання енергії вітру	0,45
ККД генератора	0,85
Робочий діапазон швидкостей	
Стартова, м / с	2
Номінальна, м / с	12
Максимальна, м / с	60

Порядок розрахунку наступний.

1. Визначення швидкості вітру на висоті головки ВЕУ.

Зазвичай головки ВЕУ, розташовані на висоті від 5 до 50 м [5]. Збільшення енергетичного потенціалу з висотою пояснюється зростанням швидкості вітру, яка в приземному шарі змінюється за степеневим законом.

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha, \tag{1}$$

де  $\alpha$  – безрозмірний коефіцієнт степені, величина якого залежить від швидкості вітру, стійкості атмосфери та шорсткості поверхні.

З [5] відомо, що для Кіровоградського регіону  $\alpha = 0,2$ , стійкості атмосфери та шорсткості поверхні. Згідно даних виробника ВЕУ (див. табл. 1) висота щогли даної установки знаходиться в межах від 12 м до 21 м. При розрахунку будемо вважати, що головка ВЕУ розташована на висоті щогли  $h = 17$  м. За допомогою виразу (1) було розраховано швидкості вітру на висоті щогли ВЕУ, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика швидкості вітру на різних висотах

	Швидкість вітру V, м/с													
h=10 м	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
h=17 м	0	1,11	2,22	3,34	4,45	5,56	6,7	7,8	8,9	10	11,1	12,2	13,3	14,5

В подальших розрахунках будемо використовувати саме швидкість вітру на висоті щогли h = 17 м.

2. Визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку.

Енергетичний потенціал визначається згідно виразу:

$$N(V) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3, \tag{2}$$

де ρ – густина повітря, кг/м³; V – швидкість вітру, м/с. В середньому густина повітря становить ρ = 1,3 кг/м³, але вона відчутно залежить від температури та тиску.

Було отримано залежність енергетичного потенціалу вітрового потоку N(V) від швидкості вітру V, представлена на рис. 1.

Визначення потужності потоку РП, який проходить за 1 с через поперечний переріз, площею F.

Вона визначається за допомогою формули [5]:

$$P_{\Pi} = \frac{\rho \cdot F \cdot V^3}{2}, \tag{3}$$

де F = 24,6 м² – площа поверхні, яку обмітає ВК з радіусом R, м².

3. Визначення потужності горизонтально-осьової ВЕУ.

Потужність горизонтально-осьової ВЕУ розраховують за наступною формулою [5]:

$$P_{BEU} = \frac{1}{2} \cdot \eta \cdot \rho \cdot \xi \cdot F \cdot V^3, \tag{4}$$

де η – ККД генератора; ξ – коефіцієнт використання енергії вітру.

На рис. 2 наведено залежності потужності вітрового потоку Р<sub>П</sub> та потужності Р<sub>ВЕУ</sub> від швидкості вітру V.

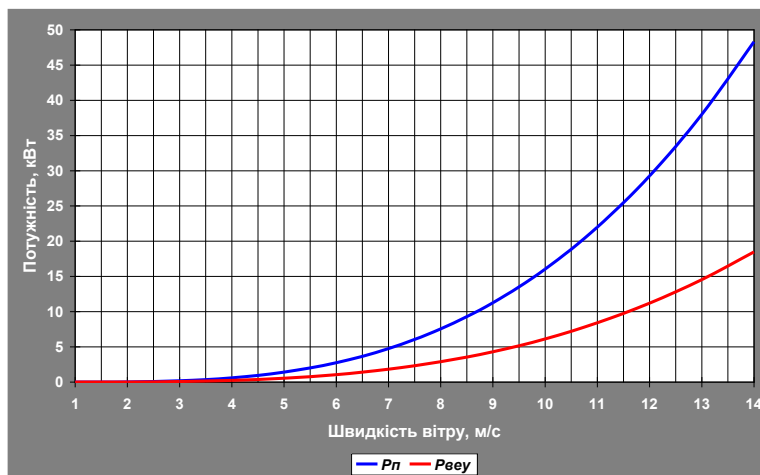


Рис. 2. Потужності вітрового потоку та вітроустановки від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

Крім того, для моделювання роботи ВЕУ необхідно знати середньодобову потужність установки. На рис. 3 наведено залежність середньодобової потужності ВЕУ WE-10000 за сезонами року в умовах Кіровоградського регіону.

З вигляду залежностей, наведених на рис. 3, можна сказати, що в умовах Кіровоградського регіону, де середня швидкість вітру становить майже 5 м/с, максимальна середньодобова потужність ВЕУ WE-10000 становить: взимку – близько 4 кВт, весною – майже 5,3 кВт, влітку та восени – приблизно 4,6 кВт. При цьому сумарна потужність ВЕУ WE-10000 становить: 85 кВт зимою, 95 кВт весною, 74 кВт літом та 86 кВт восени.

Отримані значення дозволять ефективно використовувати вітровий потенціал Кіровоградщини, та розробити інтелектуальні системи управління енергією. А при встановленні зв'язків між електроспоживанням та електропостачанням фермерського господарства впровадити ефективні системи їх енергозабезпечення.

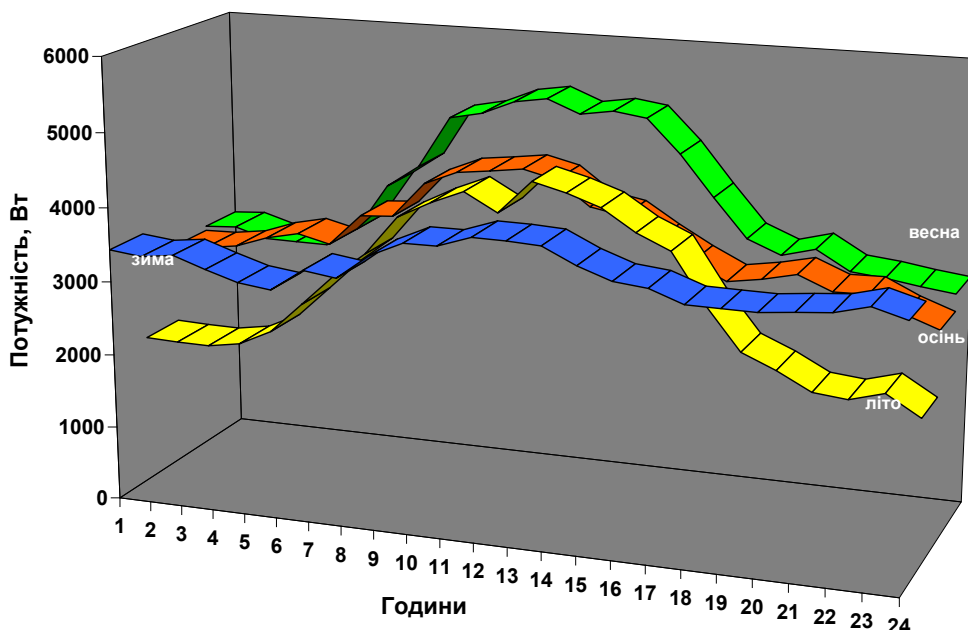


Рис. 3. Залежність потужності ВЕУ WE-10000 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні за сезонами року

#### Висновки

Отримані імовірнісні характеристики швидкості вітру та електричні потужності ВЕУ WE-10000 для кожного сезону року в Кіровоградському регіоні, можна використати для прогнозування постачання електроенергії в аграрному секторі, допомагаючи управляти ресурсами більш ефективно та економічно. Загалом, проведений аналіз показав, що географічне положення та кліматичні умови Кіровоградського регіону створюють сприятливий фундамент для розвитку вітроенергетики. А застосування вітрогенераторів може не лише забезпечити стає та ефективне джерело енергії для енергонезалежності фермерських господарств, але й сприяти екологічно чистому виробництву.

#### Список використаної літератури

1. Про альтернативні джерела енергії: Закон України № 555-IV від 20.02.2003 року (із змінами, внесеними згідно із Законом № 3220-IX від 30.06.2023/ Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 2009, № 13. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». / Верховна Рада України URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>
3. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.
4. Лебеза О.Н., Жесан Р. В., Голик О. П. Аналіз каналів передачі інформації для інтелектуальних систем енергопостачання майбутнього. *Перспективні напрямки розвитку сучасних інформаційних систем та технологій: матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції*. Кропивницький, 2021. С. 40.
5. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Частина I: навчальний посібник для здобувачів освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: О.П. Голик, Р.В. Жесан, І.В. Волков та ін. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020. 192 с.
6. Яснолоб І.О., Чайка Т.О., Горб О.О., Радіонова Я.В. Концептуальні засади ефективного функціонування енергетично незалежних сільських територій. *Економіка АПК*. 2019. № 3. С. 115–122.
7. Новітні енергетичні технології та їх вплив на функціонування систем енергопостачання : аналіт. доп. / О. М. Суходоля. Київ : НІСД, 2022. 36 с. URL : <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17>

#### References

1. Pro alternatyvni dzhерела enerhii :Zakon Ukrainy № 555-IV vid 20.02.2003 roku (iz zminamy, vneseny my zghidno iz Zakonom № 3220-IX vid 30.06.2023/ Verkhovna Rada Ukrainy. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*. 2009, № 13. [About alternative energy sources: Law of Ukraine № 555-IV 20.02.2003 (with changes introduced in accordance with

Law No. 3220-IX dated 06.30.2023 – *Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine*] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> [in Ukrainian]

2. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist» [Energy strategy of Ukraine for the period until 2035 «Security, energy efficiency, competitiveness»]\_ *Verkhovna Rada Ukrainy* URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf> [in Ukrainian]

3. Pravyla ulashtuvannia elektroustanovok. (2017). Vydannia ofitsiine. Minenerhovuhillia Ukrainy. Kh: Vydavnytstvo «Fort» [Rules for arranging electrical installations]. (2017). The publication is official. Ministry of Energy and Coal of Ukraine. Kh: Fort Publishing House. [in Ukrainian]

4. Leheza, O.N., Zhesan, R. V., Holyk, O. P. (2021) Analiz kanaliv peredachi informatsii dlia intelektualnykh system enerhopostachannia maibutnoho. [Analysis of information transmission channels for intelligent energy supply systems of the future]. Proceedings from «*Perspektyvni napriamky rozvytku suchasnykh informatsiinykh system ta tekhnologii: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi studentskoi konferentsii*» (p. 40). Kropyvnytskyi: CNTU [in Ukrainian]

5. Holyk, O.P., Zhesan, R.V., Volkov, I.V. (2020). *Enerhozberezhennia ta vykorystannia ponovliuvanykh dzherel enerhii. [Energy conservation and use of renewable energy sources] Chastyna I: navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv osvity za spetsialnistiu 141 «Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika»*. Kropyvnytskyi : Vydavets Lysenko V.F. [in Ukrainian]

6. Yasnolob, I.O., Chaika, T.O., Horb, O.O., Radionova, Ya.V. (2019). Kontseptualni zasady efektyvnoho funktsionuvannia enerhetychno nezaleznykh silskykh terytorii. [Conceptual principles of effective functioning of energy-independent rural areas] *Ekonomika APK*. № 3.(pp. 115–122). Retrieved from <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201903115> [in Ukrainian]

7. Novitni enerhetychni tekhnologii ta yikh vplyv na funktsionuvannia system enerhopostachannia [The latest energy technologies and their impact on the functioning of energy supply systems].(2022). Kyiv: NISD. Retrieved from <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.17> [in Ukrainian]

**S. I. KUZNIETSOV**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of General Educational Humanities  
and Natural Sciences  
Sections of Chemistry, Ecology and Life Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-1766-931X

**O. O. VENHER**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Acting Head of the Department of General Educational Humanities  
and Natural Sciences  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-0065-0375

**V. M. BEZPALCHENKO**

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of General Educational Humanities  
and Natural Sciences  
Sections of Chemistry, Ecology and Life 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 General Educational Humanities  
and Natural Sciences  
Sections of Chemistry, Ecology and Life Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-1251-2711

**E. S. IVKINA**

Student at the Faculty of Information Technologies and Design  
Kherson National Technical University

## EFFICIENCY OF LIQUID OXIDIZERS FOR PURIFICATION OF INDUSTRIAL WASTE GASES FROM NITROGEN OXIDES

*Nitrogen oxides are among the most common and dangerous air pollutants on our planet. Exhaust gases, which include nitrogen oxides, are produced in a number of chemical industry productions, in oil refining processes, during the burning of various types of fuel at high temperatures. The work describes the study of the effectiveness of liquid oxidizers for the intensification of the processes of cleaning industrial gases from nitrogen oxides.  $H_2O_2$ ,  $KMnO_4$ ,  $KBrO_3$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $Na_2CrO_4$ ,  $(NH_4)_2Cr_2O_7$ ,  $NaOCl$ , which are of theoretical and practical interest, were studied as oxidants. To establish the principle possibility of oxidation of nitrogen oxide (II) by oxidants, thermodynamic parameters were calculated. Determination of the rate of oxidation and absorption of nitrogen oxides was carried out on an experimental device. The effect of the concentration of oxidants, temperature, and pH on oxidation processes was studied in the paper. It was found that increasing the concentration of the investigated oxidants accelerates the oxidation and absorption reactions of nitrogen oxide (II). It was established that an increase in temperature accelerates the oxidation processes in the liquid phase in contrast to oxidation in the gas phase. Aqueous solutions of potassium bromate, hydrogen peroxide, and potassium permanganate were found to be the most active of the investigated oxidants in relation to nitrogen oxide (II). Research was conducted by the method of full factorial experiment. As a result and processing of experimental data received kinetic equations of nitrogen oxide (II) oxidation liquid oxidizers depending on the concentration of liquid oxidizers, temperatures, etc and pH of the environment.*

**Key words:** purification of waste gases, oxidation of nitrogen oxides, liquid oxidizers, kinetics of oxidation.

**С. І. КУЗНЕЦОВ**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін  
секції хімії, екології та безпеки життєдіяльності  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-1766-931X

О. О. ВЕНГЕР

кандидат технічних наук, доцент,  
в.о. кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-0065-0375

В. М. БЕЗПАЛЬЧЕНКО

кандидат хімічних наук, доцент,  
доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін  
секції хімії, екології та безпеки життєдіяльності  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-1355-7938

О. О. СЕМЕНЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри загальноосвітніх гуманітарних та природничих дисциплін  
секції хімії, екології та безпеки життєдіяльності  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-1251-2711

Є. С. ІВКІНА

студентка факультету інформаційних технологій та дизайну  
Херсонський національний технічний університет

## ЕФЕКТИВНІСТЬ РІДКИХ ОКИСНИКІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ВІД ОКСИДІВ НІТРОГЕНУ

*Оксиди нітрогену відносяться до найпоширеніших і небезпечних забруднювачів повітря на нашій планеті. Відхідні гази, до складу яких входять оксиди нітрогену, утворюються у ряді виробництв хімічної промисловості, в процесах нафтопереробки, при спалюванні різних видів палива при великих температурах. Окисні методи санітарного очищення газів від оксидів азоту засновані на попередньому окисненні оксиду азоту (II) з подальшим поглинанням оксидів азоту (IV) та (III) різними поглиначами. В роботі описано дослідження ефективності рідких окисників для інтенсифікації процесів очищення промислових газів від оксидів нітрогену. В якості окисників досліджували  $H_2O_2$ ,  $KMnO_4$ ,  $KBrO_3$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $Na_2CrO_4$ ,  $(NH_4)_2Cr_2O_7$ ,  $NaOCl$ , які представляють теоретичний і практичний інтерес. Для встановлення принципової можливості окиснення оксиду нітрогену (II) рідкими окисниками проведено розрахунок термодинамічних параметрів. Визначення швидкості окиснення і абсорбції оксидів нітрогену здійснювалося на експериментальному пристрої. В роботі досліджено вплив концентрації окисників, температури і рН на процеси окиснення. Виявлено, що збільшення концентрації досліджуваних окисників пришвидшує реакції окиснення і абсорбції оксиду нітрогену (II). Встановлено, що збільшення температури пришвидшує процеси окиснення в рідкій фазі на відміну від окиснення в газовій фазі. Найбільш активними з досліджуваних окисників по відношенню до оксиду нітрогену (II) виявили водні розчини калій бромату, гідроген пероксиду та калій перманганату. В результаті аналізу експериментальних даних отримані кінетичні рівняння окиснення оксиду нітрогену (II) рідкими окисниками в залежності від концентрації рідких окисників, температури і рН середовища.*

**Ключові слова:** очищення відхідних газів, окиснення оксидів нітрогену, рідкі окиснювачі, кінетика окиснення.

### Statement of the problem

The main sources of atmospheric pollution are: natural, artificial, mechanical and chemical pollutants. Chemical pollutants include dusty or gaseous substances capable of chemical reactions. Pollution of the Earth's atmosphere or pollution occurs when harmful or excessive amounts of substances, including gases (such as carbon dioxide, carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxides, methane, and chlorofluorocarbons) enter the Earth's atmosphere [1]. Air pollution can be caused by both human activity and natural processes. At present, the effect on humans of the majority of harmful substances present in atmospheric air has been studied. On the basis of this, the limit-permissible concentrations (LPC) for a number of the most common pollutants are established [2, 3].

Visual evidence of the influence of atmospheric air pollution on human health is provided by statistical data on mass diseases of the population in large industrial cities and cases of catastrophic consequences caused by atmospheric pollution [4].

Nitrogen oxides occupy a special place among more than four and a half thousand pollutants existing today and included in the database. Nitrogen oxides are among the most widespread and dangerous air pollutants on our planet. Exhaust gases, which include nitrogen oxides, are formed in a number of chemical industries, in oil refining processes, when burning different types of fuel at high temperatures.

**Analysis of the latest research and publications**

Sources of emissions of nitrogen oxides into the atmosphere differ in the amount of exhaust gases, the content of nitrogen oxides and other impurities in them, the degree of oxidation of nitrogen oxide (II) NO, temperature, pressure, etc. The authors implemented a classification of methods of sanitary cleaning of industrial gases from nitrogen oxides. According to the proposed classification, the developed methods of cleaning gases from nitrogen oxides are divided into four classes: oxidative, reducing, sorption and other methods [5–9]. Each class is divided into four groups, each group combines a number of cleaning methods of the same type.

The advantage of the proposed classification is that all existing and developed methods of sanitary gas purification from nitrogen oxides fit into its scheme. Nitric oxide (II) does not dissolve in liquids, so it is necessary to pre-oxidize it. The resulting products dissolve in liquids, which are later used for cleaning industrial gases.

**Absorption methods** are a process of selective gas absorption by a liquid. Two phases are involved in absorption processes – liquid and gas. At the same time, the transition of the substance from the gas phase to the liquid phase (during absorption) or, conversely, from the liquid phase to the gas phase (during desorption) occurs. Thus, absorption processes are one of the types of mass transfer.

At the basis of absorption are the diffusion processes of the transition of a substance from the gaseous phase to the liquid through the phase interface. The driving force of absorption is the difference between the initial and equilibrium pressures of the interacting components:

$$\Delta P_{cp} = \frac{(P'_z - P''_z) - (P'_p - P''_p)}{2.3 \lg \frac{P'_z - P'_p}{P''_z - P''_p}}, \tag{1}$$

where  $P'_z, P''_z$  partial pressures of the absorbed component in the gas phase at the entrance to the apparatus and at the exit from the apparatus;  $P'_p, P''_p$  equilibrium partial pressures of the absorbed component above the liquid.

Absorption occurs only if the partial pressure of the absorbed component in the gas phase is greater than the equilibrium partial pressure of the same component above the given solution. The greater the difference between these pressures, the greater the driving force of the process and the faster absorption occurs.

The limit state of the system is the achievement of equilibrium, that is, a state where only reversible processes can occur in it.

Physical absorption and chemisorption are distinguished. During physical absorption, the gas is held in the liquid only due to mechanical (physical) bonds and it is not accompanied by a chemical reaction, while during chemisorption, a chemical reaction occurs between the components.

**Oxidation methods** of sanitary cleaning of gases from nitrogen oxides are based on the preliminary oxidation of nitrogen oxide (II) with subsequent absorption of nitrogen oxides (IV) and (III) (NO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) by various absorbers [10]. The stage that limits the overall process is the rate of oxidation of nitrogen oxide (II) to nitrogen oxide (IV). Since this reaction takes place in the gas phase, the absorption apparatus must have a sufficiently large free volume, so the absorption process is carried out in multi-stage packed or plate columns. In experiments on the absorption of nitrogen oxides by various liquid absorbers, the degree of absorption was 80–90%. In the process of absorption, nitrogen oxides are oxidized not only in a gaseous but also in a liquid environment. In [10] studies were directed to the intensification of the process of oxidation of nitrogen oxide (II) in the liquid phase. The work compared the rates of NO oxidation in the gas and liquid phases. The industry uses the method of homogeneous oxidation of NO in the gas phase with the help of oxygen. However, as practice shows, at low concentrations of NO, the rate of homogeneous oxidation of nitrogen oxides is extremely low.

One of the methods of intensification of the process of absorption of nitrogen oxides is the oxidation of nitrogen monoxide by oxidants stronger than oxygen, for example, ozone or an ozone-oxygen mixture [10]. However, the use of ozone is impractical due to the low efficiency and high cost of ozone. Studies with the introduction of ozone into the liquid phase showed that in this case ozone acts not only as an oxidizer, but also as a catalyst, which increases the degree of oxidation of nitrogen oxide (II) and the relative rate of absorption by one and a half times. When nitrogen oxides are absorbed by nitric acid, regardless of its initial concentration, the introduction of a small amount of ozone into the liquid phase increases the speed of the absorption process and the degree of oxidation (Table 1).

Table 1

**Effect of ozone in the liquid phase on the oxidation of nitrogen oxide (II)**

	The maximum concentration of the resulting HNO <sub>3</sub> , %	Relative rate of absorption
Without ozone	53	1.0
With ozone in the liquid phase (0.16%)	60	1.5



Intensification of the process of homogeneous oxidation of nitrogen oxides in the liquid phase by gaseous oxidants (oxygen or ozone) is associated with the diffusion of oxidants into the liquid phase. Diffusion of oxygen into the solution is the slowest stage of homogeneous oxidation of nitrogen oxides in the liquid phase, and therefore it controls the entire process.

The rate of diffusion of gaseous oxidizers into the liquid phase depends on many factors: temperature, pressure, concentration of components, turbulence of flows, etc. To increase the rate of homogeneous oxidation of NO in the liquid phase, it is necessary to influence the system by changing one or more of the listed parameters.

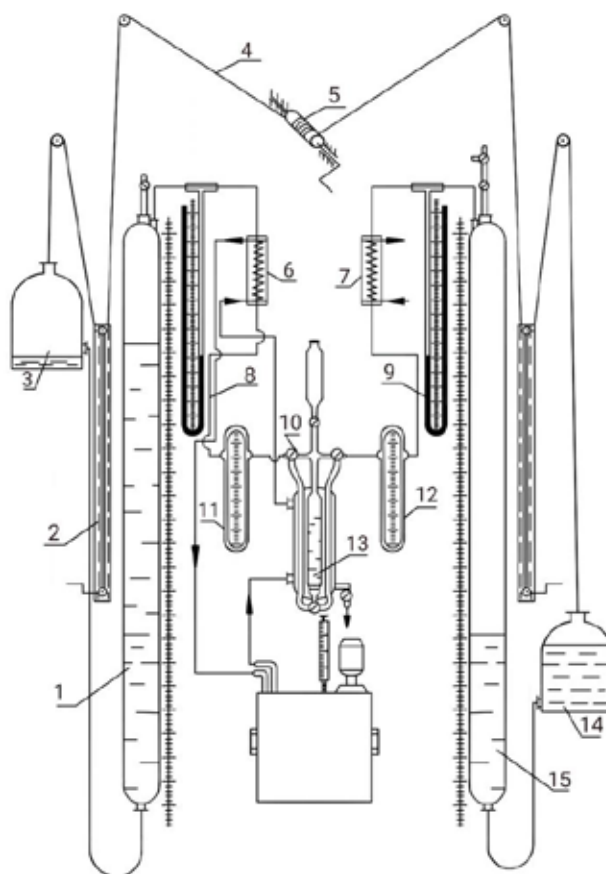
**The purpose of the work is** to study the effectiveness of liquid oxidizers for the intensification of the process of purification of industrial gases from nitrogen oxides.

NO oxidation reaction can be increased if it is carried out in the liquid phase with the help of liquid oxidizers. In this case, the oxidizers are in the liquid phase, and the rate of the NO oxidation reaction will not depend on the rate of diffusion of the oxidizers into the solution. Thus, the slowest stage of the process is eliminated. A number of liquid oxidizing agents are known, which are superior in their activity to oxygen. These include aqueous solutions of  $H_2O_2$ ,  $KMnO_4$ ,  $KBrO_3$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $(NH_4)_2Cr_2O_7$ ,  $Na_2CrO_4$ ,  $KClO_4$ ,  $NaClO_2$ ,  $K_2S_2O_3$ ,  $(NH_4)_2S_2O_8$ ,  $NH_4ClO_4$ ,  $K_2Cl_2O_7$ ,  $K_2S_2O_7$ ,  $HNO_3$ . Some of these oxidizers are of theoretical and practical interest for the process of oxidation of nitrogen oxide (II) for the purpose of sanitary gas purification. To study the NO oxidation process, the following liquid oxidizers were taken:  $H_2O_2$ ,  $KMnO_4$ ,  $KBrO_3$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $Na_2CrO_4$ ,  $(NH_4)_2Cr_2O_7$ ,  $NaOCl$ ,  $HNO_3$ , and aqua regia.

To find out the principle possibility of interaction of nitrogen oxides with the listed liquid oxidants, thermodynamic parameters were calculated.

Analysis of the results of thermodynamic calculations of  $\Delta H^\circ$  and  $\Delta S^\circ$  indicates the principle possibility of the process of oxidation of nitrogen oxide by liquid oxidizers. The greater the numerical value of the equilibrium constant and the decrease in enthalpy, the more complete the reaction can proceed in the forward direction. Large values of equilibrium constants allow us to conclude that these reactions proceed almost to the end.

The experimental determination of the rate of oxidation and absorption of nitrogen oxides was carried out on a mechanized experimental setup, the scheme of which is shown in Figure 1.



**Fig. 1. Scheme of the installation for determining the rate of chemical reaction between gas and liquid:**  
 1, 15 gas burettes, 2 pressure compensators, 3, 14 equalizing cups, 4, 5 winches, 6, 7 refrigerators,  
 8, 9 manometers, 10 three-way faucet, 11, 12 rheometers, 13 absorbing vessel

The installation is mounted on a metal frame and contains a thermostatically controlled absorption vessel 13, two gas burettes 1, 15, two manometers 8, 9, two rheometers 11, 12, and two refrigerators 6 and 7. The gas burettes are equipped with equalizing glasses 3 and 14, operated with the help of a common thrust 4 with a winch 5. To maintain a constant pressure during research, pressure compensators are provided in the installation 2. The installation works as follows. The gas under investigation, in this case nitrogen oxide (II), and the absorbing solution (liquid oxidizer), the amount of which has been precisely measured in advance, are drawn into the gas burette 1 and the absorbing vessel 13, respectively. When the winch 5 is rotated clockwise due to the change liquid level in gas burettes a pressure drop occurs

$$\Delta P = P_1 - (-P_2),$$

where  $P_1$  and  $P_2$  respectively, initial and final pressure in gas burettes.

When  $\Delta P$  exceeds the resistance of the liquid column in the absorption vessel 13 ( $\Delta P > H$ ), gas from burette 1 will move to burette 15, passing through the absorbing solution in vessel 13. Gas movement will continue until burette 1 is completely filled with water. Having changed the direction of rotation of the winch counterclockwise and turned the three-way valve 10, the gas from the burette 15 through the absorption vessel 13 is again returned to the burette 1. When the gas passes through the absorption vessel, oxidation and absorption of nitrogen oxide (II) occurs, as a result of which the volume of gas in burettes decreases. By changing the volume of gas at any moment of time, which is fixed with the help of instruments, it is possible to determine the amount of oxidized absorbed of nitrogen oxide (II).

The need to create such an installation is due to the fact that in existing devices of this type, gas absorption is accompanied by a simultaneous change in pressure in the system, and the research conditions at the beginning and end of the experiment were not the same. In addition, the gas came into contact with the liquid by shaking the absorbent vessel, which reduced the accuracy and reliability of the experiment. The vacuum formed in the system due to gas absorption is eliminated with the help of pressure compensators 2. By passing gas at a constant rate, which is controlled by rheometers, it is possible to quickly and accurately determine the kinetics of the process and the full absorption capacity of the tested solution.

The rate of oxidation and absorption of nitrogen oxide (II) was determined by the formula:

$$U = \frac{\Delta V_i}{V_p \cdot 22.4 \cdot \tau}, \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \quad (2)$$

where  $\Delta V_i$  – the volume of gas absorbed by the solution during the time interval  $\tau$ ,  $\text{dm}^3$ ;  $V_p$  - volume of absorbing solution,  $\text{dm}^3$ ;  $\tau_i$  – experiment time, s.

The total absorption capacity of the oxidizer was determined by formula 3:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_i}{V_p}, \text{ dm}^3 / \text{ dm}^3 \quad (3)$$

As the concentration of oxidants increases, the rate of oxidation reaction and absorption of nitrogen oxide (II) increases for all oxidants. Thus, the reaction rate of oxidation and absorption of N by a solution with a mass fraction of hydrogen peroxide of 3% is  $200 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$ , which is 2.14 times more than for a solution with a mass fraction of hydrogen peroxide of 1% ( $97 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$ ). A similar increase in the reaction rate is also observed for other oxidants.

Unlike oxidation in the gas phase, the rate of oxidation by liquid oxidants also increases with increasing temperature. The positive temperature coefficient of the reaction is explained by the fact that in the process of oxidation of NO in the liquid phase, there is no intermediate reaction of dimer formation of  $\text{N}_2\text{O}_2$ , which with increasing temperature shifts to the left, towards the decomposition of  $\text{N}_2\text{O}_2$  and controls the overall process of oxidation of NO.

An important role is played by the fact that with increasing temperature, the rate of decomposition of liquid oxidants increases with the release of atomic oxygen and active oxygen-containing ions or radicals, which oxidize nitrogen oxide at a high rate. The high oxidizing power of atomic oxygen, oxygen-containing radicals and ions is observed only at the «moment of release», after which they lose their activity. Here it should be taken into account that some oxidation reactions are liquid oxidizers proceed quickly enough even at room temperature. An increase in temperature in this case leads to rapid decomposition of the oxidizer. The released atomic oxygen and other active compounds do not have time to react with nitrogen oxide in the liquid phase, and, passing into the gas phase, lose their activity.

The described regularity applies, first of all, to the oxidizing agent  $\text{KBrO}_3$ , where an increase in temperature leads to a decrease in the reaction rate. For all other oxidizers tested, the increase in temperature was invariably accompanied by an increase in the oxidation rate of NO.

On the basis of conducted studies under standard conditions, a range of activity of liquid oxidizers has been established, which decreases in the following sequence:



The reaction rate coefficients for aqueous solutions with a mass fraction of reduced oxidants of 3% respectively have the following values,  $\text{mol/l} \cdot \text{s}$ :

$$620 \cdot 10^{-6} > 365 \cdot 10^{-6} > 338 \cdot 10^{-6} > 204 \cdot 10^{-6} > 60 \cdot 10^{-6} > 30 \cdot 10^{-6}$$

The given data show that the oxidizing power of various liquid oxidizers differs significantly. An aqueous solution of potassium bromate ( $\text{KBrO}_3$ ) turned out to be the most active of the tested oxidants in relation to NO. Potassium permanganate has somewhat less oxidative activity than  $\text{KMnO}_4$  and hydrogen peroxide  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Other liquid oxidizers oxidize NO at a rate insufficient for practical purposes. Such a strong oxidizer as perchloric acid  $\text{HClO}_4$  in the given conditions interacts with NO at a very low rate.

Oxidizing potentials of solutions do not always correctly characterize the oxidizing ability of solutions to oxidize NO. Therefore, oxidation potentials cannot serve as a measure of the kinetic ability of liquid oxidants in the reaction with NO. The maximum oxidation potential, for example, is possessed by the  $\text{H}_2\text{O}_2$  solution, and the maximum rate of oxidation of the solution  $\text{KBrO}_3$ . The influence of the concentration, temperature, and pH of the medium on the rate of oxidation by liquid oxidizing agents of nitrogen oxide (II) was studied. Research was conducted by the method of full factorial experiment.

As a result of the processing of experimental data, kinetic equations describing the rate of oxidation of NO by liquid oxidizers depending on the concentration of solutions, temperature, and pH of the medium were obtained. These equations have the form:

– for potassium bromate  $\text{KBrO}_3$

$$U_{\text{KBrO}_3} = -[432,65 + 76,25C_{\text{KBrO}_3} - 4,437t + 4,17pH] \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}; \quad (4)$$

– for potassium permanganate  $\text{KMnO}_4$

$$U_{\text{KMnO}_4} = [137,5 + 64,75C_{\text{KMnO}_4} + 1,137t + 2,833pH] \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \quad (5)$$

– for hydrogen peroxide  $\text{H}_2\text{O}_2$

$$U_{\text{H}_2\text{O}_2} = [29,99 + 176,25C_{\text{H}_2\text{O}_2} + 183,75t + 69,99pH] \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \quad (6)$$

### Conclusions

As a result of research:

- the influence of the concentration, temperature, and pH of the medium of liquid oxidizers on the rate of oxidation of nitrogen oxides was studied;
- the range of activity of liquid oxidizers is established. Oxidizers were selected taking into account the fact that the reaction products must be non-toxic and can be discharged into the sewer without additional neutralization, or can be repeatedly used in the cleaning cycle;
- the most effective oxidizers are defined.

### Bibliography

1. Бекетов В. Є., Євтухова Г. П. Джерела та процеси забруднення атмосфери. Харків : ХНУМГ ім. О. Н. Бекетова, 2019. 113 с.
2. Наказ МОЗ України № 1596 від 14.07.2020 Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE35024Z?an=2> (дата звернення: 09.12.2023).
3. Наказ МОЗ України № 52 від 14.01.2020 Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. URL: [https://zakononline.com.ua/documents/show/483794\\_\\_734308](https://zakononline.com.ua/documents/show/483794__734308). (дата звернення: 09.12.2023).
4. Разанов С.Ф., Ткачук О.П. Порівняльний аналіз викидів забруднюючих речовин у повітря традиційними енергоносіями та різними видами біопалива / Сільське господарство та лісівництво. – 2015. № 1. С. 152–160.
5. Kuznietsov S.I., Maljejev V.O., Semenchenko O. O., Bezpalchenko V. M. Thermal conversion of nitrogen oxides in a flow reducing gas. Ecological sciences: K.: Publishing House &quot;Helvetika&quot;, 2021. № 6 (39). P. 77–81.
6. Промислові технології та очищення технологічних і вентиляційних викидів: навч. посіб. / Ю. С. Юркевич, О. Т. Возняк, В. М. Желих ; МОНМС України, НУ «Львівська Політехніка». 2012. 120 с.
7. Вязовик В.М., Коржик Л.В., Столяренко Г.С. Технології очищення газів. Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С.Г. 2010. 308 с.
8. Ратушняк Г.С., Лялюк О. Г. Засоби очищення газових викидів. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. 207 с.
9. Крусір Г. В., Мадані М. М., Гаркович О. Л. Техніка та технології очищення газових викидів. Одеса: ОНА-ХТОдеса, 2017. 207 с.
10. Kuznietsov S. I., Venher O. A., Bezpalchenko V. M., Semenchenko O. O., Ivkina E. S. Oxidation of nitrogen oxides by oxygen in the liquid phase. Visnyk KNTU, 2023. № 3(86). P. 27–32.

## References

1. Beketov, V. E., & Yevtukhova, H. P. (2019). *Dzherela ta protsesy zabrudnennia atmosfery [Sources and processes of atmospheric pollution]*. Kharkiv : KhNUMH im. O. N. Beketova. [in Ukrainian].
2. Nakaz MOZ Ukrainy № 1596 vid 14.07.2020 Pro zatverdzhennia hihienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn u povitri robochoi zony. [Order of the Ministry of Health of Ukraine № 1596 dated 14.07.2020 On the approval of hygienic regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the air of the working area] *data zvernennia: 09.12.2023* Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/RE35024Z?an=2> [in Ukrainian].
3. Nakaz MOZ Ukrainy № 52 vid 14.01.2020 Pro zatverdzhennia hihienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosfernomu povitri naselenykh mistiv [Order of the Ministry of Health of Ukraine №. 52 dated 14.01.2020 On the approval of hygienic regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the atmospheric air of populated areas]. Retrieved from [https://zakononline.com.ua/documents/show/483794\\_\\_734308](https://zakononline.com.ua/documents/show/483794__734308) [in Ukrainian].
4. Razanov, S.F., & Tkachuk, O.P. (2015) Porivnialnyi analiz vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn u povitria tradytsiinymy enerhonosiiamy ta riznymy vydamy biopalyva [Comparative analysis of emissions of pollutants into the air by traditional energy carriers and different types of biofuels] *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 1, 152–160 [in Ukrainian].
5. Kuznietsov S.I., Maljejev V.O., Semenchenko O. O., Bezpachenko V. M. Thermal conversion of nitrogenoxides in a flow reducing gas. *Ecological sciences: K.: Publishing House "Helvetika"*, 2021. № 6 (39). P. 77–81.
6. Yurkevych, Yu. S., Vozniak, O. T., & Zhelykh V. M. (2012). Promyslovi tekhnologii ta ochyshchennia tekhnolohichnykh i ventyliatsiinnykh vykydiv [Industrial technologies and cleaning of technological and ventilation emissions] *MONMS Ukrainy, NU «Lvivska Politehnika»* [in Ukrainian].
7. Viazovyk, V. M., Korzhyk, L. V., & Stoliarenko, H.S. (2010). *Tekhnologii ochyshchennia haziv [Gas purification technologies]*. – Cherkasy: Vertykal, vydavets Kandych S.H. [in Ukrainian].
8. Ratushniak, H. S., & Lialiuk, O. H. (2008). *Zasoby ochyshchennia hazovykh vykydiv [Means for cleaning gas emissions]*. Vinnytsia : UNIVERSUM–Vinnytsia [in Ukrainian].
9. Krusir, H. V., Madani, M. M., & Harkovych, O. L. (2017). *Tekhnika ta tekhnologii ochyshchennia hazovykh vykydiv [Techniques and technologies for cleaning gas emissions]*. Odesa: ONAKhT-Odesa [in Ukrainian].
10. Kuznietsov S. I., Venher O. A., Bezpachenko V. M., Semenchenko O. O., Ivkina E. S. Oxidation of nitrogen oxides by oxygen in the liquid phase. *Visnyk KNTU, 2023. № 3(86). P. 27–32.*

УДК 004.896

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.9>**О. М. КУЧКІН**

аспірант кафедри технічних та програмних засобів автоматизації  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0009-0004-3287-0948

**А. Ю. САЗОНОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технічних та програмних засобів автоматизації  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-7124-5863

**М. В. ЛУКІНЮК**

старший викладач кафедри технічних та програмних засобів автоматизації  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-6923-9501

**І. Ю. ЧЕРЕПАНСЬКА**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0003-0741-7194

## ЩОДО АНАЛІЗУ СТРАТЕГІЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВ ЗА РАХУНОК ІНТЕГРАЦІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

*Сучасна промисловість переживає активний розвиток завдяки використанню передових технологій та інноваційних підходів. Один з ключових способів підвищення продуктивності та конкурентоспроможності підприємств полягає в інтеграції мобільних роботів у виробничий процес з метою зменшення людської участі та навіть її повного виключення. Цей підхід становить важливий елемент концепції Industry 4.0. Стаття пропонує узагальнити сучасні підходи та стратегії автоматизації промислових виробництв з метою визначення ролі мобільних роботів у підвищенні ефективності цих процесів. Для розуміння задач та проблем сучасної автоматизації було визначено основні цілі дослідження, включаючи аналіз поточного стану та перспектив інтеграції мобільних роботів у виробничий процес, аналіз їх ефективності та важливості для сучасної промисловості, а також визначення напрямків подальших досліджень і розвитку цієї сфери.*

*За результатами аналізу поточного стану інтеграції мобільних роботів у виробничий процес на основі конкретних прикладів, виділено фактори, що визначають успіх цього підходу. Серед них варто відзначити технічну надійність роботів, їхню здатність адаптуватися до різноманітних виробничих умов, а також взаємодію та співпрацю з людським персоналом.*

*Процес адаптації та навчання персоналу використовувати нові технології є ключовим етапом впровадження мобільних роботів. Також слід враховувати аспекти етики та безпеки, оскільки взаємодія між роботами та людьми вимагає узгоджених стандартів для запобігання можливим ризикам та непорозумінням. Проведені дослідження вказують на актуальність використання мобільних роботів у сучасних виробництвах і визначають завдання, які перед ними стоять. Головний акцент робиться на підвищенні продуктивності та сталості виробничих процесів. У контексті Industry 4.0, мобільні роботи відображають актуальність дослідження та інтеграцію передових технологій для досягнення необхідної якості та ефективності виробництва.*

**Ключові слова:** мобільні роботи, автоматизовані виробництва, Індустрія 4.0, автоматизації, стратегії підвищення ефективності, безпілотний літальний апарат (БПЛА).

**О. М. KUCHKIN**

Postgraduate Student at the Department of Automation Hardware and Software  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0009-0004-3287-0948

A. YU. SAZONOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Automation Hardware and Software  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-7124-5863

M. V. LUKINIUK

Senior Lecturer at the Department of Automation Hardware and Software  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-6923-9501

I. YU. CHEREPANSKA

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Automation and Non-Destructive Testing Systems  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0003-0741-7194

## ANALYZING STRATEGIES OF THE PRODUCTION EFFICIENCY ENHANCEMENT BY MOBILE ROBOTS INTEGRATION

*The contemporary industry is undergoing active development due to the utilization of advanced technologies and innovative approaches. One of the key methods to enhance productivity and competitiveness of enterprises involves the integration of mobile robots into the manufacturing processes, aiming to reduce human involvement or even exclude it entirely. This approach constitutes a crucial element of the Industry 4.0 concept. The article seeks to synthesize modern approaches and strategies for automating industrial production to determine the role of mobile robots in enhancing the efficiency of these processes. To comprehend the tasks and challenges of contemporary automation, the research defines primary objectives, including an analysis of the current state and prospects of integrating mobile robots into the production process, an assessment of their effectiveness, and their significance for modern industry. Furthermore, the study identifies directions for further research and development in this field. The analysis of the current state of mobile robot integration into the production process, based on specific examples, reveals factors determining the success of this approach. Among these factors, noteworthy are the technical reliability of robots, their ability to adapt to diverse manufacturing conditions, and their interaction and collaboration with human personnel. The process of adapting and educating personnel to use new technologies is a pivotal stage in the implementation of mobile robots. Ethical and safety aspects also need consideration, as the interaction between robots and humans requires coordinated standards to prevent potential risks and misunderstandings. Conducted research underscores the relevance of utilizing mobile robots in contemporary manufacturing and outlines the tasks ahead of them. The primary emphasis is on improving the productivity and sustainability of production processes. In the context of Industry 4.0, mobile robots highlight the significance of research and integration of advanced technologies to achieve the necessary quality and efficiency in production.*

**Key words:** Mobile Robots, Automated Manufacturing, Automation, Industry 4.0, Efficiency Enhancement Strategies, Unmanned Aerial Vehicles (UAV).

### Постановка проблеми

Сучасна промисловість переживає період інтенсивного розвитку та трансформації завдяки використанню передових технологій та інноваційних підходів за для підвищення ефективності та конкурентоспроможності виробництва [1]. Однією з ключових стратегій, для досягнення вказаного є якомога глибша інтеграція мобільних роботів у виробничий процес, для зменшення участі людини, а де можливо, її повного виключення із процесу виробництва. Такий підхід є ключовим у концепції Industry 4.0 [2] і направлений на підвищенню рівня продуктивності виробництва, сталості та точності виробничих процесів, що детально розкривається у дослідженнях багатьох авторів [1, 2], і у свою чергу, підкреслює актуальність дослідження та необхідність інтеграції передових технологій для досягнення необхідного рівня якості і ефективності виробництва, а також важливість їх застосування в різних галузях, де вони можуть підтримувати реалізацію інноваційних підходів до автоматизації.

Тому доцільним є узагальнення сучасних підходів та стратегій автоматизації промислових виробництв з метою виділення ролі мобільних роботів для підвищення їх ефективності. Таким чином наші дослідження спрямовані на аналіз напрямів сучасної автоматизації з фокусом на інтеграції мобільних роботів у виробничі процеси. Ми аналізуємо різні аспекти автоматизації промисловості як технічні так і програмні, включаючи штучний інтелект, машинне навчання, комп'ютерний зір тощо Загальний аналіз літературних даних підкреслює важливість

впровадження мобільних роботів у виробничий процес як ключової стратегії для досягнення підвищення продуктивності та конкурентоспроможності в сучасній промисловості [3, 4]. Водночас, дослідження вказують на необхідність уважного вирішення викликів та проблем, що виникають при впровадженні цих технологій.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання роботизованих системи для автоматизації процесів виготовлення продукції [5–12] набуло широкої популярності. Наприклад, збільшення рівня автономності виробничих ліній дозволяє досягнути підвищення рівня якості, що є майже неможливим із значним втручанням людини у процес виробництва, оскільки може призвести до появи стохастичних збурень з боку людського персоналу. Також, набуло широкого застосування для систем контролю та моніторингу технологічних параметрів, загального стану обладнання та інших важливих параметрів виробничих ліній за допомогою сенсорів, датчиків і систем збору та аналізу даних, щоб підтримувати стабільність та точність виробничих процесів [13].

Однією з ключових стратегій автоматизації є використання штучного інтелекту [14, 15] у поєднанні із мобільними роботами, що наділяє їх можливістю аналізувати великі обсяги даних, враховуючи контекст, на основі якого приймати рішення, адаптовані до конкретної ситуації або середовища, що у свою чергу забезпечує підвищення їх продуктивності. Наприклад, у машинобудівних галузях, таких як автомобіле- та літакобудування, остаточно не вирішеною є задача транспортування компонентів та виконання інших завдань, таких як зварювання або фарбування. Штучний інтелект дозволяє роботам оптимізувати маршрути [16], уникати перешкод [17] та зменшувати час виконання завдань. Крім того, вони можуть навчатися від попередніх завдань і покращувати свою продуктивність з часом [18].

Ще однією важливою стратегією є використання моделей нечіткої логіки [19] та алгоритмів нелінійної оптимізації [20] для керування мобільними роботами [21, 22]. Нечітка логіка дозволяє враховувати нечіткі або нестандартні умови та вводити їх у процеси прийняття рішень. Наприклад, у сфері логістики мобільні роботи, які використовують моделі нечіткої логіки, можуть керувати маршрутами доставки в умовах, коли шляхи не завжди є ідеальними. Алгоритми нелінійної оптимізації можуть бути використані для мінімізації витрат часу та ресурсів при плануванні оптимальних маршрутів руху мобільних роботів у складних умовах.

Машинне навчання є іншою ключовою стратегією, яка відіграє важливу роль у підвищенні ефективності виробничої сфери через інтеграцію мобільних роботів [23, 24]. Машинне навчання дозволяє роботам аналізувати та використовувати дані для вивчення патернів, прогнозування результатів та оптимізації процесів. Наприклад, на виробництві методи машинного навчання можуть використовуватися для прогнозування несприятливих умов для обладнання, що дозволяє уникнути аварійних ситуацій шляхом проведення планових ремонтів обладнання відповідно до прогнозованого графіку відмов. Основними напрямками розвинення машинного навчання для застосування її у сферах промислового виробництва можна вважати:

1. Використання навчання в логістиці: Мобільні роботи в складах можуть використовувати машинне навчання для покращення розподілу товарів на полицях. Наприклад, системи МН можуть навчити роботів розпізнавати популярні товари та оптимізувати розміщення їх на видатних місцях.

2. Автономна навігація в складних умовах: Мобільні роботи, оснащені системами комп'ютерного зору та штучного інтелекту, можуть навчатися навігації в умовах, коли середовище постійно змінюється. Наприклад, роботи у виробничому приміщенні можуть уникати перешкод та рухатися ефективно навіть у вузьких коридорах.

3. Автономні мобільні роботи в сільському господарстві: В сільському господарстві мобільні роботи використовуються для виконання завдань, таких як збір врожаю або полив. Вони можуть використовувати дані з датчиків та аналізувати їх для оптимального розподілу ресурсів та підтримки високого врожаю.

4. Системи медичних роботів: У медицині мобільні роботи можуть використовуватися для автономної доставки ліків, матеріалів або навіть виконання дрібних хірургічних процедур. ШІ та комп'ютерний зір допомагають забезпечити точність та безпеку цих операцій.

5. Роботи в електронному виробництві: У виробництві електроніки мобільні роботи використовуються для завантаження компонентів на плати, виконання лазерного спайку або перевірки якості виробів за допомогою вбудованих камер. Машинне навчання допомагає їм розпізнавати дефекти і зменшувати брак.

Використання комп'ютерного зору, що наділяє роботів когнітивними властивостями [25], також отримало широке застосування і розвинулось у окремий напрям «когнітивна робототехніка» [26–28], направлений на розпізнавання об'єктів, людей та оточуючого середовища тощо. Наприклад, для автоматичного визначення місця розміщення товарів у складських приміщеннях, що дозволяє прискорити та оптимізувати процес збору та доставки замовлень.

Не останню роль відіграє робототехніка як наука у процесах автоматизації виробництва, оскільки дослідження та новітні розробки в цій галузі призводять до швидкого впровадження їх у виробничі лінії і як наслідок формування концепції «розумних заводів» [29, 30]. Дана концепція відкриває нові можливості для застосування мобільних роботів. У свою чергу розвиток Індустрії 4.0 також може стати ключовим фактором активного зростання попиту на ринку мобільних роботів у майбутньому. Проте інтеграція роботів у виробничі сфери має велику

кількість ризиків [31] та обмежень. Насамперед, за даними авторів [4] збільшення витрат на встановлення та обслуговування мобільних роботів може перешкодити розвитку галузі впродовж 2023–2030 років; обмежена кількість кваліфікованого персоналу для роботи з мобільними роботами може стати серйозною загрозою для розвитку галузі; питання безпеки, пов’язані із використанням як мобільних роботів, так і систем контролю та можуть стати суттєвою проблемою мобільної робототехніки найближчими роками.

**Формулювання мети дослідження**

Основною метою даного дослідження є аналіз поточного стану та перспектив інтеграції мобільних роботів у виробничий процес, аналіз їх ефективності і важливості у сучасній промисловості, визначення напрямків подальших досліджень та розвитку цієї сфери. Для досягнення цієї мети необхідно акцентувати увагу на наступних **задачах**:

1. Провести огляд різних стратегій автоматизації конкретних підприємств та галузей, де інтеграція мобільних роботів призвела до підвищення продуктивності та якості виробництва.
2. Розглянути економічну складову цих методів, дослідити
3. Визначити переваги та недоліки даних методів;
4. Розглянути проблеми, пов’язані з інтеграцією мобільних роботів, такі як безпека, витрати, підготовка персоналу та правові аспекти;
5. Проаналізувати потенційні майбутні тренди в галузі автоматизації виробництва з використанням мобільних роботів та нові технології, які можуть змінити спосіб, якими ми виробляємо товари;
6. Зробити висновки, підсумувавши переваги інтеграції мобільних роботів у виробничий процес, підкреслити їхню важливість у сучасній промисловості.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

**Дослідження сучасних промислових виробництв**

Як зазначено вище, сучасні підприємства вже мають великий досвід у використанні роботів для задач автоматизації. Для більш чіткого розуміння стратегій автоматизації було розглянуто декілька конкретних прикладів підприємств світового рівня [5–12], зокрема таких країн як США, Німеччина, Японія та Великобританія, оскільки ці країни є першовантажними щодо використання роботів у виробничих процесах.

Напрями розвитку мобільних роботів, за типом середовища функціонування, класифіковані наступним чином: безпілотні наземні апарати (A-UGV) [32], безпілотні літальні апарати (UAV). UAV, здатні виконувати різноманітні завдання завдяки своїм унікальним характеристикам і перевагам. Вони знаходять застосування в широкому спектрі сфер, включаючи фото- та відеозйомку, сільське господарство, геодезію та картографію, лісове господарство, моніторинг навколишнього середовища тощо (рис. 1).



**Рис. 1. Графічна інтерпретація використання мобільної робототехніки у різних галузях промисловості**

Сегмент безпілотних літальних апаратів є домінантним для промислових виробництв, оскільки UAV мають широкий спектр застосувань і переваг, які роблять їх привабливими для різних галузей промисловості, зокрема:



1. Діапазон застосування: UAV можуть використовуватися в різних галузях, від приватного сектору до галузей промисловості, що потребують моніторингу та збору даних.

2. Ефективність і вартість: Вони дозволяють зберігати час і ресурси, які раніше витрачалися на ручні методи обстеження та дослідження, роблять деякі завдання доступними для автоматизації та значно зменшують витрати.

3. Технологічний прогрес: Постійний розвиток технологій, таких як вдосконалені камери, лазерні сенсори та збільшення обчислювальної потужності, підвищує можливості і універсальність UAV, що робить їх все більш привабливими для використання у різних галузях.

Крім того розроблення складніших датчиків, збільшення терміну служби батареї та збільшення обчислювальної потужності, робить БПЛА більш потужними та універсальними, що ще більше підвищує їх популярність і впровадження.

Виходячи із проблем промислових виробництв, напрями застосування включають логістику та складування, військову й оборонну сферу, охорону здоров'я, побутову техніку, розваги, освіту, сільське та лісове господарство та інші. Сегмент логістики та складування наразі є домінуючим. Зростаючий попит на автоматизацію та потреба в ефективних і рентабельних логістичних операціях є однією із ключових рушійних сил цієї тенденції. Мобільні роботи, такі як автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV) і автономні мобільні роботи (AMR), вже використовуються на складах і у розподільчих логістичних центрах, наприклад DEACTHLON [33], для переміщення товарів та матеріалів в межах робочого середовища завдяки можливості орієнтування, планування маршрутів, із врахуванням перешкод, підвищують ефективність і знижують ризик нещасних випадків на виробництві.

Нижче представлена таблиця приклади успішного впровадження стратегій автоматизації в промислових виробництвах. Ці дані базуються на реальних виробництвах і показують позитивний вплив автоматизації на результати підприємств.

Таблиця 1

#### Приклади успішного впровадження стратегій автоматизації

Інформація про виробництво	Сфера застосування мобільних роботів	Переваги інтеграції мобільних роботів
Amazon Robotics [34,35]	Використовуються для сортування, переміщення та упаковки товарів у складних умовах дистрибуції. Впроваджено 750 тис. мобільних роботів, за даними 2022 року [34]	Внаслідок впровадження мобільних роботів, Amazon зміг значно збільшити продуктивність своїх складських операцій, знизити час доставки та зменшити кількість людських помилок
Tesla Gigafactory [36,37]	Автоматизація виробничого процесу для виробництва літій-іонних батарей для електромобілів. Упаковка осередків батарей для автомобілів	Мобільні роботи в Gigafactory допомагають виробляти батареї більш ефективно та точно, знижуючи ризик помилок та забезпечуючи постійну якість продукції. Підвищення швидкості упаковки літій-іонних осередків на 50% швидше
Vathos GmbH [5]	Сортування та точне розміщення за допомогою вантажопідійомних роботів, завантаження та розвантаження деталей, візуальна інспекція для оцінки якості деталей. Використання програмних продуктів для керування роботами хмарна архітектура, периферійний та гібридний інтерфейси, API.	Мобільні роботи можуть швидко та точно сортувати великі об'єми матеріалів або виробів, забезпечуючи оптимальне розміщення з врахуванням простору та інших параметрів. Використання програмних рішень дозволяє координувати роботи, створювати оптимальні маршрути та діагностувати проблеми в реальному часі. Застосування API дозволяє інтегрувати роботів з іншими системами та програмами для забезпечення їх спільної роботи та обміну даними
Verosim Solutions [6]	Візуалізація будівельних даних з файлів IFC, візуалізація моделей міста в ландшафті, моделювання рухомих компонентів будівлі, інтерактивний аналіз моделей IFC, інтерактивне представлення віртуальної реальності моделей і процесів у реальному часі. Застосування роботів для сканування 3D об'єктів	Більш точне моделювання динамічних сценаріїв у їх динамічному середовищі з великими масштабами середовища, відтворення поведінки об'єктів і систем за допомогою кінематичної та динамічної симуляції, симуляції руху людей по заздалегідь визначених маршрутах із заздалегідь визначеними моделями руху.

Дані приклади демонструють, що автоматизація сприяє підвищенню ефективності виробництва, включаючи зменшення витрат, поліпшення якості продукції, підвищення продуктивності праці. Автоматизація відкриває нові можливості для оптимізації процесів та впровадження інноваційних рішень, що допомагає підприємствам залишатися конкурентоспроможними в сучасному бізнес-середовищі. Застосування автоматизованих рішень дозволяє підприємствам більш точно прогнозувати і вирішувати виробничі проблеми, що веде до підвищення якості продукції та задоволеності клієнтів. Підприємства, які інвестують у автоматизацію, здатні підвищити свою конкурентоспроможність та досягти стійкого зростання в довгостроковій перспективі.

#### Результати досліджень та висновки

Оцінка ефективності стратегії автоматизації виконана на основі порівняння кількісних економічних характеристик. Більшість впроваджених стратегій по інтеграції мобільних роботів у процес виробництва показують істотне підвищення ефективності. Це досягається завдяки наступним факторам:

1. Зниження витрат на робочу силу: Мобільні роботи можуть виконувати багато завдань, які раніше вимагали людської праці. Це дозволяє підприємствам зменшити витрати на оплату праці.

2. Зниження ризику помилок: Мобільні роботи працюють з високою точністю і не схильні до втоми або відволікань, що допомагає уникнути помилок у виробництві.

3. Збільшення продуктивності: Мобільні роботи можуть функціонувати цілодобово без перерви, що призводить до збільшення продуктивності і підвищення обсягу виробництва.

Структуровані результати аналізу (табл. 1) свідчать, що використання мобільних роботів є дійсно важливим компонентом сучасної автоматизації, та передбачає швидкий розвиток цієї галузі в майбутньому. А задачі вдосконалення систем мобільних роботів, обслуговування, якісного і точного керування будуть одними із найважливіших. На підставі даних дослідження ринку промислової робототехніки [3, 4, 10, 11, 12], можна стверджувати, що основним напрямом досліджень на найближчі 10 років є вирішення комплексних задач керування роботами, інтерфейсах комунікації між людиною і роботом та аналізу даних отриманих від роботів. Ці дані показують актуальність теми використання роботів для промислових цілей, і прогнозують швидкий розвиток цього ринку до 2030 року (рис. 2).

Відповідно до звіту, опублікованого Facts & Factors, у 2022 році розмір світового ринку промислової робототехніки оцінювався в 27,11 мільярда доларів США, а до кінця 2030 року планується досягти 60,57 мільярда доларів США з CAGR майже 10,7% між 2023 та 2030 роками. Звіт промислової робототехніки охоплює географічний ринок разом із комплексним аналізом конкурентного середовища. Він також включає аналіз грошових потоків, аналіз коефіцієнта прибутку, аналіз ринкового кошика, аналіз ринкової привабливості, аналіз PESTEL, SWOT-аналіз, аналіз п'яти сил Портера та аналіз ланцюга створення вартості. Крім того, звіт про ринок промислової робототехніки досліджує простір інвесторів і зацікавлених сторін.

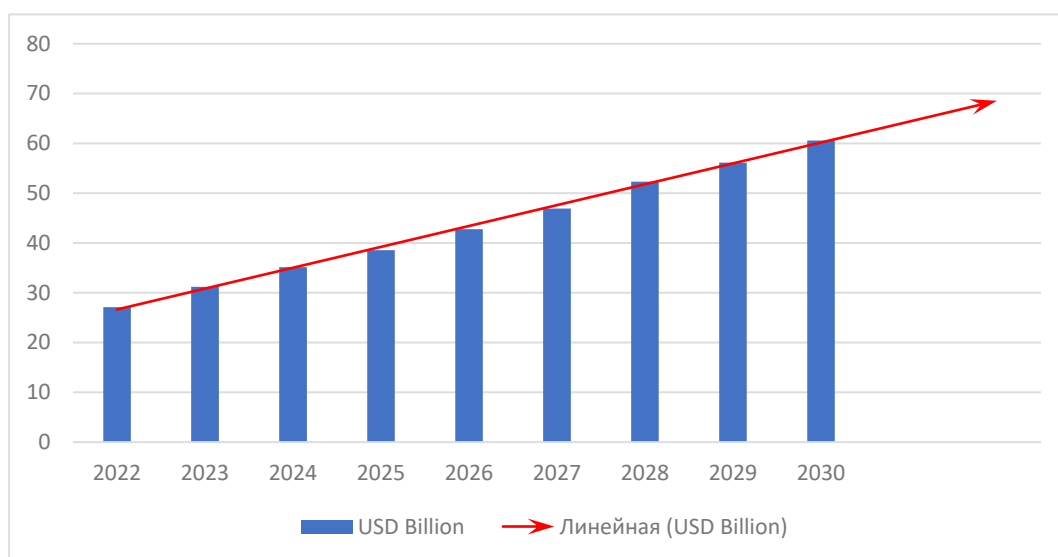


Рис. 2. Прогноз ринку промислових роботів (витрати на їх закупівлю) до 2030 року [10]

У 2022 році розмір ринку мобільної робототехніки оцінювався в 2,97 мільярда доларів США. Прогнозується, що галузь мобільної робототехніки зросте з 3,53 мільярда доларів США у 2023 році до 7,51 мільярда доларів США до 2030 року (рис. 3), демонструючи сукупний річний темп зростання (CAGR) 12,30% протягом прогнозованого періоду 2023–2030 рр. Ринок розширюється в результаті розвитку технології роботів і зростання їх використання. Мобільні роботи використовуються в різних галузях промисловості, включаючи транспорт, операції з підбору й розміщення, охорону здоров'я та клініки.

Таким чином, можемо зробити висновок, що автоматизація має великий попит по всьому світу. Компанії автоматизують свої виробничі та адміністративні процеси, з метою економії витрат, часу і покращення якості продукції. У відповідь на жорстку конкуренцію на світовому ринку, компанії активно впроваджують мобільних роботів, щоб підвищити якість продукції, продуктивність і безпеку для своїх працівників.

Мобільні роботи досягли значних інновацій та продовжують активний розвиток у всьому світі. Їх ринкова цінність зростає завдяки розширенню використання роботизованих рішень як у вже розвинутих галузях виробництва, так і в відносно нових. Крім того, зростаючі ініціативи в області наукових досліджень та інвестиції у розвиток робототехніки сприяють стрімкому розширенню ринку.

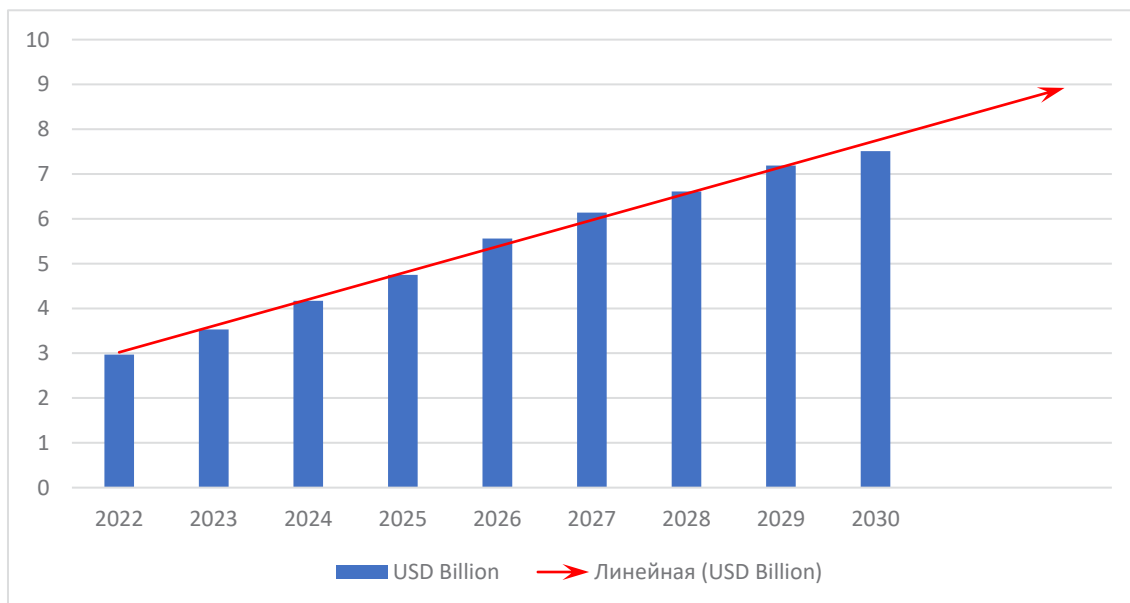


Рис. 3. Прогноз ринку мобільних роботів (витрати на їх закупівлю) до 2030 року [12]

#### Список використаної літератури

1. Bai, C. et al. (2020) 'Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective', *International Journal of Production Economics*, 229, p. 107776. doi:10.1016/j.ijpe.2020.107776.
2. Park, H.-A. (2016) 'Are we ready for the fourth industrial revolution?', *Yearbook of Medical Informatics*, 25(01), pp. 1–3. doi:10.15265/iy-2016-052.
3. *Mobile robots market size, share, industry report, Revenue Trends and Growth Drivers MarketsandMarkets*. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mobile-robots-market-43703276.html> (Accessed: 17 October 2023).
4. Market Research Future, *Mobile Robotics Market Size, trends and forecast- 2030, Mobile Robotics Market Size, Trends and Forecast- 2030*. Available at: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/mobile-robotics-market-1946> (Accessed: 17 October 2023).
5. Vathos GmbH (2023). <https://www.vathos-robotics.de/>. Accessed 11 Oct 2023
6. Verosim Solutions (2023). <https://www.verosim-solutions.com/>. Accessed 11 Oct 2023
7. Müller, R., Hörauf, L., Vette-Steinkamp, M., Kanso, A., Koch, J.: The assist-by-X system: calibration and application of a modular production equipment for visual assistance. *Proc. CIRP* 86, 179–184 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.021>
8. *SQRP: Sensing Quality-aware robot programming system for ...* – *arxiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2107.00127> (Accessed: 11 October 2023).
9. K. He, A. M. Wells, L. E. Kavraki, and M. Y. Vardi, "Efficient symbolic reactive synthesis for finite-horizon tasks," in 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2019, pp. 8993–8999.
10. Global Industrial Automation Market Report and forecast 2024–2032 (2023) Industrial Automation Market Analysis, Size, Share, Report 2024–2032. Available at: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/industrial-automation-market> (Accessed: 06 October 2023).
11. Facts and Factors (2023) Industrial Robotics Market Size, growth, trends analysis & forecast 2030, Facts and Factors. Available at: <https://www.fnfresearch.com/industrial-robotics-market> (Accessed: 11 October 2023).
12. *Mobile Robots Market Size & Share Analysis – Industry Research Report – Growth Trends*. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-mobile-robots-market> (Accessed: 17 October 2023).
13. D. Hüsener, M. Schluse, D. Kaufmann, J. Roßmann, The Digital Twin as a Mediator for the Digitalization and Conservation of Expert Knowledge. (2022) *Annals of scientific society for assembly, handling and Industrial Robotics 2021*. Cham: Springer International Publishing.
14. Dzedzickis, A. et al. (2021) Advanced applications of industrial robotics: New trends and possibilities, MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/1/135/htm> (Accessed: 11 October 2023).
15. Müller R., Scholer, M., Karkowski, M.: Generic automation task description for flexible assembly systems. *Proc. CIRP* 81, 730–735 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.185>

16. D. Shen, Y. Chen, L. Li, and S. Chien, "Collision-free path planning for automated vehicles risk assessment via predictive occupancy map," in 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp. 985–991, IEEE, 2020.
17. Active Collision Avoidance System for E-Scooters in Pedestrian Environment. Xuke Yan, Dan Shen. arXiv:2311.04383v1 [cs.RO] 7 Nov 2023
18. MROS: A framework for robot self-adaptation. Gustavo Rezende Silva, Darko Bozhinoski Mario Garzon Oviedo, Mariano Ramirez Montero, Nadia Hammoudeh Garcia. arXiv:2303.09227v1 [cs.RO] 16 Mar 2023
19. Mobile Robot Motion Control Using a Combination of Fuzzy Logic Method and Kinematic Model. Anh-Tu Nguyen, Cong-Thanh Vu. N. L. Anh et al. (Eds.): Intelligent Systems and Networks, LNNS 471, pp. 495–503, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3394-3\\_56](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3394-3_56)
20. A. Meduri, P. Shah, J. Viereck, M. Khadiv, I. Havoutis, and L. Righetti, "Biconmp: A nonlinear model predictive control framework for whole body motion planning," IEEE Transactions on Robotics, vol. 39, no. 2, pp. 905–922, 2023.
21. F. Hoffmann, V. Wesskamp, R. Bleck, J. Deuse. Scalability of Assembly Line Automation Based on the Integrated Product Development Approach. (2022) Annals of scientific society for assembly, handling and Industrial Robotics 2021. Cham: Springer International Publishing.
22. Müller R., Kanso, A. and Adler, F. An approach to integrate a blockchain-based payment model and independent secure documentation for a robot as a Service, SpringerLink. Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74032-0\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-74032-0_15) (Accessed: 11 October 2023).
23. Enes K. Web Service for Point Cloud Supported Robot Programming Using Machine Learning. (2022) Annals of scientific society for assembly, handling and Industrial Robotics 2021. Cham: Springer International Publishing.
24. John, J. et al. (2023) *Industry 4.0 and Beyond: The role of 5g, WIFI 7, and TSN in enabling Smart Manufacturing*, arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/2310.02379v1> (Accessed: 11 October 2023).
25. Cichon, T., Rossmann, J.: Digital twins: assisting and supporting cooperation in human-robot teams. In: Proceedings of the 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV 2018), November 18–21, 2018, Singapore, pp. 1–6 (2019)
26. Kawamura, K. and Browne, W. (2009) 'Cognitive robotics', Encyclopedia of Complexity and Systems Science, pp. 1109–1126. doi:10.1007/978-0-387-30440-3\_74.
27. Katiyar, S. and Katiyar, K. (2021) 'Recent trends towards Cognitive Science: From Robots to humanoids', Cognitive Computing for Human-Robot Interaction, pp. 19–49. doi:10.1016/b978-0-323-85769-7.00012-4.
28. Tawiah, T. (2022) 'Machine Learning and Cognitive Robotics: Opportunities and challenges', Cognitive Robotics and Adaptive Behaviors [Preprint]. doi:10.5772/intechopen.107147.
29. Grieves, M., Vickers, J.: Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, pp. 85–113. Springer, Cham (2017). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4)
30. Tao, F., Zhang, H., Liu, A., Nee, A.Y.C.: Digital twin in industry: state-of-the-art. IEEE Trans. Ind. Informat. 15, 2405–2415 (2019). <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
31. Malm, T. et al. (2022) 'Safety risk sources of autonomous mobile machines', *Open Engineering*, 12(1), pp. 977–990. doi:10.1515/eng-2022-0377.
32. Bostelman, R. and Messina, E. (2019) 'A-UGV capabilities', *2019 Third IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)* [Preprint]. doi:10.1109/irc.2019.00130.
33. Staff, R. 24/7 (2022) *Decathlon deploys geek+ mobile robots in European e-commerce expansion*, *Robotics 24/7*. Available at: [https://www.robotics247.com/article/decathlon\\_deploys\\_geek\\_mobile\\_robots\\_european\\_e-commerce\\_expansion](https://www.robotics247.com/article/decathlon_deploys_geek_mobile_robots_european_e-commerce_expansion) (Accessed: 29 November 2023).
34. Staff, A. (2022) *Look back on 10 years of Amazon Robotics, US About Amazon*. Available at: <https://www.aboutamazon.com/news/operations/10-years-of-amazon-robotics-how-robots-help-sort-packages-move-product-and-improve-safety> (Accessed: 09 November 2023).
35. Joseph Quinlivan, V.P.F.T. and R. at A. (2023) *How Amazon deploys collaborative robots in its operations to benefit employees and customers, US About Amazon*. Available at: <https://www.aboutamazon.com/news/operations/how-amazon-deploys-robots-in-its-operations-facilities> (Accessed: 09 November 2023).
36. Lambert, F. (2020) *Tesla Gigafactory: A look at the robots and 'machine building the machine' at the Battery Factory*, *Electrek*. Available at: <https://electrek.co/2016/07/31/tesla-gigafactory-robots-machines-battery-factory/> (Accessed: 09 November 2023).
37. 2022 top Article – How Tesla used robotics to survive (no date) *RoboticsTomorrow*. Available at: <https://www.roboticstomorrow.com/article/2022/06/2022-top-article-how-tesla-used-robotics-to-survive-production-hell-and-became-the-worlds-most-advanced-car-manufacturer/18908> (Accessed: 09 November 2023).

В. М. ЛИТВИНЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної  
та електричної інженерії  
Херсонський державний аграрно-економічний університет  
ORCID: 0000-0002-9425-5551

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕПІТАКСІАЛЬНО-ПЛАНАРНОГО ВАРИКАПА

*Варикап – це напівпровідниковий діод, що використовує при своїй роботі залежність бар'єрної ємності p-n переходу від зворотної напруги. Ця залежність називається вольт-фарадною характеристикою. Варикапи застосовуються в схемах електронної перебудови частоти коливального контуру, в підсилюючих параметричних схемах, в дільниках і помножувачах частоти, в керованих фазообертачах тощо. Однак незважаючи на широке застосування, вартість варикапів залишається порівняно високою із-за низького виходу придатних діодів, що пояснюється високим рівнем зворотного струму приладів. В статті розглянуті причини та механізми деградації зворотних характеристик варикапа. Показано, що причиною низького виходу варикапів являється суттєвий вплив на їх зворотні характеристики структурних дефектів і сторонніх домішок та якості поверхні варикапних структур. Встановлено, що головною причиною низького відсотка виходу придатних досліджуваних варикапів є епітаксіальні та окислювальні дефекти упакування, а також поверхневі ефекти за рахунок домішкових забруднень. Епітаксіальні дефекти упакування утворюються в кремнієвих структурах в процесі нарощування епітаксіальних шарів, окислювальні дефекти упакування – в процесах проведення високотемпературних операцій. З метою запобігання утворенню структурних дефектів необхідно було вибрати ефективний метод гетерування. Оскільки структурні дефекти утворюються починаючи з процесу епітаксії, вочевидь, що область гетера необхідно створювати в підкладах, на які будуть осаджуватись епітаксіальні шари. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксіальних шарах є створення гетеруючої області на зворотному боці підкладок за допомогою обробки її лазером. В результаті проведених досліджень встановлено, що відпал кремнієвих пластин за температури 1100°C в середовищі аргону після термічного окислення дає можливість суттєво знизити величину сумарного заряду в плівці SiO<sub>2</sub>. Детально розглянута запропонована технологія виготовлення структур варикапів з використанням гетерування за допомогою обробки зворотної сторони пластин лазером та проведення відпалу пластин в середовищі аргону. Наведено експериментальні результати дослідження впливу на зворотну характеристика варикапа процесу гетерування та відпалу структур в середовищі аргону, а також проаналізовано можливі механізми цього впливу. Показана ефективність запропонованої технології з використанням гетерування та відпалу кремнієвих пластин щодо зниження рівня зворотних струмів і підвищення виходу придатних приладів.*

**Ключові слова:** варикап, гетерування, дефекти упакування, поверхневі ефекти, зворотний струм, домішки.

V. M. LITVYNENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Hydraulic Construction, Water and Electrical Engineering  
Kherson State Agrarian and Economic University  
ORCID: 0000-0002-9425-5551

## OPTIMIZATION OF MANUFACTURING TECHNOLOGY FOR EPITAXIAL-PLANAR VARICAP

*A varicap is a semiconductor diode that uses the dependence of the barrier capacitance p-n transition on the reverse voltage during its operation. This dependence is called the volt-farad characteristic. Varicaps are used in circuits for electronic adjustment of the frequency of an oscillating circuit, in amplifying parametric circuits, in frequency dividers and multipliers, in controlled phase shifters, etc. However, despite the widespread use, the cost of varicaps remains relatively high due to the low output of suitable diodes, which is explained by the high level of reverse current of the devices. The article discusses the causes and mechanisms of degradation of the reverse characteristics of the varicap. It is shown that the reason for the low yield of varicaps is the significant influence on their reverse characteristics of structural defects and foreign impurities and the quality of the surface of varicap structures. It has been established that the main reason for the low percentage yield of suitable investigated varicaps is epitaxial and oxidation defects of the packaging, as well as surface effects due to impurities. Epitaxial packaging defects are formed in silicon structures during the growth of epitaxial layers, oxidation packaging defects – in the process of high-temperature operations. In order to prevent the formation of structural defects, it was necessary to choose an effective method of gettering. Since structural defects are formed starting from the epitaxy process, it is obvious that the getter region must be created in the substrates on which the epitaxial layers will be deposited. The conducted studies showed that the most effective method of preventing the formation of structural defects in epitaxial layers is the creation of a getter region on the reverse side of the substrates by means of its laser treatment. As a*

result of the conducted research, it was established that annealing silicon wafers at a temperature of 1100°C in an argon environment after thermal oxidation makes it possible to significantly reduce the amount of the total charge in the SiO<sub>2</sub> film.

The proposed manufacturing technology of varicap structures using hetering with the help of processing the reverse side of the plates with a laser and annealing the plates in an argon environment is considered in detail. The experimental results of the study of the effect on the inverse characteristic of the varicap of the process of gettering and annealing of structures in an argon medium are presented, and the possible mechanisms of this effect are also analyzed. The effectiveness of the proposed technology using gettering and annealing of silicon wafers in reducing the level of reverse currents and increasing the output of suitable devices is shown.

**Key words:** varicap, gettering, packing defects, surface effects, reverse current, impurities.

### Постановка проблеми

Варикап – це напівпровідниковий діод, що використовується як ємність, керована напругою. Робочими елементами для варикапів є бар'єрні ємності р-п переходів, які працюють у режимі зворотного зміщення. Основне призначення варикапів – електронне підстроювання резонансної частоти коливальних контурів [1]. Проблемою технології виготовлення варикапів є низький вихід придатних приладів на операціях контролю їх зворотного струму. Причиною низького виходу варикапів являється суттєвий вплив на їх зворотні характеристики структурних дефектів, сторонніх домішок та якості поверхні варикапних структур [2]. Поверхневі ефекти виникають в р-п переході при забрудненні його поверхні домішками металів (Na, K, Cu, Au, Ni і ін.), які знаходяться у вигляді іонів, і утворюють поверхневий заряд. Домішки можуть потрапити на пластини напівпровідника, наприклад, з травильних розчинів, кварцевих труб дифузійних і окислювальних печей тощо. При наявності структурних дефектів в активних областях варикапних структур, домішки тяжких металів, прискорюючись вздовж дефектів, проникають в область просторового заряду р-п переходу, де створюють в забороненій зоні кремнію глибокі рівні, через які відбувається додаткова генерація носіїв заряду, що призводить до збільшення рівня зворотних струмів варикапа.

Генераційна компонента зворотного струму діода виражається формулою [1]:

$$I_G = qSd \left( \frac{n_i}{\tau_n + \tau_p} \right),$$

де  $q$  – заряд електрона;  $\tau_n, \tau_p$  – час життя відповідно електронів і дірок в збідненій області р-п переходу;  $n_i$  – концентрація власних носіїв заряду в напівпровіднику;  $S$  – площа р-п переходу;  $d$  – ширина області просторового заряду р-п переходу.

Особливо інтенсивно проходить генерація носіїв заряду в області просторового заряду р-п переходу при наявності високої щільності структурних дефектів в активних областях діода, так як при цьому суттєво зменшуються  $\tau_n, \tau_p$  [3].

Для зменшення щільності або повної ліквідації структурних дефектів в кремнії використовуються різні методи гетерування [4, 5], але, як показала практика, багато з них виявляються малоефективними для зниження рівня зворотного струму варикапів. З метою покращання поверхневих властивостей варикапних структур розроблено багато різних методів [6], однак далеко не всі вони ефективні для покращання зворотних характеристик варикапів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Невпинний розвиток мікроелектроніки, чітка тенденція до мініатюризації робочих елементів, створення новітніх перспективних, конструктивно складних приладів продовжують залишатися актуальними питання впливу структурних дефектів матеріалу на параметри і відсоток виходу придатних приладів та розробки методів ліквідації структурних дефектів в напівпровідникових кристалах.

В роботі [7] представлено оптичний метод дослідження дислокацій в кристалах кремнію за допомогою моделювання процесу розпізнавання об'єктів. Запропонований метод дослідження дозволяє: – уточнювати форми дефектів; – визначати їх розташування в кристалі; – визначати просторові характеристики дефектів; – формувати розподіл дефектів за розмірами. Запропонований метод дає можливість врахувати вплив процесів дифузії та самодифузії домішок, процесів дефектоутворення в напівпровідниках на електричні параметри напівпровідникових приладів.

Досліджуючи утворення інверсійних шарів на межі поділу Si-SiO<sub>2</sub> в технології виготовлення кремнієвих фотоприймачів, було виявлено деяку динаміку дислокацій після ізотермічних відпалів, яка була відсутня в зразках без інверсії [8]. Після селективного травлення зразків з інверсійними шарами спостерігалась локалізація дислокацій по периферії фоточутливих елементів із скупченням на поверхні охоронних кілець чи інших елементів топології p<sup>+</sup>-типу поза фоточутливими елементами. Це свідчило про рух дислокацій по поверхні структур Si-SiO<sub>2</sub> з інверсних шарів в напрямку периферії кристала під час ізотермічного відпалу, що сприяло значному зниженню густини структурних дефектів в фоточутливому елементі. Описане явище можна використовувати для отримання високолегованих бездефектних кремнієвих структур, оскільки наявність дислокацій чи інших порушень кристалічної ґратки негативно впливають на параметри виробів.

В роботі [9] досліджено метод різання кремнієвих підкладок диском із алмазною кромкою. Проаналізовано вплив режимів різання на темнові струми охоронних кілець р-і-n фотодіодів. Встановлено оптимальні режими обробки, що мінімізують деградацію параметрів зразків. Погіршення параметрів фотодіодів після операції різання відбувається внаслідок набутих механічних напружень та розірваних хімічних зв'язків на торцях кристалів. При термічній обробці підкладок, які були попередньо розділені алмазним диском, спостерігається утворення сіток дислокацій вздовж ліній різання. Встановлені режими обробки дозволяють уникнути деградації параметрів фотодіодів в процесі різання.

Метод неруйнівного контролю внутрішніх напружень та дефектів в оптичних матеріалах (в тому числі і в кристалах напівпровідників) представлено в роботі [10]. Експериментально доведена можливість використання дисплейних екранів комп'ютера як джерела поляризованого випромінювання. Показано, що спеціальний прилад ПКС-250, який має обмеження геометричних розмірів деталей до 250 мм, що контролюються за наявності внутрішніх напружень, можливо замінити на дисплейний екран розміром, що відповідає завданням контролю. Для прецизійних вимірювань внутрішніх напружень та їх розподілу в оптичних деталях запропоновано використовувати поляризаційно-модуляційний спосіб.

#### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є дослідження впливу структурних дефектів та поверхневих ефектів на рівень зворотного струму варикапа і можливості застосування гетерування для поліпшення зворотних характеристик варикапа і підвищення виходу придатних приладів.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

**Експериментальні зразки.** Структури досліджуваних варикапів виготовлялися за стандартною планарно-епітаксialною технологією [1]. Для проведення епітаксialного процесу використовувались кремнієві підкладки, леговані стибієм, з потовим опором 0,01 Ом·см, орієнтовані за площиною (111). Нарощування епітаксialних шарів на підготовлених підкладках проводилося хлоридним методом за температури 1150°C [1]. Отримані епітаксialні структури мали питомий опір 2 Ом·см і товщину 12 мкм. Для виготовлення варикапних структур проводилися наступні основні технологічні операції: – термічне окислення пластин при  $T = 1050^\circ\text{C}$  з наступним чергуванням циклів: окислення в сухому кисні (15 хвилин) – окислення у вологому кисні (120 хвилин) – окислення в сухому кисні (30 хвилин); – I фотолітографія для розкриття вікон у шарі діоксиду кремнію під дифузію бору; – I загонка бору методом відкритої труби з джерела домішки  $\text{B}_2\text{O}_3$  при  $T = 1100^\circ\text{C}$  протягом 35 хвилин в суміші аргону (65 л/год) і сухого кисню (2 л/год); – видалення боросилікатного скла в розчині плавикової кислоти; – розгонка бору при  $T = 1150^\circ\text{C}$  в середовищі сухого кисню (60 л / год) протягом 4,5 год; – II фотолітографія для розкриття вікон у шарі діоксиду кремнію під дифузію бору; – II загонка бору при  $T = 1050^\circ\text{C}$  протягом 30 хвилин у суміші аргону (95 л/год) і кисню (5 л/год); – видалення шару боросилікатного скла з використанням розчину плавикової кислоти; осадження плівки алюмінію в вакуумі на робочу сторону пластин; – III фотолітографія по шару алюмінію; відпал алюмінієвого контакту в інертному середовищі при  $T = 570^\circ\text{C}$  на протязі 15 хвилин; – шліфування тильної сторони пластин для зменшення її товщини до 185–200 мкм; – формування омичного контакту з неробочої сторони пластини нанесенням шару нікелю методом вакуумного термічного випаровування і золота методом гальванічного осадження.

У результаті виконання перерахованих операцій була отримана структура варикапа, що наведена на рис. 1.

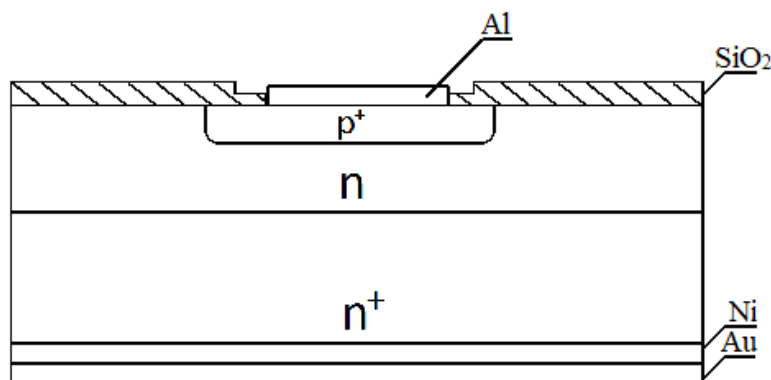
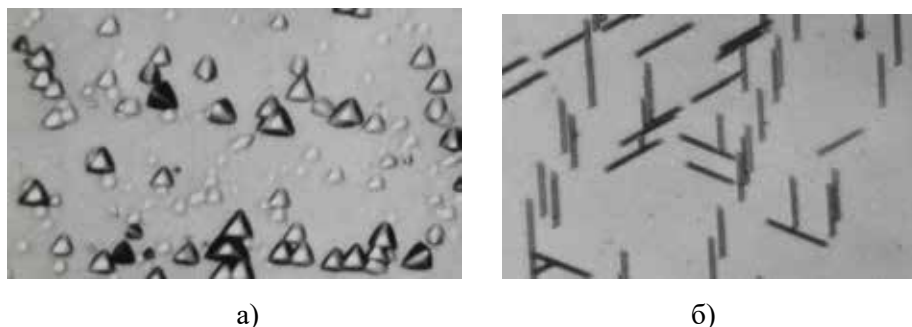


Рис. 1. Структура варикапа, що виготовлена за базовою технологією

**Дослідження структурних дефектів.** Для з'ясування причин деградації зворотних характеристик варикапів були проведені металографічні дослідження варикапних структур, відбракованих на контролі їх рівня зворотних струмів.



**Рис. 2. Поверхня кремнієвої епітаксіальної структури з виявленими епітаксіальними дефектами упакування (а) та окислювальними дефектами упакування після термічного окислення (б). Збільшення 507<sup>x</sup>**

На вихідних пластинах ще до проведення першої високотемпературної операції – термічного окислення, були виявлені епітаксіальні дефекти упакування, щільність яких складала  $10^2$ – $10^3$  см<sup>-2</sup> (рис. 2, а). Після термічного окислення і видалення шару SiO<sub>2</sub> в епітаксіальних структурах були виявлені окислювальні дефекти упакування щільністю до  $10^5$  см<sup>-2</sup> (рис. 2, б).

**Вибір технології гетерування.** З метою запобігання утворенню структурних дефектів необхідно було вибрати ефективний метод гетерування. Оскільки структурні дефекти утворюються починаючи з процесу епітаксії, вочевидь, що область гетера необхідно створювати в підкладках, на які будуть осаджуватись епітаксіальні шари. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксіальних шарах є створення гетеруючої області на зворотному боці підкладок за допомогою її обробки лазером при щільності випромінювання 14 Дж/см<sup>2</sup> з послідовним відпалом пластин при температурі 1050°C в середовищі аргону (130 л/год) і кисню (8 л/ч) на протязі 50 хв.

З метою покращання властивостей поверхні структур варикапів і зменшення рівня їх зворотних струмів був опробований також метод гетерування шляхом проведення додаткового відпалу кремнієвих пластин після технологічної операції термічного окислення при температурі  $T=1100^\circ\text{C}$  в середовищі аргону на протязі 40 хв. Вплив відпалу в середовищі аргону на якість поверхні діодних структур оцінювали за методикою, наведеною в роботі [6]. На вихідних пластинах нарощувалась плівка SiO<sub>2</sub> в умовах, аналогічних умовам процесу термічного окислення кремнієвих пластин, після чого їх розділяли на дві частини. Одну з них залишали в якості контрольної, а іншу поміщали в дифузійну піч і проводили відпал у відповідності з наведеним вище режимом. Після цього на всі пластини осаждали Al і за допомогою фотолитографії виготовляли МОН-структури (Al – SiO<sub>2</sub> – Si). Далі з використанням C-V-методу розраховували значення сумарного заряду на структурі, виготовленій з використанням відпалу ( $Q_{ss1}$ ), і на контрольній МОН-структурі ( $Q_{ss2}$ ). Вольт-фарадні характеристики вимірювали за допомогою приладу RLC E7-12. В результаті було отримано  $Q_{ss1} = 2,9 \cdot 10^{-9}$  Кл;  $Q_{ss2} = 4,2 \cdot 10^{-9}$  Кл, відношення зарядів складало  $Q_{ss2} / Q_{ss1} \approx 1,4$ . Таким чином, використання додаткового відпалу дало можливість зменшити в 1,4 рази величину сумарного заряду в SiO<sub>2</sub>, що адекватно зменшенню щільності поверхневих станів на межі розділу Si – SiO<sub>2</sub>. А це, очевидно, зменшує вірогідність тунелювання носіїв струму крізь потенційний бар'єр p-n переходу і, таким чином, забезпечує зниження рівня зворотних струмів варикапа.

**Дослідження ефективності розробленої технології.** Для випробування запропонованого способу виготовлення структур варикапа були сформовані дві експериментальні партії варикапних структур, які були поділені на дві рівні частини. Одна частина структур у кожній партії була виготовлена за базовою технологією, інша – з використанням гетерування. Ефективність технології оцінювалася за виходом придатних варикапних структур за результатами металографічних досліджень і за рівнем зворотного струму. Критерій придатності:  $I_{зв} \leq 0,2$  мкА при зворотній напрузі 35 В.

У таблиці 1 наведені порівняльні результати розбраковки за зворотним струмом варикапних структур, що виготовлені за базовою (партії № 1–3) і розробленою (партії № 4–6) технологіями.

З таблиці 1 видно, що використання гетерування дає можливість підвищити вихід придатних варикапних структур у середньому на 8,6%. При цьому варикапні структури, які виготовлені за розробленою технологією, мали рівень зворотних струмів у 3 ... 9 разів нижчий в порівнянні з варикапними структурами, які виготовлені за базовою технологією.

Проведені після розгонки бору металографічні дослідження морфології поверхні варикапних структур, які були виготовлені із застосуванням гетерування, показали відсутність структурних дефектів.



Таблиця 1

## Порівняльні характеристики базової і розробленої технологій

Технологія виготовлення варикапних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних варикапних структур за значенням зворотного струму, %
Без використання гетерування	1	85,3
	2	83,9
	3	82,8
З використанням гетерування	4	92,1
	5	93,2
	6	92,4

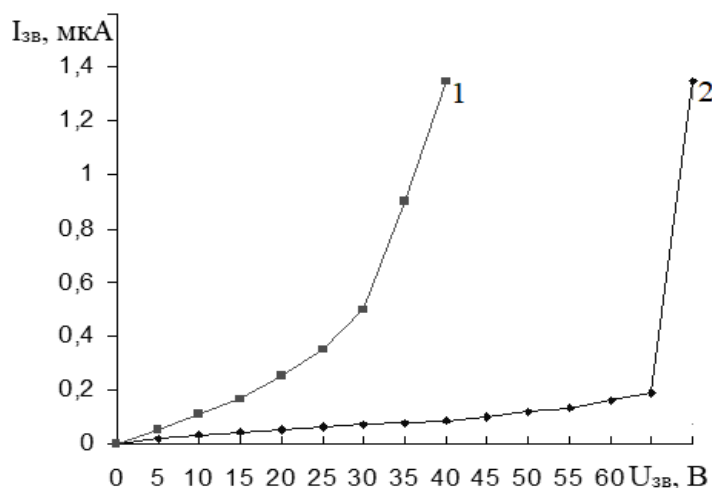


Рис. 3. Типові зворотні ВАХ структур варикапів, виготовлених за базовою технологією (1) та за запропонованою технологією (2)

На рис. 3 приведені зворотні ВАХ варикапних структур, виготовлених за базовою технологією (крива 1) та за технологією з використанням гетерування (крива 2). Видно, що варикапна структура, виготовлена з використанням гетерування, має ВАХ, що є типовою для кремнієвого діода при відсутності в його активних областях структурних дефектів та небажаних домішок. І навпаки, варикапна структура, виготовлена за базовою технологією, має так звану «м'яку» ВАХ, вигляд якої вказує на наявність в активних областях варикапа структурних дефектів та домішок металів. З порівняння кривих 1 і 2 видно, що застосування гетерування забезпечує належний низький рівень зворотних струмів варикапа.

## Висновки

Спираючись на проведені експериментальні дослідження, можна зробити висновок, що причиною низького відсотка виходу придатних структур варикапа при контролюванні рівня його зворотного струму є дефекти упакування, які утворюються в активних областях діодів під час епітаксії та в процесах проведення високотемпературних технологічних операцій, а також неконтрольовані домішки металів, які попадають на пластини напівпровідника в технологічному процесі виготовлення варикапа.

Розроблена технологія виготовлення структур варикапа з використанням гетерування областю гетера, що створена на зворотній стороні кремнієвої підкладки за допомогою обробки її лазером перед осадженням епітаксіального шару, дозволяє запобігти утворенню структурних дефектів в активних областях структур, що забезпечує зниження рівня зворотних струмів варикапа і підвищення виходу придатних приладів.

Високотемпературний гетеруючий відпал пластин після їх термічного окислення в середовищі аргону, дає можливість суттєво зменшити поверхневий заряд, що запобігає небажаним поверхневим ефектам, таким як тунелювання носіїв струму крізь потенційний бар'єр р-п переходу, міграція іонів по поверхні р-п переходу та поверхневий пробій діодів і, таким чином, виключити струми поверхневого витоку.

Таким чином, розроблена технологія виготовлення структур варикапа дає можливість запобігти утворенню епітаксіальних та окислювальних дефектів упакування в активних областях варикапів і покращити стан поверхні варикапних структур, що забезпечує зниження рівня зворотних струмів варикапів і, як наслідок, підвищення відсотка виходу придатних приладів.

## Список використаної літератури

1. Литвиненко В.М. Фізика та технологія напівпровідникових діодів: монографія. Херсон : ФОП Вишемирський В.С., 2018. 184 с.
2. Ravi K.V. Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 1981. 379 p.
3. Milnes A. G. Deep Impurities In Semiconductors. John Wiley & Sons, New York, 1973. 526 p.
4. Литвиненко В.М., Богач М.В. Моделивання процесів гетерування швидкодифундуючих домішок в технології діодів Шоттки. Вісник ХНТУ, 2019. Т.68. № 1. С. 25–33.
5. Renschi S. Durability of mechanical damage gettering effect in Si wafers // Japanese Journal of Applied Physics, 1984. Vol. 23, № 8. Pt.1. P. 959–964.
6. Литвиненко В.М., Вікулін І.М. Вплив властивостей поверхні на зворотні характеристики напівпровідникових приладів. Вісник ХНТУ, 2018. Т. 64. № 1. С. 46–56.
7. Пятайка М. І., Стрількова Т. О. Дослідження дефектів дислокації в напівпровідникових матеріалах оптичними методами. Приладобудування: стан і перспективи: матеріали XXII Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 16–17 травня 2023 року. Київ, 2023. С. 45–47.
8. Кукурудзяк М.С. Метод «очищення» поверхні фоточутливих елементів кремнієвих р-і-п фотодіодів від дислокацій // Хімія, фізика та технологія поверхні, 2023. Т. 14. № 2. С. 182–190. [https://doi: 10.15407/hftp14.02.182](https://doi.org/10.15407/hftp14.02.182).
9. Кукурудзяк М. С. Різання підкладок алмазним диском у технології кремнієвих р-і-п фотодіодів // Наукові технології, 2022. № 2(54). С. 127–137. <https://doi.org/0000-0002-0059-1387>.
10. Маслов В.П., Н.В. Качур Н.В. Стан та перспективи розвитку оптичних методів неруйнівного контролю внутрішніх напружень та дефектів в оптичних матеріалах // Вісник ЖДТУ, 2014. № 1 (68). С. 66–74. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu\\_2014\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2014_1_12)

## References

1. Litvinenko V.M. (2018) Fyzyka ta tekhnolohiya napivprovodnykovykh diodiv: monograph [Physics and Technology of Semiconductor Diodes]. Kherson. Vyshemirsky V.S., 184 p [in Ukrainian].
2. Ravi K.V. (1981) Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 379 p.
3. Milnes A. G. (1973) Deep Impurities In Semiconductors. John Wiley & Sons, New York, 526 p.
4. Litvinenko V. M., Bohach N. V. (2019) Modeling of heterization processes of fast-diffusing impurities in Schottky diode technology. Visnyk of KhNTU, vol. 68, iss. 1, pp. 25–33 [in Ukrainian].
5. Renschi S. (1984) Durability of mechanical damage gettering effect in Si wafers // Japanese Journal of Applied Physics, vol. 23, no. 8, pt.1, pp. 959–964.
6. Lytvynenko V.M., Vikulin I.M. (2018) Influence of surface properties on reverse characteristics of semiconductor devices. Visnyk of KhNTU, vol. 64, iss.1, pp. 46–56 [in Ukrainian].
7. Pyataikina M. I., Strilkova T. O. (2023) Study of dislocation defects in semiconductor materials by optical methods. Instrument building: state and prospects: materials of the XXII International. science and technology conference, Kyiv, May 16–17, 2023, Kyiv, pp. 45–47 [in Ukrainian].
8. Kuzurziak M.S. (2023) The method of «cleaning» the surface of photosensitive elements of silicon p-i-n photodiodes from dislocations // Chemistry, physics and surface technology, vol. 14, no. 2, pp. 182–190. [https://doi: 0.15407/hftp14.02.182](https://doi.org/10.15407/hftp14.02.182) [in Ukrainian].
9. Kuzurzyak M. S. (2022) Cutting of substrates with a diamond disc in the technology of silicon p-i-n photodiodes // Scientific technologies, no. 2, iss. 54, pp. 127–137. <https://doi.org/0000-0002-0059-1387> [in Ukrainian].
10. Maslov V.P., N.V. Kachur N.V. (2014) Status and prospects of the development of optical methods of non-destructive control of internal stresses and defects in optical materials // Bulletin of ZHTU, no. 1, iss. 68, pp. 66–74. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu\\_2014\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2014_1_12) [in Ukrainian].

М. С. МАЙСТАТ

аспірант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
ORCID: 0000-0002-1875-3946

А. В. КРИВОБОК

аспірант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
ORCID: 0000-0001-5878-8732

## ОГЛЯД НАЯВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КЕРАМІКИ

*Досліджено механічні властивості керамічних матеріалів, зокрема твердість, модуль Юнга, міцність, міцність на розрив, яка є ключовою характеристикою для оцінки стійкості до тріщин, а також модуль Вейбулла.*

*Розглянуті різні режими розриву, такі як чисте розтягнення, плоский та поперечний зсув. Вивчено теорію Гріффіта та поняття коефіцієнта вивільнення енергії деформації ( $G$ ). У роботі також розглядаються методи вимірювання міцності на розрив, включаючи тестування з одностороннім кутом засічки та зигзагоподібною засічкою. Аналізувались дослідження Айрвіна на вплив параметрів пластичності на механізм розриву та розробив різні методи вимірювання міцності на розрив для керамічних матеріалів. Використання цих методів, які передбачають нанесення засічок на зразок та його випробування на згин, дозволяє визначити критичний коефіцієнт інтенсивності напруження. Особливу увагу приділено моделюванню напружень на кінці тріщини та визначенню коефіцієнта інтенсивності напруження ( $K_I$ ) за різних умов. Коефіцієнт інтенсивності напруження способу I ( $K_{Ic}$ ) використовується для визначення міцності при розриві керамічних матеріалів. Додатково, розглядалась модель Вейбулла, яка використовується для статистичного аналізу міцності матеріалів. Вейбулл вводить концепцію слабких ланок у ланцюгу, що аналогічно дефектам у кераміці, які можуть впливати на міцність. Ймовірність відмови матеріалу описується матеріальною функцією Вейбулла. Узагальнюючи, дана робота ставить за мету вивчення механічних властивостей керамічних матеріалів. Використані моделі та методи дозволяють глибше розуміти процеси руйнування матеріалів та визначити їхні характеристики з точністю, необхідною для практичних застосувань у виробництві та інженерії. Отже, дана робота розкриває ключові аспекти механічних властивостей керамічних матеріалів та надає підґрунтя для подальших досліджень у сфері керамічних технологій.*

**Ключові слова:** керамічні матеріали, механічні властивості, твердість, модуль юнга, міцність на розрив.

M. S. MAISTAT

Postgraduate Student at the Department of Ceramic Technology,  
Refractories, Glass and Enamels  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
ORCID: 0000-0002-1875-3946

A. V. KRYVOBOK

Postgraduate Student of the Department of Ceramic Technology, Refractories, Glass and Enamels  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
ORCID: 0000-0001-5878-8732

## REVIEW OF EXISTING METHODS FOR THE INVESTIGATION OF PHYSICAL PROPERTIES OF CERAMICS

*The mechanical properties of ceramic materials have been investigated, specifically hardness, Young's modulus, strength, and fracture toughness, which is a key characteristic for evaluating crack resistance, along with the Weibull modulus. Various fracture modes, such as pure tension, flat, and transverse shear, have been examined. The theory of Griffith and the concept of the strain energy release rate ( $G$ ) have been studied. The study also explores methods for measuring fracture strength, including testing with a single-notch angle and a zigzag notch. Irving's research on the influence of plasticity parameters on the fracture mechanism was analyzed, and various methods for measuring fracture strength in ceramic materials were developed. The use of these methods, involving the application of notches to the specimen and testing it in bending, allows for the determination of the critical stress intensity factor. Special attention is given to modeling stress at the crack tip and determining the stress intensity factor ( $K_I$ ) under various conditions. The stress intensity factor for mode I ( $K_{Ic}$ ) is employed to determine the fracture strength of ceramic materials. Additionally,*

the Weibull model, utilized for statistical analysis of material strength, was examined. Weibull introduces the concept of weak links in a chain, analogous to defects in ceramics that can influence strength. The probability of material failure is described by the Weibull material function. In summary, this work aims to explore the mechanical properties of ceramic materials. The utilized models and methods enable a deeper understanding of material failure processes and the precise determination of their characteristics, essential for practical applications in manufacturing and engineering. Therefore, this study elucidates key aspects of the mechanical properties of ceramic materials and provides a foundation for further research in the field of ceramic technologies.

**Key words:** ceramic materials, mechanical properties, hardness, Young's modulus, strength, fracture strength, Weibull modulus.

### Постановка проблеми

Проблема дослідження фізичних властивостей кераміки становить актуальну тему, оскільки сучасний розвиток технологій та наукових досліджень вимагає глибшого розуміння цих властивостей для оптимізації процесів виробництва, покращення якості та розробки нових матеріалів.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є аналіз існуючих методів дослідження фізичних властивостей кераміки.

### Матеріал і результати досліджень

**Твердість.** Матеріали можуть витягуватися еластично та пластично. У лінійно еластичних матеріалів, таких як кераміка, еластичне деформування виникає, коли застосовується напруження, і матеріал реагує деформацією. Після відсутності напруження матеріал відновлює свою початкову форму. Пластичне деформування виникає, коли на матеріал накладається достатньо велике навантаження, щоб вийти за межі лінійно еластичної області, і матеріал не може відновити свою початкову форму. Через спосіб, яким зазвичай вимірюється, твердість може розглядатися як опір матеріалу невідновлюваній пластичній деформації [1, 2].

Твердість вимірюється вдавлюванням поверхні матеріалу гострим наконечником. Величина твердості зазвичай обчислюється за допомогою рівняння (1), де  $H$  – твердість,  $P$  – навантаження вдавлювання, а « $a$ » – проєкційний розмір вдавлювання Віккерса.

$$H = P/2a^2 \quad (1)$$

На рис. 1 вдавлювання Віккерса показано приклад контактної площі вдавнення. Одиниці твердості – це навантаження на одиницю площі, що дає одиниці тиску. Таким чином, альтернативне визначення твердості – це тиск, необхідний для виклику певного обсягу невідновлюваної пластичної деформації [3].

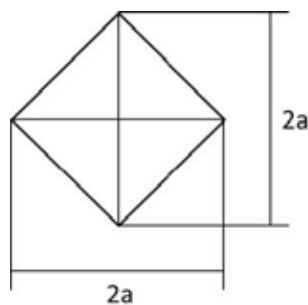


Рис. 1. Схематична діаграма вдавлювання Віккерса, що показує контактну площу вдавнення та розміри « $a$ »

Твердість може використовуватися для контролю якості, і її значення впливає на знос, ерозію та пошкодження при обробці [4]. Для кераміки твердість зазвичай вимірюється одним із двох методів: вдавлюванням Віккерса або Кнопа [1]. Твердість кераміки за методом Віккерса визначається вдавлюванням під пірамідальним індентором (Рис. 1), та замірюються діагональні розміри утвореного вдавнення для визначення контактної площі [29].

Однак індентор Кнопа має відношення довжини до ширини 7:1, що розподіляє навантаження на набагато більшу площу. Це не лише змінює зону деформації під наконечником індентора, але й зменшує кількість тріщин порівняно з вдавлюванням Віккерса [1, 5].

При вимірюванні вдавнення Кнопа вимірюється лише довжина довшої вісі. Засновуючись на геометрії вдавнення, обчислюється проєкційна площа вдавнення, а не контактна площа. Також важливо врахувати, що твердість змінюється з навантаженням, яке використовується для створення вдавнення, яке відоме як «ефект розміру вдавнення». Значення твердості досягають плато, коли навантаження достатньо велике, що може бути визначено шляхом вимірювання твердості при різних навантаженнях. Таким чином, для повного характеризування твердості кераміки важливо розуміти ефект розміру вдавнення, щоб виміряна твердість була показником верхнього ліміту невідновлюваної деформації кераміки [1, 5, 6].

**Модуль Юнга.** Модуль Юнга, відомий також як еластичний модуль, є показником енергії, необхідної для виклику еластичної деформації між зв'язками в матеріалі [7]. Математично модуль Юнга визначається як зміна напруження ( $\sigma$ ) (навантаження на одиницю площі) відносно зміни деформації ( $\epsilon$ ) (зміна довжини на одиницю довжини), як визначено законом Гука та показано в рівнянні 2, де  $E$  – це модуль Юнга [1].

$$E = \sigma/\epsilon \quad (2)$$

На практиці модуль Юнга матеріалу зазвичай вимірюється за допомогою статичних або динамічних методів вимірювання. Найпростіший із статичних методів – це розтягуюче випробування, де напруження та деформація можуть бути записані під час випробування на міцність. Графіки залежності напруження від деформації потім можуть бути побудовані. Для лінійно еластичних матеріалів, таких як кераміка, нахил кривої напруження-деформації є модулем Юнга [8]. Випробування на згин також є більш поширеним через просту геометрію зразка, однак помилки вимірювання модуля Юнга можуть виникати через неоднаковий розподіл напруження та пластичну деформацію під час випробування на згин [1].

Динамічні методи можуть бути більш точними для визначення модуля Юнга з помилкою вимірювання менше 0,1% [9]. У цих методах модуль визначається шляхом виявлення резонансних вібрацій або поширення ультразвукових хвиль через матеріал. Використовуючи імпульсний збуджувач, як описано в ASTM C1259-08<sup>E1</sup>, хвиля згинання надсилається через прямокутний брусок довжиною  $L$ , шириною  $w$ , товщиною  $t$  та масою  $m$  [9]. Частоту згинної хвилі ( $f_1$ ) можна виявити за допомогою п'єзоелектричного перетворювача та використовувати у рівнянні 3 для визначення модуля Юнга ( $E$ ), де  $T_1$  – це корекційний фактор, визначений стандартом.

$$E = 0,9465 \cdot (m \cdot f_1^2 / w) \cdot (L^3 / t^2) \cdot T_1 \quad (3)$$

Порівняно зі статичними методами випробування, вимірювання модуля Юнга за допомогою динамічних методів не вимагає знищення зразків. За допомогою того самого зразка також можуть бути встановлені торсійні хвилі в матеріалі, і їх частоту також можна виміряти. Це дозволяє виміряти модуль зсуву та коефіцієнт Пуассона [9].

**Міцність.** Міцність матеріалу є відносною мірою напруги, необхідної для розриву зв'язків у цьому матеріалі та може бути визначена як максимальна напруга, яку матеріал може витримати при розриві [1]. Якщо поглибитись до атомних зв'язків, міцність впливає з кулонівських сил притягання та відштовхування, що діють на них в електронних орбіталях [1, 7, 10]. Атоми в решітці (рис. 2) мають вибірку відстань взаємодії на основі балансу між силами притягання та відштовхування.

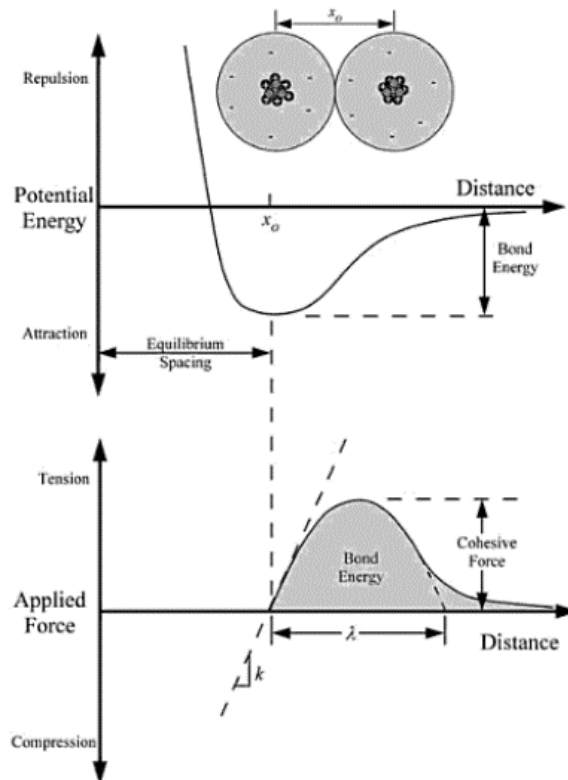


Рис. 2. Потенціальна енергія як функція відстані між атомами, де  $x$  являє собою рівноважну відстань між атомними ядрами [7]

Якщо застосовано зовнішню силу (P), атоми будуть рухатися відносно один одного, змінюючи своє рівноважне положення. Однак для розриву зв'язку до атомної решітки має бути застосована сила, більша за когезійну силу (P<sub>c</sub>). За ідеалізації відношення сили до відхилення як синусоїду, когезійну силу можна визначити за допомогою рівняння 4, де Δ – це зміна атомного відстані при деформації зв'язку, а x – відхилення.

$$P = P_c \cdot \sin(\pi \cdot x / \Delta) \tag{4}$$

Жорсткість зв'язку, k, може бути визначена за допомогою рівняння 5, де k – це відношення навантаження до відхилення.

$$k = P_c \cdot (\pi / \Delta) \tag{5}$$

Поділивши рівняння 5 на кількість зв'язків на одиницю площі, сила, необхідна для розриву атомних зв'язків, стає когезійним напруженням (σ<sub>c</sub>), а жорсткість зв'язку стає модулем Юнга. З використанням цього підходу рівняння 5 може бути переписано у вигляді рівняння 6, яке є базовим рівнянням для теоретичної міцності матеріалу [7].

$$\sigma_c \approx E / \pi \tag{6}$$

Для крихких матеріалів теоретична міцність завищує реальну міцність через концентратори напруг, такі як слабкі зв'язки між кристалічними зернами або дефекти, такі як пори та мікротріщини всередині об'єму матеріалу. В кінцевому рахунку концентратори напруг зменшують максимально досяжну міцність [1]. Гріффіт використав перший закон термодинаміки для моделювання впливу дефектів на міцність. Припускаючи, що тріщина поширюється настільки швидко, що тепловий потік відсутній, Гріффіт запропонував, що механічна робота, вкладена у зразок, дорівнює сумі еластично збереженої потенційної енергії та енергії поверхні на вершині тріщини [1, 11]. Використовуючи рівняння 7, Гріффіт показав, що за умов площинного напруження розрив крихкого твердого тіла під дією напруги (σ<sub>f</sub>) контролюється критичним розміром дефекту (2c<sub>c</sub>), але також пов'язаний з модулем Юнга та енергією поверхні тріщини на одиницю площі (γ) [1]. Пізніше було показано, що термодинамічне значення γ фактично слід замінити більшим значенням енергії поверхні розриву (γ<sub>f</sub>) [1].

$$\sigma_f = (2 \cdot E \cdot \gamma / \pi c_c)^{1/2} \tag{7}$$

Для вимірювання міцності крихких матеріалів зазвичай використовується випробування на згин через його низьку вартість і просту геометрію зразка [1, 12]. ASTM C1161-02c надає вказівки для випробування міцності крихких твердих тіл на згин. Три- та чотирихточкові випробування на згин є популярними методами для вимірювання міцності на згин. Міцність може бути визначена шляхом вимірювання навантаження, необхідного для розриву, та розрахунку міцності за допомогою рівняння 8, де M – це момент сили, у – відстань від нейтральної осі, а I – момент інерції [13].

$$\sigma = M \cdot \gamma / I \tag{8}$$

Діаграми зсуву та моменту показані на рисунку 3 для трьохточкового та чотирихточкового випробувань на згин.

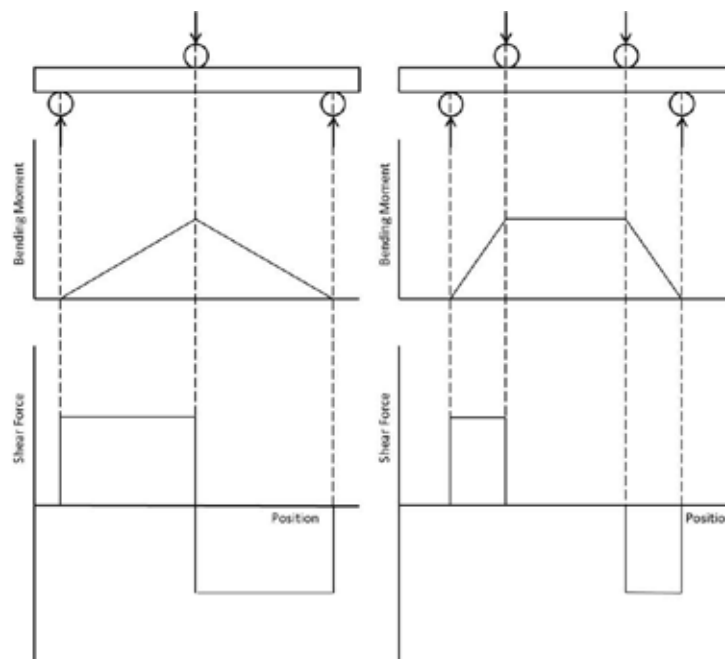


Рис. 3. Діаграми зсуву та моменту для трьохточкового (ліворуч) та чотирихточкового (праворуч) методів випробувань на згин [13]

З діаграм зсуву видно, що зсув присутній по всій довжині бруса під час трьохточкового згину. Також видно, що момент не є постійним по всьому брусу. Навпаки, для чотирихточкового згину зсувна сила нейтралізована, а момент згину постійний між верхніми шпильками. Це робить чотирихточковий згин справжнім виміром міцності на згин, оскільки трьохточковий згин впливає на зсувні сили. Проте випробування на розтягування надає найточніший показник міцності [1].

**Міцність на розрив.** Подолання міцності контролюється наявністю існуючих дефектів і пов'язано з утворенням нових дефектів у зразку, а міцність на розрив є властивістю матеріалу, яка вимірює стійкість до поширення тріщин з цих дефектів [1, 7]. Ця стійкість може бути вимірною, але залежить від способу розриву матеріалу. Матеріали розриваються в одному або кількох режимах, де спосіб I визначено як чисте розтягнення, спосіб II – плоский зсув, а спосіб III – поперечний зсув [1]. На рисунку 4 кожен з цих режимів показано схематично.

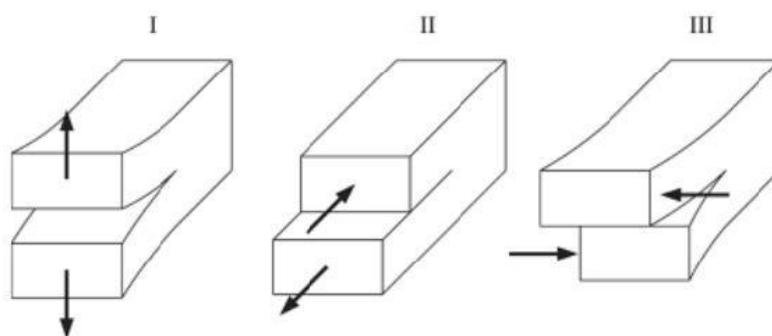


Рис. 4. Схематичне зображення способів розриву I, II і III [1]

Айрвін використав загальну форму теорії Гріффіта для опису сили, що діє на одиничну площу при фронті тріщини [14]. Основуючись на законі збереження енергії, Айрвін визначив відносину для енергії, необхідної для розширення тріщини за допомогою рівняння 9, де  $G$  було визначено Айрвіном як «тенденцію до сили»,  $\delta l_i^{el}$  – відновлюваний приріст деформаційної енергії руху  $F_i$ ,  $\delta U$  – збережена відновлювана енергія деформації або потенційна енергія, а  $\delta A$  – площа нової поверхні, створеної при розриві [14].

$$G = (\sum_i F_i \cdot \delta l_i^{el} - \delta U) / \delta A \quad (9)$$

Спрощена версія, показана в рівнянні 10, покаже, що  $G$  є різницею між механічною роботою ( $\delta W$ ), необхідною для створення нової поверхні, і відновлюваною енергією деформації на одиницю нової площі ( $\delta U$ ), де як робота, так і збережена енергія залежать від навантаження та зміни довжини тріщини [1]. Рівняння 10 показує вивільнення енергії на одиницю площі або коефіцієнт вивільнення енергії, однак  $G$  фактично є показником енергії, доступної для поетапного розширення тріщини [1, 7].

$$G = -(\delta W - \delta U) / \delta A \quad (10)$$

Параметр пластичності матеріалу також змінюється зі збільшенням довжини тріщини. Оскільки пластичність та  $G$  пов'язані змінами у довжині тріщини,  $G$  може бути виміряно як зміна пластичності зі збільшенням довжини тріщини. Айрвін показав, що за умов площинного напруження, коли до центральної тріщини застосовуються чисті розтягуючі напруження,  $G$  може бути обчислений за допомогою рівняння 11, де  $\sigma$  – це прикладене напруження,  $E$  – модуль Юнга, а  $2a$  – відома довжина тріщини, зробивши «а» половиною довжини тріщини [14].

$$G = \pi \cdot \sigma \cdot a / E \quad (11)$$

Критичний коефіцієнт вивільнення енергії деформації,  $G_c$ , може бути визначено, підставивши  $\sigma_c$ , напруження при розриві, замість  $\sigma$ . Коли  $G \geq G_c$ , відбувається розрив. Різні коефіцієнти вивільнення енергії деформації, виміряні при розриві способом I, II або III, також можуть бути додані для визначення  $G_{total}$ .

Айрвін також моделював напруження на елементі біля кінця тріщини, представлене у двох вимірах на рисунку 5 [15].

Він показав, що кожне напруження пов'язане сталою  $K_I$ , і кожне пропорційне відстані  $r$  від кінця тріщини та куту  $\theta$  від передньої частини кінця тріщини [15]. Стала  $K_I$ , відома як коефіцієнт інтенсивності напруження способом I, пов'язана з  $G_I$  через модуль Юнга і може бути обчислена за допомогою рівняння 12.

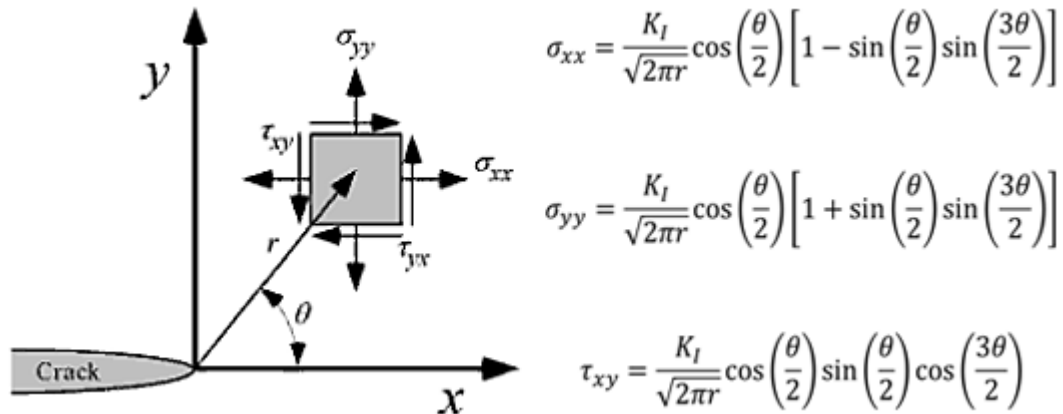


Рис. 5. Напруження елементів на кінці розповсюдженої тріщини [7]

$$G_I = K_I^2/E \tag{12}$$

Після того, як відомо  $K_I$ , можна моделювати всю напружену область навколо кінця тріщини. Знаючи, що певне критичне напруження призведе до розриву матеріалу, також можна визначити критичний коефіцієнт інтенсивності напруження режиму I ( $K_{IC}$ ) та використовувати його для опису міцності при розриві матеріалу. Рівняння 13 показує, як  $K_I$  може бути визначено для нескінченної пластини із тріщиною в товщину [1, 7].

$$K_I = \sigma \cdot \sqrt{(\pi \cdot a)} \tag{13}$$

Хоча коефіцієнт вивільнення енергії деформації корисний,  $K_{IC}$  зазвичай вимірюється для кераміки через тенденцію матеріалів розриватися в режимі, який вимагає найменшої кількості енергії, тобто способі I [1, 16–19]. Однак одним з недоліків використання коефіцієнта інтенсивності напруження є те, що значення не можуть бути додані безпосередньо для отримання  $K_{total}$ , як це можливо з  $G_{total}$ . Однак  $K$  для кожного способу розриву може бути перетворений в  $G$  для кожного способу, і  $G_{total}$  може бути визначено для опису енергії, необхідної для створення нових поверхонь при змішаному способі розриву.

Значення міцності на розрив для кераміки можна визначити кількома різними методами [29]. Для проведення випробувань застосовують методи з одностороннім кутом засічки та зигзагоподібною засічкою, які вимагають нанесення засічок на зразок і випробування його на згин. [1, 16, 18]. За допомогою нанесення засічок відомого розміру створюється відомий дефект, що дозволяє розрахувати  $K_{IC}$  на основі вимірної величини  $\sigma_c$ .

Інші методи використовують індентування для визначення  $K_{IC}$ . Прямий метод вимірювання  $K_{IC}$  через індентування застосовується шляхом виготовлення інденту на матеріалі з достатньою силою для створення радіальних/медіальних тріщин [1, 20]. Починаючи з того, як утворюються радіальні/медіальні тріщини,  $K_I$  спочатку більше, ніж  $K_{IC}$ , і тріщини поширюються. По мірі того як тріщини продовжують поширюватися та збільшуватися в довжину, напруження в точці тріщини буде зменшуватися. Тріщина зупиниться в поширенні, коли  $K_I$  зменшиться нижче  $K_{IC}$ . Довжину радіальних/медіальних тріщин можна виміряти, а рівняння 14 може бути використано для визначення  $K_{IC}$ , де  $\xi$  – емпірично визначена константа ( $0.016 \pm 0.004$ ),  $2c$  – довжина радіальних медіальних тріщин, а  $P$  – навантаження, використовуване для створення тріщин [20].

$$K_{IC} = \xi(E/H)^{1/2} \cdot (P/c^{3/2}) \tag{14}$$

Вимірюючи міцність на розрив за допомогою непрямого методу, індентування гнучкого стрижня для створення радіальних/медіальних тріщин включає в себе розривання слід вирізати пучок для створення радіальних/медіальних тріщин, а потім його розривання. Модифікований непрямий метод передбачає індентування стрижня кілька разів. Розрив відбудеться на радіальній/медіальній тріщині, пов'язаній з одним з індентів, тоді як інші інденти залишаться на межі розриву, і  $K_{IC}$  може бути визначено на основі розміру їхніх радіальних/медіальних тріщин [1].

**Модуль Вейбулла.** Гаусові розподіли часто використовуються для статистичного аналізу наборів даних. Аналізуючи дані для керамічних матеріалів, таких як міцність, гаусові розподіли не враховують дані, які відхиляються від середнього значення. Це стосується крихких матеріалів, де великий дефект може негативно впливати на міцність [21]. В. Вейбулл запропонував матеріальну функцію на основі ймовірності відмови для нескінченно малих об'ємів матеріалу. В кожному сегменті об'єму є можливість наявності дефекту або кількох дефектів. Використання зразків одного об'єму ефективно усуває вплив об'єму зразка на міцність, і, отже, міцність матеріалу визначається розміром та розподілом дефектів [1, 21].



Ці дефекти, позначені як «п», схожі на слабкі ланки у ланцюзі. Ланцюг виходить з ладу в найслабшому місці, так само як і крихкий матеріал розривається в його найбільшому дефекті [1, 21, 22]. Матеріальна функція Вейбулла показана в рівнянні 15, де  $\sigma$  – це середня міцність/напруженість набору зразків,  $\sigma_c$  – параметр масштабу Вейбулла, а  $m$  – модуль Вейбулла [21].

$$n(\sigma) = (\sigma/\sigma_c)^m \quad (15)$$

Параметри  $m$  та  $\sigma_c$  є невідомими і повинні бути визначені емпірично. Параметр масштабу Вейбулла,  $\sigma_c$ , є напруженням, необхідним для того, щоб піддати певний об'єм напруження, який еквівалентний середньому об'ємному відсотку дефектів під напруженням. При цьому напруженні математична ймовірність відмови становить 63%, що дозволяє визначити  $\sigma_c$  за даними про міцність на розрив [21].

Модуль Вейбулла « $m$ » визначається з урахуванням того, що зразок складається з нескінченної кількості малих сегментів, де кожен з цих сегментів має певну ймовірність відмови, що базується на матеріальній функції. Вейбулл показав, що цю ймовірність можна визначити за допомогою рівняння 16, де  $P_s$  – ймовірність виживання [22, 23].

$$P_s = -\exp(n(\sigma)) \quad (16)$$

З емпіричних даних зразки ранжируються від найслабших до найсильніших. Ранг ( $i$ ) і загальна кількість зразків використовуються для визначення  $P_s$  за допомогою рівняння 17, залишаючи  $m$  єдиним невідомим параметром [1].

$$P_s = 1 - ((i - 0,5)/n) \quad (17)$$

Потім модуль Вейбулла можна визначити за допомогою лінійної регресії, побудовавши графік  $\ln(-\ln(1/P_s))$  як функції  $\ln(\sigma)$  і влаштувавши лінію по даним. Кут на цій лінії буде модулем Вейбулла,  $m$  [1]. Потім модуль Вейбулла можна використовувати для порівняння різних наборів даних. Між різними наборами даних більший модуль Вейбулла вказує на більш вузький розподіл міцності для зразків у цьому наборі  $i$ , отже, на більш вузький розподіл розмірів дефектів [1, 22, 23].

Виміряні значення модулів Вейбулла в діапазоні від 8 до 17 були зазначені для комерційних керамічних матеріалів, що робить модуль Вейбулла понад 10 хорошим показником для визначення однорідності між керамічними матеріалами у виробничій партії або між виробничими партіями [24].

#### Висновки

У результаті аналізу останніх досліджень та публікацій, що стосуються механізмів розриву керамічних матеріалів, можна визначити ключові аспекти, які впливають на їхню міцність. Глибокий огляд теорії Гріффіта та моделі Вейбулла дозволяє зрозуміти, що розрив кераміки тісно пов'язаний із наявністю та розміром дефектів у матеріалі.

Висновки дослідження вказують на важливість врахування параметрів Вейбулла при аналізі міцності керамічних матеріалів та підкреслюють їх роль у підвищенні надійності виробництва. Детальний розгляд моделі Вейбулла надає можливість визначити оптимальні умови виробництва та контролювати якість матеріалів, що є критичним аспектом у виробництві керамічних броньових компонентів.

#### Список використаної літератури

1. Wachtman, J. B., Cannon, W. R., & Matthewson, M. J. (2009). *Mechanical properties of ceramics*. John Wiley & Sons.
2. Hays, C., & Kendall, E. G. (1973). An analysis of Knoop microhardness. *Metallography*, 6(4), 275-282.
3. Simes, T. R., Mellor, S. G., & Hills, D. A. (1984). A note on the influence of residual stress on measured hardness. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 19(2), 135-137.
4. Chiang, S. S., Marshall, D. B., & Evans, A. G. (1982). The response of solids to elastic/plastic indentation. I. Stresses and residual stresses. *Journal of Applied Physics*, 53(1), 298-311.
5. Standard, A. S. T. M. (2013). Standard test method for Knoop indentation hardness of advanced ceramics.
6. Krell, A. (1998). A new look at grain size and load effects in the hardness of ceramics. *Materials Science and Engineering: A*, 245(2), 277-284.
7. T. Anderson, T.L., (2005). *Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, Third Edition (3rd ed.)*. CRC Press.
8. Gu, W. H., & Faber, K. T. (1995). Tensile Behavior of Microcracking SiC-TiB<sub>2</sub> Composites. *Journal of the American Ceramic Society*, 78(6), 1507-1512.
9. Standard, A. S. T. M. (2008). Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Impulse Excitation of Vibration.
10. Kittel, C. (2005). *Introduction to solid state physics*. John Wiley & sons, inc.
11. Griffith, A. A. (1921). VI. The phenomena of rupture and flow in solids. *Philosophical transactions of the royal society of london. Series A, containing papers of a mathematical or physical character*, 221(582-593), 163-198.

12. Li, K., & Liao, T. W. (1996). Surface/subsurface damage and the fracture strength of ground ceramics. *Journal of Materials Processing Technology*, 57(3-4), 207-220.
13. Standard, A. S. T. M. (2008). Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature.
14. Irwin, G. R. (1956). *Onset of fast crack propagation in high strength steel and aluminum alloys (No. NRL-4763; PB-121224)*. Naval Research Lab., Washington, DC.
15. Hilmas, G. E., & Tien, T. Y. (1999). Effect of AlN and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> additions on the phase relationships and morphology of SiC Part I Compositions and properties. *Journal of materials science*, 34, 5605-5612.
16. Irwin, G. R. (1957). Analysis of Stresses and Strains Near the End of a Crack Traversing a Plate. *Journal of Applied Mechanics*, 24(3), 361-364.
17. Evans, A. G. (1990). Perspective on the development of high-toughness ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, 73(2), 187-206.
18. Munz, D., Bubsey, R. T., & Shannon Jr, J. L. (1980). Fracture Toughness Determination of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Using Four-Point-Bend Specimens with Straight-Through and Chevron Notches. *Journal of the American Ceramic Society*, 63(5-6), 300-305.
19. Cook, R. F., & Lawn, B. R. (1983). A modified indentation toughness technique. *Journal of the American Ceramic Society*, 66(11), c200-c201.
20. G Anstis, G. R., Chantikul, P., Lawn, B. R., & Marshall, D. B. (1981). A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I, direct crack measurements. *Journal of the American ceramic society*, 64(9), 533-538.
21. Weibull, W. (1939). A statistical theory of the Strength of materials. *Proc. Royal Academy Engrg Science*, 15.
22. Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of applied mechanics*.
23. Gong, J., Si, W., & Guan, Z. (2001). Weibull modulus of fracture strength of toughened ceramics subjected to small-scale contacts. *Journal of materials science*, 36, 2391-2396.
24. Swab, J. J. (2004). Recommendations for determining the hardness of armor ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 1(3), 219-225.

#### References

1. Wachtman, J. B., Cannon, W. R., & Matthewson, M. J. (2009). *Mechanical properties of ceramics*. John Wiley & Sons.
2. Hays, C., & Kendall, E. G. (1973). An analysis of Knoop microhardness. *Metallography*, 6(4), 275-282.
3. Simes, T. R., Mellor, S. G., & Hills, D. A. (1984). A note on the influence of residual stress on measured hardness. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 19(2), 135-137.
4. Chiang, S. S., Marshall, D. B., & Evans, A. G. (1982). The response of solids to elastic/plastic indentation. I. Stresses and residual stresses. *Journal of Applied Physics*, 53(1), 298-311.
5. Standard, A. S. T. M. (2013). Standard test method for Knoop indentation hardness of advanced ceramics.
6. Krell, A. (1998). A new look at grain size and load effects in the hardness of ceramics. *Materials Science and Engineering: A*, 245(2), 277-284.
7. T. Anderson, T.L., (2005). *Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, Third Edition (3rd ed.)*. CRC Press.
8. Gu, W. H., & Faber, K. T. (1995). Tensile Behavior of Microcracking SiC-TiB<sub>2</sub> Composites. *Journal of the American Ceramic Society*, 78(6), 1507-1512.
9. Standard, A. S. T. M. (2008). Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Impulse Excitation of Vibration
10. Kittel, C. (2005). *Introduction to solid state physics*. John Wiley & sons, inc.
11. Griffith, A. A. (1921). VI. The phenomena of rupture and flow in solids. *Philosophical transactions of the royal society of london. Series A, containing papers of a mathematical or physical character*, 221(582-593), 163-198.
12. Li, K., & Liao, T. W. (1996). Surface/subsurface damage and the fracture strength of ground ceramics. *Journal of Materials Processing Technology*, 57(3-4), 207-220.
13. Standard, A. S. T. M. (2008). Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature.
14. Irwin, G. R. (1956). *Onset of fast crack propagation in high strength steel and aluminum alloys (No. NRL-4763; PB-121224)*. Naval Research Lab., Washington, DC.
15. Hilmas, G. E., & Tien, T. Y. (1999). Effect of AlN and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> additions on the phase relationships and morphology of SiC Part I Compositions and properties. *Journal of materials science*, 34, 5605-5612.
16. Irwin, G. R. (1957). Analysis of Stresses and Strains Near the End of a Crack Traversing a Plate. *Journal of Applied Mechanics*, 24(3), 361-364.

17. Evans, A. G. (1990). Perspective on the development of high-toughness ceramics. *Journal of the American Ceramic society*, 73(2), 187-206.
18. Munz, D., Bubsey, R. T., & Shannon Jr, J. L. (1980). Fracture Toughness Determination of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Using Four-Point-Bend Specimens with Straight-Through and Chevron Notches. *Journal of the American Ceramic Society*, 63(5-6), 300-305.
19. Cook, R. F., & Lawn, B. R. (1983). A modified indentation toughness technique. *Journal of the American Ceramic Society*, 66(11), c200-c201.
20. G Anstis, G. R., Chantikul, P., Lawn, B. R., & Marshall, D. B. (1981). A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I, direct crack measurements. *Journal of the American ceramic society*, 64(9), 533-538.
21. Weibull, W. (1939). A Statistical theory of the Strength of materials. *Proc. Royal Academy Engrg Science*, 15.
22. Weibull, W. (1951). A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of applied mechanics*.
23. Gong, J., Si, W., & Guan, Z. (2001). Weibull modulus of fracture strength of toughened ceramics subjected to small-scale contacts. *Journal of materials science*, 36, 2391-2396.
24. Swab, J. J. (2004). Recommendations for determining the hardness of armor ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 1(3), 219-225.

**С. М. ПАШКЕВИЧ**

старша викладачка кафедри транспортних технологій і технічного сервісу  
Національний університет водного господарства та природокористування  
ORCID: 0000-0001-7667-8932

**О. В. МАКАРІЧЕВ**

доктор фізико-математичних наук,  
професор кафедри транспортних систем і технічного сервісу  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-2442-1208

**С. В. СВІЧИНСЬКИЙ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри транспортних систем і логістики  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
ORCID: 0000-0002-8549-1712

**С. В. КОЗАК**

кандидат економічних наук,  
доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу  
Національний університет водного господарства та природокористування  
ORCID: 0009-0006-3204-1861

## АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС РОЗПОДІЛУ ДАЛЬНОСТІ МІСЬКИХ ПЕРЕСУВАНЬ ДО МІЖМІСЬКОГО АВТОВОКЗАЛУ

*Міжміські автовокзали є одним із видів транспортних пересадочних вузлів, до основних функцій яких відносяться забезпечення пересадок пасажирів із внутрішнього міського транспорту на міжміський. Часто це робить їх досить великими пунктами взаємодії видів транспорту, генеруючи значний обсяг відправлень і прибуттів людей для міського пасажирського транспорту. Внаслідок цього вокзали мають певний вплив на розподіл транспортних і пасажирських потоків міською територією. Оцінка даного впливу потребує визначення попиту городян та гостей міста на пересування до автовокзалу та у зворотному напрямку, але на сьогоднішній день моделюванню саме такого попиту приділяється недостатньо уваги – більшість існуючих підходів до вирішення подібної задачі не містять конкретних рекомендацій та кількісних оцінок впливу розташування вокзалу на міську транспортну систему.*

*Задля внеску у вирішення зазначеної проблеми у даній статті проведений аналіз відомих напрацювань стосовно роботи автовокзалів як елементів транспортної системи міст, а також підходів до визначення місць їх розташування. За підсумками даного аналізу встановлено, що для моделювання міського транспортного попиту на пересування до міжміських автовокзалів на початковому етапі потрібно дослідити специфіку генерації та поглинання пересувань городян до транспортно-пересадочного вузла. У даному дослідженні було визначено закономірності у відстанях зазначених пересувань у припущенні про нормальний розподіл точок їх генерації та поглинання. У підсумку були отримані функції розподілу відстаней пересувань до автовокзалу та у зворотному напрямку при різних місцях розташування вокзалу та конфігурації зони його впливу. Дані функції є корисними для галузі транспортного моделювання, оскільки можуть бути використані для розрахунку матриць кореспонденції, котрі відбиватимуть пересування користувачів міжміських транспортно-пересадочних вузлів по місту.*

**Ключові слова:** автовокзал, транспортний попит, транспортна система, міські пасажиропотоки, розподіл відстаней пересувань.

**S. M. PASHKEVYCH**

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies  
and Technical Service  
National University of Water and Environmental Engineering  
ORCID: 0000-0001-7667-8932

**O. V. MAKARICHEV**

D.Sc. in Physics and Mathematics,  
Professor at the Department of Transport Systems and Technical Service  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-2442-1208

S. V. SVICHYNSKYI

Ph.D. in Transport Systems, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Transport Systems and Logistics  
Kharkiv National Automobile and Highway University  
ORCID: 0000-0002-8549-1712

S. V. KOZAK

Ph.D. in Economics,  
Associate Professor at the Department of Transport Technologies  
and Technical Service  
National University of Water and Environmental Engineering  
ORCID: 0009-0006-3204-1861

## ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE TRIP LENGTH DISTRIBUTION FOR URBAN TRIPS TO INTERCITY BUS STATION

*Intercity bus stations belong to the interchange hubs, the main functions of which include providing passengers with options for interchanging between internal urban transport and intercity transport. This often makes them large points of transport modes interaction and generates a significant volume of departures and arrivals for urban passenger transport. As a result, stations have a meaningful impact on the distribution of transport and passenger flows in an urban area. The assessment of this impact requires determining the demand of citizens and city visitors for travelling to and from the bus station, but to date, insufficient attention has been paid to corresponding demand modelling – most existing approaches to solving this task do not contain specific recommendations and quantitative measures to assess the impact of the station location on an urban transport system.*

*In order to contribute to solving this problem, this paper analyses the known developments regarding the operation of bus stations as elements of an urban transport system, as well as approaches to determine their location. Based on the results of this analysis, it is established that at the initial stage, to model urban transport demand for travelling to intercity bus stations, it is necessary to study the specifics of the generation and attraction of citizens' trips to an intercity transport hub. This study was carried out by examining the patterns in these trip distances under the assumption of the normal distribution of their generation and attraction points on the city territory. As a result, the trip length distribution functions for the trips to and from a bus station were obtained for different station locations and the configuration of its zone of influence. These functions are useful for the transport modelling field since they can be used to calculate origin-destination matrices that reflect the trips of intercity transport hub users around the city.*

**Key words:** bus station, transport demand, transport system, urban passenger flows, trip length distribution.

### Постановка проблеми

Останніми роками у багатьох містах України збільшилась увага місцевих муніципалітетів до питань сталої міської мобільності. У цьому контексті серед шляхів зниження навантаження на вулично-дорожню мережу (ВДМ) і покращення екологічної ситуації розглядаються відведення потоків індивідуального транспорту (ІТ) городян та міжміських, у тому числі транзитних транспортних потоків (ТП) від центральної частини на периферію міста [1–4] за рахунок планування будівництва нових міжміських автовокзалів у відповідних місцях або ж перенесення існуючих [5].

За своїм функціональним призначенням міжміські автовокзали відносяться до транспортно-пересадочних вузлів (ТПВ), адже вони, окрім іншого, забезпечують комфортну пересадку між зовнішнім та внутрішнім міським транспортом. Згідно з ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій», до їх складу слід включати місця для очікування пасажирів, стоянки таксі, перехоплюючі стоянки транспортних засобів (ТЗ), місця тимчасового зберігання автомобілів, велостоянки тощо [6]. Технічні параметри даних елементів інфраструктури ТПВ слід визначати, спираючись на пересадочні пасажиропотоки та пасажирообмін зупиночних пунктів (ЗП) у ТПВ з урахуванням рухомості населення міста.

Це вказує на потребу прогнозування попиту міського населення на пересування та встановлення тієї величини попиту, котра відповідає переміщенням містом саме до та з ТПВ. Актуальність вирішення даної задачі підкреслюється тим, що знання попиту на пересування є необхідним для реалізації сучасних принципів транспортного планування, адже створення чи релокація міжміських ТПВ має велику вартість і вплив на міську транспортну систему (ТС).

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день існує велика кількість досліджень процесу пересувань пасажирів, які реалізуються за участі ТПВ. Наприклад, у дисертації [7] розглядаються процеси взаємодії у міських ТПВ, в яких приймають участь пасажирів і маршрутні ТЗ. Моделювання попиту на поїздки, що починаються або продовжуються у ТПВ, відбувається із використанням двоетапної процедури, котра враховує кількісні і часові параметри процесів, які відбуваються у вузлі: прибуття пасажирів до ТПВ представляється найпростішим потоком; приймаються до уваги

ймовірні пересадки між маршрутними ТЗ при транзитних поїздках; при розподілі пасажирів між ТЗ різних маршрутів враховуються параметри вхідного потоку маршрутних ТЗ та час їх перебування у вузлі, котрий залежить від інтервалу руху. Перший етап процедури передбачає визначення кількості пасажирів, що накопичуються у ТПВ протягом певного періоду часу. На другому етапі здійснюється їх розподіл між маршрутними ТЗ. Відповідно, результати роботи [7] є корисними скоріше на рівні мікромоделювання роботи ТПВ, аніж на рівні моделювання пасажиропотоків у міській ТС.

У роботі [8], яка присвячена питанням організації приміських пасажирських перевезень, відзначається важлива роль автостанцій як елемента інфраструктури приміської ММ, котрий забезпечує обслуговування пасажирів при поїздках автобусними маршрутами загального користування та покликаний створити умови для своєчасної та зручної пересадки. У роботі [9] наведений існуючий поділ автостанцій за класами, для котрих зазначено орієнтовну добову кількість відправлень автобусів, але не приділено увагу прогнозуванню обсягу пересувань міського населення, котре буде користуватися даними автобусами. Питання моделювання транспортного попиту тут розглянуті узагальнено та стосуються визначення загальної кількості пересувань приміськими маршрутами. Для прогнозування пересувань пропонується використовувати рухомість населення залежно від дальності поїздок та мети, щільність населення у населених пунктах області, функцію розселення та модифіковану гравітаційну модель розрахунку матриць кореспонденцій (МК). Як функцію розселення пропонується використовувати показниковий розподіл кількості мешканців населених пунктів залежно від їх віддалення від певного центру тяжіння або розподіл щільності населення, що проживає в межах площі обслуговування приміського маршруту залежно від віддалення від певного центру тяжіння [8]. При цьому даний підхід до прогнозування пересувань приміськими маршрутами не дає оцінки впливу цих пересувань на міські ТП.

Дослідженню функціонування ТПВ, через які проходять приміські та міжміські маршрути, а також їх впливу на ТС міста, присвячена робота [10]. У ній презентовано підхід до визначення «притягуючої здатності ТР», яка вважається вихідною інформацією для визначення міської МК ГТ. Дане дослідження отримало розвиток у роботах [11, 12] та дисертації [13], в результаті чого на основі опитування користувачів приміських та міжміських автовокзалів і залізничних станцій було розраховано коефіцієнти мультиноміальних логіт-моделей вибору ТПВ та виду міського транспорту для пересування до нього. При цьому для оцінки кількості пересувань міського населення до та з ТПВ запропоновано використовувати характеристики їх функціонування при визначенні місткостей міських ТР з відправлення та прибуття пасажирів та гравітаційну модель розрахунку МК.

У статті [14] розгляд питання визначення попиту на міські пересування, пов'язані з міжміським ТПВ, обмежується визначенням загальної кількості пасажирів, що пересаджуються на ГТ міста. Розрахунок відбувається на основі середньої кількості пасажирів, що вивозяться із ТПВ транспортними засобами ГТ, кількості зупинок ГТ у ТПВ та їх пропускнуої спроможності.

Стаття [15] присвячена визначенню підходів до рішення задач розташування ТПВ і прогнозу обумовлених ним потоків транспорту та пасажирів. Тут усереднені характеристики руху пасажирських потоків пропонується визначати на основі розподілу кореспонденцій за гравітаційною моделлю, а транспортних – спираючись на рівноважний розподіл.

Що стосується результатів досліджень, опублікованих у іноземних виданнях, то вони здебільшого присвячені вивченню факторів впливу на привабливість міжміських та приміських ТПВ та у меншому ступені торкаються задач визначення попиту на міські поїздки до таких вузлів [16, 17].

Питань попиту городян на послуги ТПВ також торкаються роботи [18, 19]. У книзі [18] зазначається, що попит на поїздки до ТПВ є чутливим до швидкості видів транспорту, котрими можна туди дістатися. Робота [19] містить цілий перелік факторів, котрі, на думку її авторів, мають значний вплив на поїздки до та з ТПВ і включають дохід пасажирів, їх стать, час очікування при поїздки, час та вартість самої поїздки, рівень комфорту у салоні ТЗ та доступність різних видів транспорту для пересування до ТПВ. При цьому жодна з робіт не описує способів визначення впливу місця розташування ТПВ на міські пересування.

Варто зазначити, що як вітчизняні, так і зарубіжні дослідники погоджуються з тим, що рішення про місце розташування міжміських та приміських автовокзалів є доволі важливим для міста. Воно впливає на ефективність роботи ТС різних видів міського транспорту, функціонування ВДМ, рівень транспортного обслуговування населення, розподіл пасажирських і транспортних потоків [3, 4, 20]. У проаналізованих роботах вказується можливість та доцільність застосування функцій розселення та відомих моделей розрахунку кореспонденцій для прогнозування транспортного попиту, пов'язаного із користуванням ТПВ, але в той же час відсутні конкретні рекомендації та кількісні оцінки впливу розташування вузлів на міську ТС і пересування городян та гостей міста у ній.

Підбиваючи підсумок під проведеним аналізом, можна стверджувати, що задача кількісної оцінки впливу місця розташування міжміського автовокзалу в плані міста на міські пасажиропотоки залишається на сьогоднішній день без належної уваги. Для її якісного вирішення потрібно дослідити специфіку генерації та поглинання пересувань городян до міжміського ТПВ, що можна зробити за рахунок вивчення закономірностей у відстанях таких пересувань.

### Формулювання мети дослідження

Закономірності впливу локації ТПВ на розподіл транспортного попиту у міській ТС можна отримати при дослідженні характеристик розташування на території міста точок генерації та поглинання пересувань, зумовлених потребами прямування на автовокзал та у зворотному напрямку. Розташування даних точок задає розподіл дальності досліджуваних пересувань населення міською територією. З огляду на корисність даного розподілу, відзначену при аналізі літературних джерел, метою даної статті буде його аналітичний опис у залежності від місця розташування автовокзалу.

Для цього можна відштовхнутись від факту, встановленого у роботі [21], у якій доведено, що розміщення точок генерації та поглинання суто внутрішньоміських пересувань громадським транспортом (ГТ) добре описується нормальним розподілом кожної з горизонтальних координат таких точок. Ці самі закономірності, поза всяким сумнівом, можуть бути поширені й на індивідуальний транспорт [21–23] для рутинних пересувань на території міста. Добирання, пов'язані із реалізацією потреб у міжміських поїздах, є не дуже частими і дещо специфічними пересуваннями, але гіпотеза про нормальність розподілу місць тяжіння по території міста для них також виглядає достатньо логічною, адже:

- при користуванні для таких добирань громадським транспортом, котрий є основним постачальником перевізних послуг для населення міст України, точки зародження і поглинання пересувань до та з автовокзалу – зупинки ГТ – будуть співпадати з аналогічними точками при міських пересуваннях, для яких нормальність розташування вже є доведеною [21], Тут варто додати, що широке використання ГТ для поїздок в українських містах зумовлює той факт, що більшість місць генерації є спільними або просторово близькими для пасажирів громадського та індивідуального транспорту (ІТ). Тому навіть при використанні ІТ для добирання та повернення з автовокзалу є підстави вважати, що закономірності у розташуванні місць відправлення і прибуття для пересувань ІТ будуть спільними із закономірностями, отриманими стосовно ГТ;

- до експериментальної перевірки не можна виключати можливість схожості характеристик міських частин міжміських пересувань з характеристиками власне міських пересувань;

- розповсюдженню практикою є сумісне обслуговування автовокзалами міжміських та приміських маршрутів, а пасажиропотоки на останніх є досить схожими на міські за місцями генерації на території міста. В додаток до цього, в дисертації [24] було доведено, що закономірність розподілу відстаней між місцями зародження та поглинання приміських пересувань є продовженням аналогічної закономірності, яка існує на території міста;

- генерація і притягування пересувань є частиною процесу формування і реалізації транспортного попиту, котрий знаходиться під впливом багатьох факторів подекуди невідомої для дослідників природи.

Отже, дана стаття буде присвячена аналітичному опису дальності пересувань на автовокзал та у зворотному напрямку в залежності від місця розташування автовокзалу на території міста за умови нормальності розподілу горизонтальних координат точок генерації та поглинання пересувань у місті.

### Викладення основного матеріалу дослідження

#### Аналітична модель дальності міських пересувань до та з автовокзалу

Для побудови аналітичної моделі міську територію доцільно представити декартовою площиною  $XOY$  і висунути гіпотезу про те, що щільність розподілу точок генерації по ній має обмежений межами міста круговий нормальний розподіл із щільністю

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right], \quad (1)$$

де  $(x, y)$  – координати (абсциси та ординати) точок генерації (поглинання) на міській території;

$\sigma$  – середньоквадратичне (стандартне) відхилення координат точок на міській території.

Для аналітичного опису розподілу дальності пересування з міста до ТПВ та у зворотному напрямку найпростішим є випадок розташування автовокзалу у центрі розсіювання пунктів генерації. При такому розташуванні ймовірність здійснення пересувань певної відстані до та з автовокзалу із зоною впливу, площу якої можна представити фігурою  $A$  на згаданій площині  $XOY$ , складатиме

$$P(A) = \iint_A \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right] dx dy. \quad (2)$$

Для зручності подальших перетворень доцільно перейти до представлення розглядуваних точок і пересувань із та до них у полярній системі координат. Нехай полярна вісь у такій системі співпадає із додатною піввіссю  $OX$  та перехід від декартової системи координат до полярної здійснюється по формулах

$$\begin{cases} x = \rho \cos \varphi; \\ y = \rho \sin \varphi. \end{cases} \quad (3)$$

де  $\rho$  – радіальна координата точки у полярній системі, що є відстанню від початку координат до точки;

$\varphi$  – кутова координата (полярний кут) точки у полярній системі.

Після підстановки рівностей (3) у формулу (1) щільність кругового нормального розподілу на площині у полярній системі координат матиме вид

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right], \quad dx dy = \rho d\varphi d\rho. \quad (4)$$

Відповідно, ймовірність знаходження якоїсь точки генерації у певній фігурі  $A$  на площині з круговим нормальним розподілом у полярній системі координат дорівнюватиме

$$P(A) = \iint_A \frac{\rho}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right] d\varphi d\rho \quad (5)$$

Нехай фігура  $A$  є зоною впливу автовокзалу, яка має форму круга радіусу  $R$  із центром у початку координат:

$$A = \{(x, y) : x^2 + y^2 \leq R\} \quad (6)$$

або у полярній системі координат

$$A = \{(\rho, \varphi) : \rho \leq R, 0 \leq \varphi < 2\pi\} \quad (7)$$

Це відповідає випадку розташування автовокзалу у географічному центрі міста і не виключає можливості того, що зона впливу автовокзалу повністю покриватиме міську територію, умовно представлену кругом радіусу  $R$ . Тоді функція розподілу відстаней пересувань із міської території до автовокзалу і в зворотному напрямку матиме вид

$$\begin{aligned} P(A) &= \frac{1}{2\pi\sigma^2} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^R \rho \cdot \exp\left[-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right] d\rho = \left. \begin{array}{l} \rho = \sigma t \\ d\rho = \sigma dt \\ 0 \leq t \leq \frac{R}{\sigma} \end{array} \right| \\ &= \frac{2\pi}{2\pi\sigma^2} \int_0^{\frac{R}{\sigma}} \sigma \cdot t \cdot \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \cdot \sigma dt = \int_0^{\frac{R}{\sigma}} t \cdot \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt = \\ &= \left. \begin{array}{l} u = \frac{t^2}{2} \\ du = t dt \\ 0 \leq u \leq \frac{R^2}{2\sigma^2} \end{array} \right| = \int_0^{\frac{R^2}{2\sigma^2}} \exp(-u) du = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

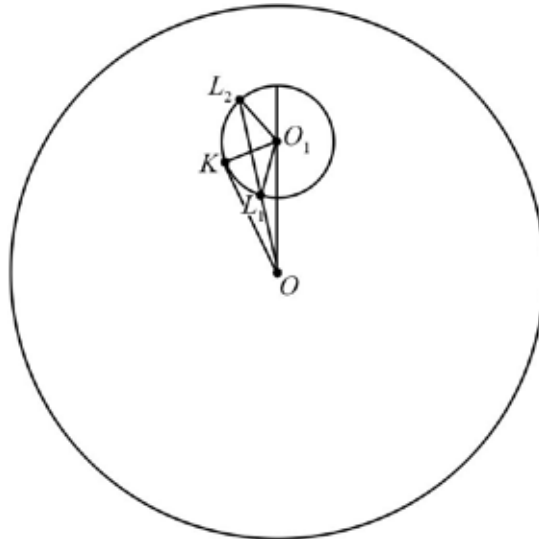
Отримана залежність є простою, інтуїтивно зрозумілою і дозволяє відстежити роль стандартного відхилення в цьому розподілі – воно визначає частину розподілу, яка відноситься до території міста і, відповідно, поза нею. Це є цікавим фактом для експериментальної перевірки гіпотези, оскільки вагомий неврахований хвіст розподілу може викликати сумніви в її правдоподібності.

Більш складним для аналітичного моделювання є випадок локації вокзалу не у міському центрі. Для його розгляду слід ввести додаткове поняття зони впливу автовокзалу, що знаходиться у межах міської території і з якої виконуються пов'язані з ним пересування. Така зона впливу може мати площу меншу або рівну площі міської території.

Нехай точка  $O$  є центром круга, яким умовно можна представити територію міста і в якому населення розподілене нормально, а точка  $O_1$  є центром тяжіння – автовокзалом, – яка лежить на полярній осі (рис. 1).

Відстань між цими двома точками можна позначити через  $d$ , тобто  $|OO_1| = d$ . Далі можна накреслити умовну зону впливу автовокзалу – окружність із центром у точці  $O_1$  радіусу  $x$  – і розглянути ситуацію коли  $0 < d < R/2$  та  $0 < x < d$ . При такому розташуванні і конфігурації зони впливу круг із центром у точці  $O_1$  та радіусом  $x$  розташований усередині круга радіусу  $R$  (рис. 1). Поїздки населення у даному випадку можна розглядати як такі, котрі тяжіють до (з) точки  $O_1$  (автовокзалу) з відстані (на відстань), що не більша за  $x$ . Для того, щоб знайти ймовірність здійснення пересування такої відстані у межах зазначеного круга, необхідно записати подвійний інтеграл. Для його зведення до повторного інтегралу необхідно знайти межі зміни полярного кута та полярного радіусу у цьому крузі із центром у точці  $O_1$  та радіусом  $x$ . Задля цього з точки  $O$  потрібно провести дотичну  $OK$  ( $K$  – точка дотику) до межі даного круга – кола із центром у точці  $O_1$  та радіусом  $x$ , рис. 1.





**Рис. 1. Схематичне зображення розташування автовокзалу на відстані від центру міста із коловою зоною впливу, що знаходиться у межах міської території**

Далі величину кута  $O_1OK$  у радіанах можна позначити як  $\varphi_{\max}$  та у прямокутному трикутнику  $O_1KO$  знайти синус даного кута як відношення довжини протилежного йому катета до довжини гіпотенузи:

$$\sin \varphi_{\max} = \frac{|O_1K|}{|OO_1|} = \frac{x}{d}. \tag{9}$$

Звідси

$$\varphi_{\max} = \arcsin\left(\frac{x}{d}\right). \tag{10}$$

Таким чином, у крузі з центром в точці  $O_1$  радіуса  $x$  полярний кут змінюється у межах від  $-\varphi_{\max}$  до  $\varphi_{\max}$ , тобто  $-\varphi_{\max} \leq \varphi \leq \varphi_{\max}$ .

Поточний промінь із точки  $O$  всередині кута  $O_1OK$  перетне межу круга – коло із центром в точці  $O_1$  радіуса  $x$  – послідовно в точках  $L_1$  і  $L_2$  (рис. 1). Для визначення меж інтегрування полярного радіуса у шуканому повторному інтегралі необхідно знайти довжини відрізків  $OL_1$  і  $OL_2$  (рис. 1).

Нехай кут  $O_1OL_1$  (рис. 1) рівний  $\varphi$  – поточному куту. Величину кута  $OL_1O_1$  (рис. 1) можна позначити через  $\delta$ . Оскільки сума внутрішніх кутів трикутника дорівнює  $\pi$ , кут  $OO_1L_1$  (рис. 1) рівний у радіанах величині  $(\pi - \varphi - \delta)$  і по формулі приведення  $\sin(\pi - \varphi - \delta) = \sin(\varphi + \delta)$ . З теореми синусів для трикутника  $OO_1L_1$  (рис. 1)

$$\frac{\sin(\pi - \varphi - \delta)}{|OL_1|} = \frac{\sin \varphi}{x} = \frac{\sin \delta}{d} \tag{11}$$

або

$$\frac{\sin(\varphi + \delta)}{|OL_1|} = \frac{\sin \varphi}{x} = \frac{\sin \delta}{d}, \tag{12}$$

звідки

$$\sin \delta = \frac{d \sin \varphi}{x} \tag{13}$$

і

$$|OL_1| = \frac{x \sin(\varphi + \delta)}{\sin \varphi} = \frac{x(\sin \varphi \cos \delta + \cos \varphi \sin \delta)}{\sin \varphi}. \tag{14}$$

У дану формулу доцільно підставити вираз (13), а також

$$\cos \delta = -\sqrt{1 - \sin^2 \delta} = -\sqrt{1 - \left(\frac{d \sin \varphi}{x}\right)^2}, \tag{15}$$

адже за побудовою кут  $OL_1O_1$ , тобто  $\delta$ , є тупим і його косинус є від'ємним числом. Таким чином виходить, що

$$\begin{aligned}
 |OL_1| &= \frac{x(\sin \varphi \cos \delta + \cos \varphi \sin \delta)}{\sin \varphi} = \\
 &= \frac{x \left( \sin \varphi \cdot \left[ -\sqrt{1 - \left( \frac{d \sin \varphi}{x} \right)^2} + \cos \varphi \cdot \left( \frac{d \sin \varphi}{x} \right) \right]}{\sin \varphi} = \\
 &= x \left( -\sqrt{1 - \left( \frac{d \sin \varphi}{x} \right)^2} + \cos \varphi \left( \frac{d}{x} \right) \right) = -\sqrt{x^2 - (d \sin \varphi)^2} + d \cos \varphi.
 \end{aligned} \tag{16}$$

Отриману залежність можна позначити через  $\rho_1(\varphi)$  і остаточно записати

$$\rho_1(\varphi) = |OL_1| = d \cos \varphi - \sqrt{x^2 - (d \sin \varphi)^2}. \tag{17}$$

Далі, виходячи із прямокутного трикутника  $O_1OK$  (рис. 1) і теореми Піфагора, можна записати, що  $|OK|^2 = |OO_1|^2 - |O_1K|^2 = d^2 - x^2$ . В той же час  $|OK|^2 = |OL_1| \cdot |OL_2|$ , оскільки із відомої теореми планіметрії квадрат довжини відрізка дотичної до кола рівний добутку довжин відрізків січної. Спираючись на ці дві рівності можна записати наступне:

$$|OL_2| = \frac{|OK|^2}{|OL_1|} = \frac{d^2 - x^2}{|OL_1|}, \tag{18}$$

де  $|OL_1| = \rho_1(\varphi) = d \cos \varphi - \sqrt{x^2 - (d \sin \varphi)^2}$  є отриманою раніше нижньою межею зміни полярного радіуса. Відповідно,

$$|OL_2| = \frac{|OK|^2}{|OL_1|} = \frac{d^2 - x^2}{|OL_1|} = \frac{d^2 - x^2}{\rho_1(\varphi)} = \frac{d^2 - x^2}{d \cos \varphi - \sqrt{x^2 - (d \sin \varphi)^2}} = \rho_2(\varphi) \tag{19}$$

є верхньою межею зміни полярного радіуса.

В результаті ймовірність здійснення пересування до автовокзалу – точки  $O_1$  – з відстані, що не більша за радіус зони його впливу  $x$ , коли  $0 < x < d$ , рівна

$$\begin{aligned}
 F(x) &= \left[ 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \right]^{-1} \int_{-\varphi_{\max}}^{\varphi_{\max}} d\varphi \int_{\rho_1(\varphi)}^{\rho_2(\varphi)} \frac{\rho}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right] d\rho = \\
 &= 2 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \right]^{-1} \int_0^{\varphi_{\max}} d\varphi \int_{\rho_1(\varphi)}^{\rho_2(\varphi)} \frac{\rho}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right] d\rho = \\
 &= \left[ 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \right]^{-1} \int_0^{\varphi_{\max}} d\varphi \int_{\rho_1(\varphi)}^{\rho_2(\varphi)} \frac{\rho}{\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right] d\rho,
 \end{aligned} \tag{20}$$

або

$$\begin{aligned}
 F(x) &= k \int_0^{\varphi_{\max}} d\varphi \int_{\rho_1(\varphi)}^{\rho_2(\varphi)} \frac{\rho}{\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}\right] d\rho = \left. \begin{aligned} &u = \rho^2/2\sigma^2 \\ &du = \frac{\rho}{\sigma^2} d\rho \\ &u_1(\varphi) = \rho_1^2(\varphi)/2\sigma^2 \\ &u_2(\varphi) = \rho_2^2(\varphi)/2\sigma^2 \end{aligned} \right| = \\
 &= k \int_0^{\varphi_{\max}} d\varphi \int_{u_1(\varphi)}^{u_2(\varphi)} \frac{1}{\pi} \exp[-u] du = \frac{k}{\pi} \int_0^{\varphi_{\max}} \{ \exp[-u_1(\varphi)] - \exp[-u_2(\varphi)] \} d\varphi = \\
 &= \frac{k}{\pi} \int_0^{\varphi_{\max}} \left\{ \exp\left[-\frac{\rho_1^2(\varphi)}{2\sigma^2}\right] - \exp\left[-\frac{\rho_2^2(\varphi)}{2\sigma^2}\right] \right\} d\varphi,
 \end{aligned} \tag{21}$$

де  $k = \left[ 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \right]^{-1}$ .

У підсумку функція розподілу відстаней пересувань до автовокзалу при  $0 < x < d < R/2$  матиме вигляд

$$F(x) = \frac{\left[1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right)\right]^{-1}}{\pi} \int_0^{\varphi_{\max}} \left\{ \exp\left[-\frac{\rho_1^2(\varphi)}{2\sigma^2}\right] - \exp\left[-\frac{\rho_2^2(\varphi)}{2\sigma^2}\right] \right\} d\varphi \quad (22)$$

де  $\varphi_{\max}$  представляється виразом (10),  $\rho_1(\varphi)$  – виразом (17),  $\rho_2(\varphi)$  – виразом (19).

Аналогічним чином можна отримати вирази для функції розподілу  $F(x)$ , коли для конфігурації зони впливу автовокзалу  $d \leq x < R-d$  і коли  $R-d \leq x < R+d$ , а також для ситуації більшої віддаленості автовокзалу від центра міста, при якій  $R/2 \leq d < R$ .

Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що отримані аналітичні залежності (8) і (22) відбивають вплив місця розташування автовокзалу на розподіл дальності пов'язаних з ним пересувань. За умови експериментального підтвердження їхньої коректності, вони можуть стати основою для розрахунку матриці кореспонденцій, котра відбиватиме пересування користувачів міжміських ТПВ по місту.

### Висновки

На сьогоднішній день задача кількісної оцінки впливу місця розташування міжміського автовокзалу в плані міста на міські пасажиропотоки залишається без належної уваги. З метою її вирішення були отримані аналітичні вирази функції розподілу відстаней пересувань з міської території до автовокзалу та у зворотному напрямку залежно від його місця розташування та у рамках гіпотези про нормальність розподілу місць тяжіння зазначених пересувань. Ці вирази можуть бути застосовані для побудови транспортних моделей, зокрема при розрахунку матриць кореспонденцій.

Наступним кроком повинна стати експериментальна перевірка зазначених функцій розподілу, для чого потрібно зібрати інформацію про добирання городян та гостей міста з та до автовокзалу. Позитивні результати такої перевірки забезпечать транспортних планувальників інструментом для моделювання міського транспортного попиту, що створюється користувачами міжміських ТПВ.

У разі ж спростування гіпотези про нормальність розподілу координат пунктів відправлення і тяжіння пасажирів міжміського сполучення на території міста доцільним буде використання інших відомих статистичних розподілів, придатних для опису координат пунктів відправлення і призначення поїздок, пов'язаних із прямуманням містом на автовокзал та у зворотному напрямку.

### Список використаної літератури

1. Дульфан С.Б. Про доцільність влаштування перехоплюючих парковок у м. Харкові. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2014. Вип. 116. С. 89–92.
2. Дульфан С.Б. Закономірності впливу «перехоплюючих» парковок на формування транспортних потоків (на прикладі м. Харкова) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2016. 25 с. URL: [https://radats.kname.edu.ua/images/Files/aref\\_dulfan.pdf](https://radats.kname.edu.ua/images/Files/aref_dulfan.pdf).
3. Дронова О., Боклаг Є. Вплив транспортної системи Києва на життя і мобільність його жителів. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Географія. 2017. Вип. 2(67). С. 94–100. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.66.14>.
4. Крепка І.О., Марковський А.І. Класифікація пасажирських транспортних хабів. Теорія та практика дизайну: зб. наук. праць. Архітектура та будівництво. 2022. Вип. 26. С. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2022.26.7>.
5. У великих містах будуть створюватися транспортно-пересадочні вузли для зручної та швидкої пересадки пасажирів між різними видами транспорту : Урядовий портал – Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/u-velikih-mistah-budut-stvoryuvatisya-transportno-peresadochni-vuzli-dlya-zruchnoyi-ta-shvidkoyi-peresadki-pasazhiriv-mizh-riznimi-vidami-transportu-lev-parchaladze> (дата звернення: 06.04.2023).
6. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [введ. 2019-01-10]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 185 с.
7. Вдовиченко В.О. Розвиток науково-технологічних основ взаємодії міського пасажирського транспорту в транспортно-пересадочних вузлах : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2019. 472 с.
8. Кристопчук М.С., Лобашов О.О. Приміські пасажирські перевезення: навч. посібник. Харків: НТМТ, 2012. 224 с.
9. Про затвердження Порядку регулювання діяльності автостанцій : Наказ Мінтрансзв'язку України від 27.09.2010 № 700. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1068-10#Text> (дата звернення: 31.03.2023).
10. Жук М.М., Півторак Г.В. Оцінка притягуючої здатності вузлів зовнішнього транспорту Львова. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Том 30 (69), Ч. 2, № 6. С. 162–169. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/29>.

11. Жук М.М., Півторак Г.В., Гіць І.І., Козак М.М. Прогнозування вибору виду транспорту у разі міських переміщень на основі класифікаційних дерев рішень. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Том 31 (70), № 4. С. 221–226. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/32>.
12. Півторак Г.В., Голомовий В.М., Жила М.П. Оцінка впливу зміни параметрів функції переваги на розподіл попиту на переміщення між транспортними районами міста. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2020. № 2 (15). С. 118–126. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.399>.
13. Півторак Г.В. Визначення параметрів мережі міських пасажирських перевезень на основі моделей теорії корисності з випадковим вибором : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Львів, 2021. 202 с.
14. Стрелко О.Г., Торопов Б.І., Грушевська Т.М., Войцехович В.С., Поповичук Т.О. Дослідження впливу пасажиропотоків на пропускну спроможність транспортних пересадочних вузлів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. Том 33 (72) № 4. С. 271–277. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/41>.
15. Хітров І.О., Кристопчук М.Є. Закономірності формування і розподілу транспортних та пасажирських потоків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С. 324–330. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).324-330](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).324-330).
16. Abdullah A., Yudono A., Adisasmita S.A., Akil A. Determination of Transit Service Accessibility Standard for Intercity Bus Passengers, *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*. 2019. Vol. 7, Issue 2, P. 92–105. DOI: [https://doi.org/10.14246/irspsd.7.2\\_92](https://doi.org/10.14246/irspsd.7.2_92).
17. Petrović M., Mlinarić T., Semanjski I. Location Planning Approach for Intermodal Terminals in Urban and Suburban Rail Transport. *Promet – Traffic & Transportation*. 2019. Vol. 31, № 1. P. 101–111. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i1.3034>.
18. The Transport System and Transport Policy / Van Wee B., Annema J.A., Banister D. Eds. Cheltenham: Edward Elgar. 2013. 424 p.
19. Rahman M., Akther M.S., Recker W. The first-and-last-mile of public transportation: A study of access and egress travel characteristics of Dhaka's suburban commuters. *Journal of Public Transportation*. 2022. Vol. 24. 100025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpuptr.2022.100025>.
20. Кристопчук М.Є., Бичко З.В. До питання розміщення міських транспортно-пересадочних вузлів. *Комуніальне господарство міст*. 2012. № 103. С. 374–378.
21. Horbachov P., Svichynskyi S. Theoretical Substantiation of Trip Length Distribution for Home-Based Work Trips in Urban Transit Systems. *The Journal of Transport and Land Use*. 2018. Vol. 11, № 1. P. 593–632. DOI: <http://dx.doi.org/10.5198/jtlu.2018.916>.
22. Gupta S., Dhameniya S. Base Year Travel Demand Model – Delhi: Report. New Delhi: School of Planning and Architecture, 2016. 22 p.
23. Krizek K.J., McGuckin N. Shedding NHTS Light on the Use of 'Little Vehicles' in Urban Areas. *Transport Findings*. 2019. November. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.32866/10777>.
24. Кочина А.А. Формування пасажиропотоків у приміському сполученні на автомобільному транспорті : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2020. 22 с.

#### References

1. Dulfan, S. (2014) Pro dotsilnist vlashtuvannia perekhopliuiuchykh parkovok u m. Kharkovi [About Expediency Device Intercepting Parking in Kharkiv City]. *Municipal Economy of Cities*, no. 116, pp. 89–92.
2. Dulfan, S. (2016). Zakonomirnosti vplyvu «perekhopliuiuchykh» parkovok na formuvannia transportnykh potokiv (na prykladi m. Kharkova) [Laws of influence of «ride» parking on the formation of traffic (for example, Kharkiv)]. [PhD dissertation, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv]. Kharkiv. [https://radats.kname.edu.ua/images/Files/aref\\_dulfan.pdf](https://radats.kname.edu.ua/images/Files/aref_dulfan.pdf).
3. Dronova, O., & Boklah Ye. (2017). Vplyv transportnoi systemy Kyieva na zhyttia i mobilnist yoho zhyteliv [The Impact of the Kyiv Transport System on Citizens Life and Mobility]. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Georraphy*. Вип. 2(67). С. 94–100. <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.66.14>.
4. Krepka, I.O., & Markovskiy A.I. (2022). Klasyfikatsiia pasazhyrskykh transportnykh khabiv [Classification of Passenger Transport Hubs]. *Theory and Practice of Design, Architecture and Construction*, no. 26, pp. 53–60. <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2022.26.7>.
5. U velykykh mistakh budut stvoriuvatysia transportno-peresadochni vuzly dlia zruchnoi ta shvydkoi peresadky pasazhyriv mizh riznymy vydamy transportu [In large cities, transport hubs will be established for convenient and quick passenger interchanges between different transport modes]. Article retrieved from Government Portal: <https://www.kmu.gov.ua/news/u-velikih-mistah-budut-stvoriuvatysya-transportno-peresadochni-vuzli-dlya-zruchnoyi-ta-shvydkoyi-peresadki-pasazhiriv-mizh-riznimi-vidami-transportu-lev-parchaladze>.
6. Ministry of Communities and Territories Development (2019). Planuvannia ta zabudova terytorii [Territory Planning and Development] (ДБН Б.2.2-12:2019). Minregion.

7. Vdovychenko, V. (2019). Rozvytok naukovo-tehnologichnykh osnov vzaiemodii miskoho pasazhyrskoho transportu v transportno-peresadochnykh vuzlakh [Development of scientific and technological bases of interaction of urban passenger transport in transport hubs]. [DSc dissertation, Kharkiv National Automobile and Highway University]. Kharkiv. [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_Vchena\\_rada/VR\\_64\\_059\\_02/dis\\_\\_Vdovychenko.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Vchena_rada/VR_64_059_02/dis__Vdovychenko.pdf).
8. Krystopchuk, M., & Lobashov, O. (2012). Prymiski pasazhyrski perevezennia [Suburban Passenger Transportation]. Kharkiv: HTMT.
9. On Approval of the Procedure for Regulation of Bus Stations, Order of 27.09.2010 No. 700. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1068-10#Text>.
10. Zhuk, M., & Pivtorak H. (2019). Otsinka prytiakhuiuchoi zdatnosti vuzliv zovnishnoho transportu Lvova [The Evaluation the Flow Attracted by External Transport Hub in Lviv]. *Scientific Notes of Vernadsky Kyiv Polytechnic National University. Series: Technical sciences*, vol. 30(69), part 2, no 6, pp. 162–169. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/29>.
11. Zhuk M.M., Pivtorak H.V., Gits I.I., Kozak M.M. Prohnozuvannia vyboru vydu transportu u razi miskykh peremishchen na osnovi klasyfikatsiinykh derev rishen [Forecasting the Mode Choice of Transport for Urban Movements Using Classification Decision Trees]. *Scientific Notes of Vernadsky Kyiv Polytechnic National University. Series: Technical sciences*, vol. 31(70), no 4, pp. 221–226. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/32>.
12. Pivtorak, H., Holomovzyy, V., & Zhyla, M. (2020). Otsinka vplyvu zminy parametriv funktsii perevahy na rozpodil popytu na peremishchennia mizh transportnymi raionamy mista [Assessment of the influence of changes in the parameters of the utility function on the trip distribution between the transport zones of the city]. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*, no. 2 (15), pp. 118–126. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.399>.
13. Pivtorak, G. (2021). Vyznachennia parametriv merezhi miskykh pasazhyrskykh perevezen na osnovi modelei teorii korisnosti z vypadkovym vyborom [Determination of parameters of urban passenger transportation network based on models of random utility theory]. [PhD dissertation, Lviv Polytechnic National University]. Lviv. <https://lpnu.ua/spetsrady/k-3505220/pivtorak-galyna-vasylivna>.
14. Strelko, O., Toropov, B., Hrushevska, T., Voitsehovich, V., & Popovychuk, T. (2022). Doslidzhennia vplyvu pasazhyropotokiv na propusknu spromozhnist transportnykh peresadochnykh vuzliv [Research of the Influence of Passenger Flows on the Capacity of Transfer Nodes]. *Scientific Notes of Vernadsky Kyiv Polytechnic National University. Series: Technical sciences*, vol. 33 (72), no. 4. pp. 271–277. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/41>.
15. Khitrov, I., & Krystopchuk M. (2020). Zakonomirnosti formuvannia i rozpodilu transportnykh ta pasazhyrskykh potokiv [Regularities of Formation and Distribution of Transport and Passenger Flows]. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, no. 3(34), pp. 324–330. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).324-330](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).324-330).
16. Abdullah, A., Yudono, A., Adisasmita, S.A., & Akil A. (2019). Determination of Transit Service Accessibility Standard for Intercity Bus Passengers, *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, vol. 7, issue 2, pp. 92–105. [https://doi.org/10.14246/irspsd.7.2\\_92](https://doi.org/10.14246/irspsd.7.2_92).
17. Petrović, M., Mlinarić, T., & Semanjski, I. (2019). Location Planning Approach for Intermodal Terminals in Urban and Suburban Rail Transport. *Promet – Traffic & Transportation*, vol. 31, no. 1. pp. 101–111. <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i1.3034>.
18. Van Wee, B., Annema, J.A., & Banister, D. (Eds.). (2013). *The Transport System and Transport Policy*. Cheltenham: Edward Elgar.
19. Rahman, M., Akther, M.S., & Recker, W. (2022). The first-and-last-mile of public transportation: A study of access and egress travel characteristics of Dhaka’s suburban commuters. *Journal of Public Transportation*, vol. 24, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.jpubtr.2022.100025>.
20. Krystopchuk, M., & Bychko, Z. (2012). Do pytannia rozmishchennia miskykh transportno-peresadochnykh vuzliv [On the Issue of Placement of Urban Transport and Interchange Hubs]. *Municipal Economy of Cities*, no. 103, pp. 374–378.
21. Horbachov, P., & Svichynskyi, S. (2018). Theoretical Substantiation of Trip Length Distribution for Home-Based Work Trips in Urban Transit Systems. *The Journal of Transport and Land Use*, vol. 11, no. 1, pp. 593–632. <http://dx.doi.org/10.5198/jtlu.2018.916>.
22. Gupta, S., & Dhameniya, S. (2016). *Base Year Travel Demand Model – Delhi* (Report). New Delhi: School of Planning and Architecture.
23. Krizek, K.J., & McGuckin, N. (2019). Shedding NHTS Light on the Use of ‘Little Vehicles’ in Urban Areas. *Transport Findings*, November, pp. 1–6. <https://doi.org/10.32866/10777>.
24. Kochina, A. (2020). Formuvannia pasazhyropotokiv u prymiskomu spoluchenni na avtomobilnomu transporti [Formation of Passenger Flows in Suburban Traffic by Road Transport]. [PhD dissertation, Kharkiv National Automobile and Highway University]. Kharkiv. [https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_Vchena\\_rada/VR\\_64\\_059\\_02/aref\\_Kochina.pdf](https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Vchena_rada/VR_64_059_02/aref_Kochina.pdf).

О. В. ПІПКО

магістр кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
Технічний університет «Метінвест Політехніка»  
ORCID: 0009-0006-3543-904X

І. А. ГЕТЬМАН

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
Технічний університет «Метінвест Політехніка»  
ORCID: 0000-0003-1835-425

М. А. ДЕРЖЕВЕЦЬКА

кандидат економічних наук,  
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень  
Технічний університет «Метінвест Політехніка»  
ORCID: 0000-0002-9952-499

## АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДЛЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ, ЩО ВИПАЛЮЄТЬСЯ

*Актуальність ефективного використання енергоресурсів у виробництві та економія природного газу визначають необхідність удосконалення систем математичного моделювання тунельних печей. Стаття розглядає проблему зменшення витрат природного газу та покращення якості продукції шляхом оптимізації співвідношення газу та повітря. У роботі розглядаються три основні схеми регулювання співвідношення природний газ/повітря. Автори пропонують перейти на рівень MES-системи, інтегруючи математичні моделі існуючої та пропонованої систем. Моделювання дозволяє довести можливість оптимізації горіння, зменшення витрат газу та точніше визначити температурні параметри. Додатково розглядається обмін даними між програмною системою моделювання та автоматизованою системою управління, що спрощує контроль технологічного процесу та дозволяє автоматично формувати режимну карту агрегату. Стаття також висвітлює переваги інтеграції штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації регулювання пальників у тунельних печах. Це дозволяє розглядати не лише традиційні методи, але і розвивати нові підходи до ефективного використання енергоресурсів. Підкреслює необхідність використання передових технологій для автоматизації та оптимізації процесів, що стосуються споживання природного газу в тунельних печах. Майбутні плани включають розширення системи на інші види енергоресурсів для ще більшої оптимізації роботи технологічного агрегату та точного визначення собівартості продукції на етапі замовлення. Ця робота є кроком до створення більш універсальних та ефективних систем управління енерговитратами в промисловості, які будуть пристосовані до різних видів виробництва та типів енергетичних ресурсів. При цьому акцентується на важливості збереження енергії та зниженні витрат природного газу, сприяючи при цьому якісному підвищенню виробничих показників.*

**Ключові слова:** тунельна піч, енергоефективність, математичне моделювання, MES-система, співвідношення газу/повітря, автоматизована система управління, прогнозування витрат газу.

O. V. PIPKO

Master at the Department of Digital Technologies  
and Project-Analytical Solutions  
Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC  
ORCID: 0009-0006-3543-904X

I. A. GETMAN

Ph.D. (Technology), Lecturer at the Department of Digital Technologies  
and Project-Analytical Solutions  
Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC  
ORCID: 0000-0003-1835-425

M. A. DERZHEVETSKA

Ph.D. (Economics), Lecturer at the Department of Digital Technologies  
and Project-Analytical Solutions  
Technical University “Metinvest Polytechnic” LLC  
ORCID: 0000-0002-9952-499

## ANALYSIS OF THE SUBJECT AREA FOR THE SOFTWARE SYSTEM OF MATHEMATICAL MODELING OF A TUNNEL OVEN IN ORDER TO REDUCE NATURAL GAS CONSUMPTION AND IMPROVE THE QUALITY OF FIRED PRODUCTS

The relevance of efficient use of energy resources in production and saving of natural gas determine the need to improve mathematical modelling systems for tunnel oven. The article considers the problem of reducing natural gas consumption and improving product quality by optimising the gas/air ratio. Three main schemes for regulating the natural gas/air ratio are considered. The authors propose to move to the MES system level by integrating mathematical models of the existing and proposed systems. The modelling allows to prove the possibility of combustion optimisation, reduction of gas consumption and more accurate determination of temperature parameters. In addition, the authors consider data exchange between the modelling software system and the automated control system, which simplifies process control and allows automatic generation of the unit's mode map. The article also highlights the benefits of integrating artificial intelligence and machine learning to optimise burner control in tunnel oven. This allows us to consider not only traditional methods, but also to develop new approaches to the efficient use of energy resources. It emphasises the need to use advanced technologies to automate and optimise processes related to natural gas consumption in tunnel oven. Future plans include the expansion of the system to other types of energy resources to further optimise the operation of the process unit and accurately determine the cost of production at the ordering stage. This work is a step towards creating more versatile and efficient energy management systems in industry that will be adapted to different types of production and types of energy resources. It emphasises the importance of energy conservation and reducing natural gas consumption, while contributing to a qualitative improvement in production performance.

**Key words:** tunnel oven, energy efficiency, mathematical modelling, MES-system, gas/air ratio, automated control system, gas consumption forecasting.

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день дуже актуальною проблемою є економія енергоресурсів, оскільки вартість їх постійно зростає, в тому числі і природного газу. Тому їх економія стає дуже актуальним питанням. Наприклад, на основі даних, які є у вільному доступі, вартість природного газу на протязі 2022 року зросла з 12242 грн. за 1000 м<sup>3</sup> до 28972 грн. за м<sup>3</sup> по максимальному значенню (табл. 1, рис. 1), що у відсотковому еквіваленті дорівнює 136%.

З економічної точки зору чим менше використовується при використанні енергоресурсів, чим буде меншою собівартість кінцевої продукції. Тому економія енергоресурсів стає дуже актуальним питанням.

Таблиця 1

Зміна вартості газу за 2022 рік

№ з/п	Дата	Вартість, грн	Відсоток збільшення відносно попереднього періоду, %	Відсоток збільшення відносно початку року, %
1	01.02.2022	12242	-	-
2	01.04.2022	13656	11,55	11,55
3	01.07.2022	28972	112,16	136,66
4	01.10.2022	26279	-9,30	114,66
5	01.01.2023	19100	-27,32	56,02

Один із способів, який дозволяє забезпечити економію природного газу – це забезпечити найбільш якісний режим паління за рахунок оптимального співвідношення природний газ/повітря. Саме за рахунок цього досить розповсюдженого способу і пропонуватиметься зменшити витрату природного газу.

### Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає в аналізі існуючих схем оптимального співвідношення природний газ/повітря в тунельних печах з метою забезпечення економії природного газу та покращення якості випалюваної продукції. Обґрунтування важливості цієї теми базується на необхідності ефективного використання енергоресурсів, зокрема природного газу, в умовах зростання його вартості. Аналізуючи існуючі схеми регулювання співвідношення

природний газ/повітря, можна визначити їхні переваги та недоліки. На сьогоднішній день, важливо розглядати не лише традиційні методи, але й розвивати нові підходи для оптимізації цього співвідношення. Наприклад, можна розглянути використання передових технологій, таких як штучний інтелект або машинне навчання, для автоматизації та оптимізації регулювання пальників у тунельних печах.



Рис. 1. Зміна вартості газу за 2022 рік

### Викладення основного матеріалу дослідження

На сьогоднішній день отримало розповсюдження три основні схеми по реалізації оптимального співвідношення природний газ/повітря: з використанням зворотних зв'язків від виконавчих пристроїв природного газу та повітря; з використанням сигналів від датчиків тиску на пальнику на природному газі та повітрі; з використанням сигналів від датчиків тиску на пальнику на природному газі та повітрі, а також сигналу від киснеміра на димових газах [1].

В першому випадку на етапі теплотехнічної наладки задаються значення режимної картки (крапки оптимального співвідношення природний газ/повітря), після чого вони записуються у контролер і контролеру подальшому працює по цій кривій. При цьому вважається, що тиск природного газу в колекторі залишається незмінним. А це не завжди відповідає дійсності. Відповідно при зміні тиску природного газу на вході порушується задане співвідношення та оптимальний режим паління. Також при наявності стабільного тиску природного газу співвідношення може порушуватися завдяки тому, що калорійність природного газу, його хімічний склад може змінюватися.

Основними елементами такої системи є два виконавчі пристрої, які розташовані на газопроводі та повітропроводі. На кожен з них підведено сигнал управління та сигнал зворотного зв'язку стосовно положення засувки виконавчого пристрою. Окремо варто відзначити, що такі системи стосовно розрідження працюють на природній тязі (рис. 2) [1, 2].

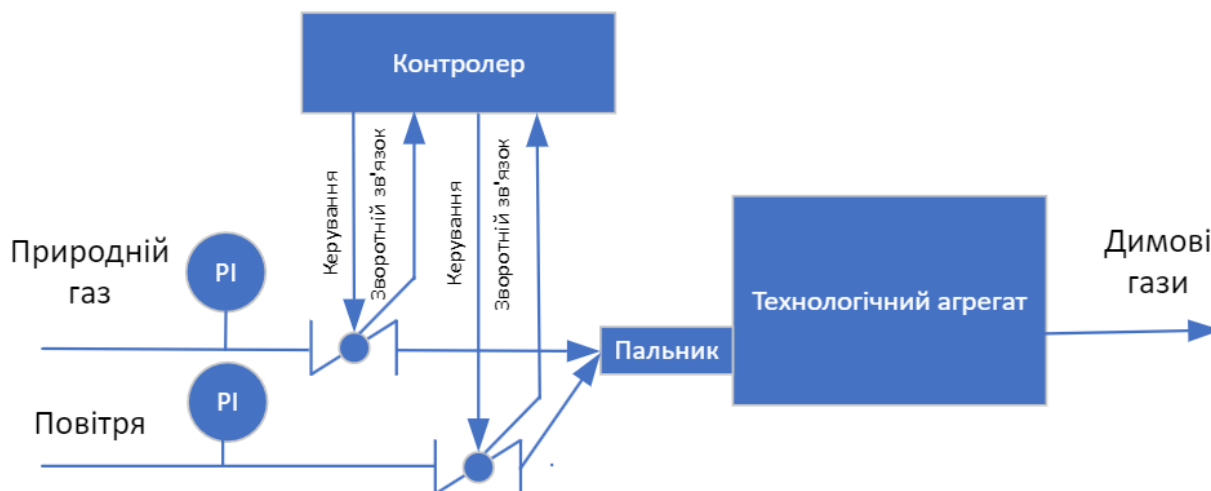


Рис. 2. Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря



На кожен з них підведено сигнал управління та сигнал зворотного зв'язку стосовно положення засувки виконавчого пристрою. Окремо варто відзначити, що такі системи стосовно розрідження працюють на природній тязі. З економічної точки зору така схема буде дуже погано працювати. При найменшому порушенні співвідношення природний газ/повітря буде утворюватися недопал, не весь природний газ буде спалюватись або частина тепла з зайвим повітрям буде вилітати з топки печі. Як правило, такі системи використовуються на невеличких технологічних агрегатах, наприклад, водогрійний котел НІСТУ-5 (рис. 3) [3].



Рис. 3. Водогрійний котел НІСТУ-5, внутрішня частина

В нашому випадку таку систему недоцільно використовувати, оскільки забезпечити якісний режим паління вона не зможе на такому технологічному агрегаті, як тунельна піч.

Друга схема, яка отримала велике розповсюдження – це використання датчиків тиску природного газу та повітря (рис. 4) [1, 2]. Замість значень сигналів зворотного зв'язку в цьому випадку використовується уніфіковані токові сигнали з датчиків тиску природного газу та повітря.



Рис. 4. Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря

Також варто відзначити, що до складу такої системи входить димотяг разом з контуром управління, який регулює розрідження в топці технологічного агрегату.

Такий підхід дозволяє вирішити проблему з коливанням тиску природного газу в колекторі, оскільки підтримується саме задане значення тиску. Відповідно підтримувати оптимальне співвідношення газ/повітря буде значно простіше. Проте при коливаннях калорійності природного газу можливі порушення співвідношення. Такі системи використовуються, наприклад, на таких агрегатах, як водогрійні котли серії ПТВМ (рис. 5) [5] або КВГМ, наприклад КВГМ-6,5-150 (рис. 6) [5]. У випадку тунельної печі даний спосіб недоцільно використовувати, оскільки забезпечити якісний режим паління така реалізація не дозволить, оскільки вона не дозволить забезпечити оптимальне співвідношення природний газ/повітря.

Ще один більш просунутий та більш якісний спосіб базується на використанні датчиків тиску природного газу та повітря разом з киснеміром [1]. Останній дозволяє оцінити якість згорання природного газу за рахунок визначення відсотку кисня в димових газах. Саме зараз така система і працює на тунельній печі. Зовнішній вигляд тунельної печі наведено на рисунку 7 [5].



Рис. 5. Водогрійний котел серії ПТВМ (Зовнішній вигляд)



Рис. 6. Водогрійний котел КВГМ-6,5-150



Рис. 7. Зовнішній вигляд тунельної печі

Останній дозволяє визначити якість згорання природного газу за допомогою вимірювання концентрації кисню в димових газах. В усьому іншому ця схема аналогічна раніше наведеній, котра базується на використанні сигналів датчиків тиску природного газу та повітря.

Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря разом з киснеміром наведена на рисунку 8 [6]. Фактично єдиною зміною у неї є додавання киснеміру.

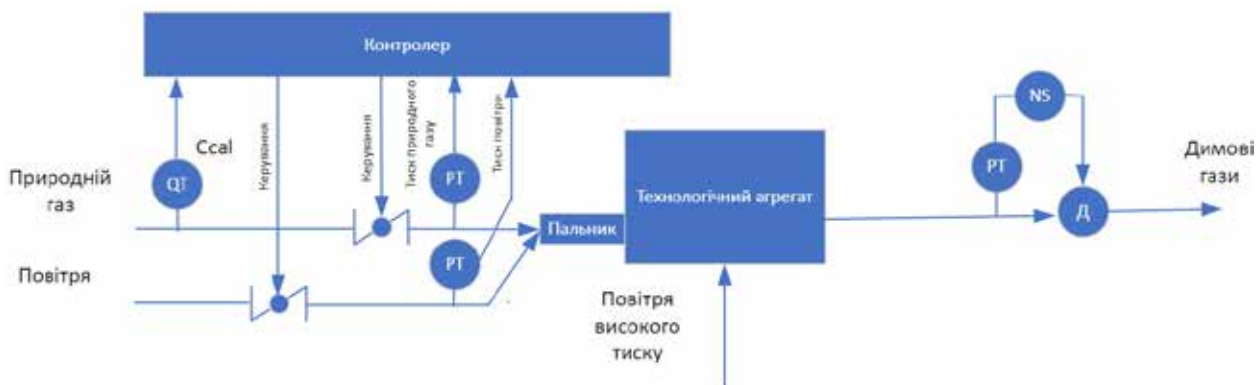


Рис. 8. Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря разом з киснеміром

У цієї схеми є два суттєвих недоліки. Перший із них – топка печі негерметична, відповідно, присутні підсмоктування повітря. Також до топки печі подається повітря високого тиску. Як результат, визначити точно відсоток кисню у димових газах, який після паління неможливо. Також при коливаннях калорійності газу можуть бути проблеми, які призведуть до порушення оптимального співвідношення природний газ/повітря.

Відповідно така схема працеспроможна у нашому випадку, але забезпечити максимальну якість згорання природного газу вона не може. Річ в тому, що в топці печі, окрім повітря паливників, подається також і повітря високого тиску. Відповідно оцінити якість згорання природного газу неможливо, оскільки в димових газах будуть присутні і повітря паливників, і повітря високого тиску. Для якісного згорання природного газу пропонується використати калориметр, який в режимі реального часу буде визначати кількість калорій у природному газі. Відповідно можна буде точно задати на певну температуру у топці печі кількість калорій природного газу, витрату та тиск природного газу разом з тиском повітря.

Фактично така система дозволить ще до створення обурення налаштувати співвідношення природний газ/повітря. Також вона не буде залежати від концентрації кисню в димових газах. Саме таку систему пропонується змонтувати на тунельній печі.

Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря разом з калориметром наведена на рисунку 9. Фактично єдиною зміною у неї є відсутність киснеміру, та додавання калориметру.



Рис. 9. Схема використання датчиків тиску природного газу та повітря разом з калориметром

Від попередньої схеми вона буде відрізнятися лише тим, що буде відсутній киснемір, а замість нього буде встановлений калориметр. За рахунок цього повинен бути забезпечений більш якісний режим паління природного газу, який не буде залежати від тих факторів, на які не можна вплинути або не можливо точно виміряти.

### Висновки

Наведена раніше інформація стосується автоматизованої системи управління технологічним процесом. В нашому ж випадку більш доцільно перейти на рівень MES-системи, до складу якої ввійде дві математичні моделі: для існуючої системи та для пропонуємої. Виконати два різних моделювання та доказати можливість покращення горіння палива, зменшення його витрати за рахунок оптимального співвідношення природний газ /

повітря, покращення якості продукції в кінцевому підсумку за рахунок більш точного дотримання значення температур кривої нагрівання. Також потрібно уділити увагу розрідженню, значення якого потрібно буде точно визначити на етапі моделювання за допомогою чисельних методів.

Також пропонується налаштувати обмін даними між програмною системою математичного моделювання тунельної печі з метою зменшення витрати природного газу та покращення якості продукції, що випалюється, та автоматизованою системою управління технологічним процесом тунельної печі. Це дозволить автоматично формувати режимну карту технологічного агрегату. Це дозволить спростити контролювання технологічного процесу випалювальником.

Крім того, такий підхід дозволить також прогнозувати витрати природного газу на випалення продукції. А це, в свою чергу, дозволить визначити, хай і частково, собівартість продукції.

Якщо в майбутньому таку систему промаштабувати та доповнити математичними моделями тунельної печі по іншим видам енергоресурсів (наприклад, електроенергії або стисненого повітря), то можна буде ще більше оптимізувати роботу технологічного агрегату та більш точно визначити собівартість продукції ще на отриманні замовлення.

Перспективою є розробка програмної системи математичного моделювання, яка враховуватиме нові підходи та дозволить визначити оптимальні параметри для досягнення економії ресурсів та підвищення якості випалюваної продукції.

### Список використаної літератури

1. А.М. Тігарев, Т.Г. Тігарева. Удосконалення систем регулювання водогрійних котлів. Журнал «Інформатика та математичні методи в моделюванні». 2022. Т. 1–2, С. 94–102. URL: [http://immm.op.edu.ua/files/archive/n1-2\\_v12\\_2022/immm\\_n1-2\\_v12\\_2022.pdf](http://immm.op.edu.ua/files/archive/n1-2_v12_2022/immm_n1-2_v12_2022.pdf)
2. Конспект лекцій з дисципліни «Автоматизація теплових процесів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, Кам'янське : ДДТУ, 2019. С. 138. URL: [https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-z\\_kl58.pdf](https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-z_kl58.pdf)
3. Котел НІСТУ-5, URL: <https://mmzavod.com.ua/index.php/kotly-vodogrejnye/kotel-niistu-5>
4. Котли серій KB-ГМ та ПТВМ, URL: [https://energetik.ua/catalog/vodogriyni\\_kotly/kotli-vodogriyni-serii-ptvm/](https://energetik.ua/catalog/vodogriyni_kotly/kotli-vodogriyni-serii-ptvm/)
5. Тунельна піч для випалу цегли: огляд, різновиди, технологія, URL: <http://poradu24.com/remontu/tunelna-pich-dlya-vipalu-cegli-oglyad-riznovidy-tekhnologiya.html>
6. Регулювання співвідношення паливо/повітря, URL: <https://studfile.net/preview/9229697/page:4/>
7. Анастасенко С.М., Бугрім Л.І., Білюк І.С., Гаврилов С.О., Жигуліна В.В., Семенов М.М., Шостак О.В. А64 Основи автоматизації об'єктів теплоенергетики. Навчальний посібник для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика». Миколаїв: НУК, Львів, «Новий Світ-2000», 2020. 111 с. URL: <https://rep.nuos.edu.ua/server/api/core/bitstreams/212f1c0c-2e94-43ef-a85a-52434576eb21/content>

### References

1. Tigaryev, A. M., & Tigaryeva, T. G. (2022). Improvement of control systems for water boilers. Informatics and Mathematical Methods in Modeling, 1–2, 94–102. URL: [http://immm.op.edu.ua/files/archive/n1-2\\_v12\\_2022/immm\\_n1-2\\_v12\\_2022.pdf](http://immm.op.edu.ua/files/archive/n1-2_v12_2022/immm_n1-2_v12_2022.pdf)
2. Lecture notes on «Automation of Thermal Processes» for higher education students in the field of Heat Power Engineering. Kamianske: DDTU, 2019. p. 138. URL: [https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-z\\_kl58.pdf](https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-z_kl58.pdf)
3. NIISTU-5 Boiler. (n.d.). URL: <https://mmzavod.com.ua/index.php/kotly-vodogrejnye/kotel-niistu-5>
4. KV-GM and PTVM Series Boilers. (n.d.). URL: [https://energetik.ua/catalog/vodogriyni\\_kotly/kotli-vodogriyni-serii-ptvm/](https://energetik.ua/catalog/vodogriyni_kotly/kotli-vodogriyni-serii-ptvm/)
5. Tunnel Kiln for Brick Firing: Overview, Types, Technology. (n.d.). URL: <http://poradu24.com/remontu/tunelna-pich-dlya-vipalu-cegli-oglyad-riznovidy-tekhnologiya.html>
6. Fuel/Air Ratio Regulation. (n.d.). URL: <https://studfile.net/preview/9229697/page:4/>
7. Anastasenko, S. M., Bugrim, L. I., Bilyuk, I. S., Gavrilov, S. O., Zhigulina, V. V., Semenov, M. M., ... Shostak, O. V. (2020). Basics of automation of heat power objects: A textbook for students of the specialty 144 «Heat Power Engineering». Mykolaiv: NUK, Lviv, «Novyi Svit-2000». URL: <https://rep.nuos.edu.ua/server/api/core/bitstreams/212f1c0c-2e94-43ef-a85a-52434576eb21/content>

А. О. ПОЛІЩУК

аспірант кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Хмельницький національний університет

ORCID: 0000-0001-7887-7169

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ШНЕКОВОГО ЕКСТРУДЕРА 3D-ПРИНТЕРА

*Залежність об'ємної продуктивності шнекового екструдера від розміру подрібнених часток у зоні завантаження можна визначити експериментальним шляхом. Метод експериментальних досліджень є найбільш точним для отримання реальних даних, оскільки враховує усі змінні властивості матеріалу та специфіку роботи екструзійного обладнання.*

*В даній роботі проведено експериментальне дослідження об'ємної продуктивності шнекового екструдера 3D-принтера. Визначено, що ключовими факторами для регулювання об'ємної продуктивності є: частота обертання шнека та температура нагрівання екструдера. Для створення точної моделі було враховано властивості матеріалу, а саме розмір часток полімеру, що будуть подаватися в завантажувальну зону екструдера. В якості досліджуваного матеріалу було вибрано ABS пластик. Здійснено експериментальні дослідження, засновані на методології планування експерименту за допомогою некомпозиційних планів другого порядку. Визначено основні рівні та діапазони змін факторів. Для розробки плану експерименту та створення регресійного рівняння була застосована програма «Optimization Model&Planning Experiment». Отримано матрицю плану, розраховано коефіцієнти рівняння регресії та дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії, перевірено значення дисперсії оптимізованого параметра. Описано поліноміальним рівнянням другого порядку в кодованому вигляді процес, що досліджується. Проведено розрахунок та порівняння коефіцієнтів рівняння регресії з довірчими інтервалами. Отримано рівняння регресії в розкодованому вигляді. Здійснено перевірку адекватності розробленого поліноміального рівняння другого порядку за допомогою F-критерію Фішера. Отримано рівняння регресії з натуральними величинами. Для наглядного представлення результатів трьохфакторного експерименту в аксонометрії були побудовані графічні залежності досліджуваних поверхонь відгуку. Неведені графіки залежності об'ємної продуктивності від досліджуваних параметрів. Проведений їх аналіз та зроблені відповідні висновки.*

**Ключові слова:** планування експерименту, рівняння регресії, трьохфакторний експеримент, об'ємна продуктивність, шнековий екструдер, 3D-принтер.

А. О. POLISHCHUK

Postgraduate Student at the Department of Machines and Apparatus,

Electromechanical and Energy Systems

Khmelnytskyi National University

ORCID: 0000-0001-7887-7169

## EXPERIMENTAL STUDY OF VOLUME PRODUCTIVITY OF SCREW EXTRUDER OF 3D PRINTER

*The dependence of the volumetric productivity of the screw extruder on the size of the crushed particles in the loading zone can be determined experimentally. The method of experimental research is the most accurate for obtaining real data, as it takes into account all the variable properties of the material and the specifics of the operation of the extrusion equipment.*

*In this work, an experimental study of the volume performance of a screw extruder of a 3D printer was carried out. It was determined that the key factors for regulating the volumetric productivity are: screw rotation frequency and extruder heating temperature. To create an accurate model, the properties of the material, namely the size of the polymer particles that will be fed into the loading zone of the extruder, were taken into account. ABS plastic was chosen as the research material. Experimental studies based on the methodology of experiment planning using non-composite plans of the second order were carried out. The main levels and ranges of factor changes are determined. The "Optimization Model&Planning Experiment" program was used to develop an experiment plan and create a regression equation. The plan matrix was obtained, the coefficients of the regression equation and the variance of the coefficients of the regression equation were calculated, and the value of the variance of the optimized parameter was checked. The process under study is described by a second-order polynomial equation in coded form. The coefficients of the regression equation with confidence intervals were calculated and compared. The regression equation was obtained in a decoded form. The adequacy of the developed polynomial equation of the second order was tested using Fisher's F-criterion. A regression equation with natural values is obtained. For a visual presentation of the results of the three-factor experiment in axonometry, graphic dependences of the investigated response surfaces were constructed. The graphs of the dependence of volumetric productivity on the studied parameters are not shown. Their analysis was carried out and relevant conclusions were drawn.*

**Key words:** experimental design, regression equation, three-factor experiment, volumetric productivity, screw extruder, 3D printer.

### Постановка проблеми

На сьогодні відсутні залежності, які прямо пов'язують розмір подрібнених часток полімеру, які подаються в зону завантаження, з об'ємною продуктивністю шнекового екструдера. Це пов'язано зі складністю та багатofакторністю процесу екструзії. Аспекти, які впливають на це можуть бути наступними:

- тип полімерного матеріалу. Різні типи полімерів мають різні фізичні та хімічні властивості, що впливають на їх поведінку в процесі екструзії. Це ускладнює створення універсальної формули;

- розмір часток, який впливає на насипну густину матеріалу, швидкість його плавлення та здатність до проходження через екструдер. Великі частки можуть мати різну швидкість плавлення порівняно з дрібними, що також впливає на об'ємну продуктивність;

- технічні параметри шнекового екструдера. Конструкція шнека, його геометрія, швидкість обертання та температурний режим суттєво впливають на об'ємну продуктивність. Ці параметри можуть змінюватися в залежності від специфікацій обладнання та вимог до технологічного процесу;

- комплексність процесу екструзії. Екструзія є динамічним процесом, де одночасно відбувається подача, плавлення та дозування матеріалу. Взаємозв'язок між розміром часток і продуктивністю екструдера не є лінійним і вимагає комплексного аналізу;

- необхідність експериментальних даних. Для встановлення точного зв'язку між розміром часток та продуктивністю шнекового екструдера потрібно проводити детальні експериментальні дослідження з конкретними типами матеріалів та під конкретні умови експлуатації.

Доповнюючи останній аспект, важливо зазначити, що залежність об'ємної продуктивності шнекового екструдера від розміру подрібнених часток у зоні завантаження можна визначити шляхом експериментальних досліджень. Цей метод передбачає наступні кроки: підбір зразків полімерного матеріалу з різними розмірами часток для експериментального аналізу; проведення серії тестів на екструдері, де кожна партія матеріалу з різним розміром часток проходить через процес екструзії; вимірювання об'ємної продуктивності для кожної партії матеріалу; порівняння об'ємних продуктивностей для різних розмірів часток з метою встановлення, як зміна розміру часток впливає на продуктивність екструдера; створення графічного представлення даних, яке може допомогти виявити тенденції у залежності об'ємної продуктивності від розміру часток.

Метод експериментальних досліджень є найбільш точним для отримання реальних даних, оскільки враховує усі змінні властивості матеріалу та специфіку роботи екструзійного обладнання. Однак він вимагає значних ресурсів, часу та експертизи для проведення експериментів та аналізу даних.

Відсутність універсальної формули, яка б прямо пов'язувала ці параметри, вимагає індивідуального підходу при проектуванні та налаштуванні екструдерів, з урахуванням специфіки кожного окремого виробничого процесу.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Полімерний матеріал, який подається в бункер екструдера для переробки, може бути у вигляді подрібнених часток, гранул або стрічки. Останній вид сировини часто використовується для переробки промислових відходів плівкових матеріалів. Такий вид полімерного матеріалу потребує використання спеціальних екструдерів з інтегрованими живильниками-дозаторами у бункерах для забезпечення рівномірної подачі матеріалу [1]. Це є важливим для забезпечення високої якості кінцевого продукту.

Також можуть застосовуватися нарізані стрічки з PET тари в якості сировини для живлення шнекового екструдера 3D-принтера [2]. Це потребує розробки певної конструкції шнека, який би міг захопити матеріал та перемістити його з зони завантаження у зону плавлення екструдера.

Гранульовані пластинки є найпоширенішим видом сировини для екструзії. Переробка полімерів у формі гранул є більш ефективною, оскільки гранули менш схильні до створення затворів у бункері, порівняно з порошком, а також вони легше піддаються пластифікації та гомогенізації в процесі екструзії.

На сьогодні є актуальним також переробка у шнековому екструдері 3D-принтера полімерного матеріалу у вигляді гранул, або подрібнених часток, які утворилися в процесі подрібнення відходів 3D-друку, швейної та взуттєвої промисловості тощо [3–6].

### Формулювання мети дослідження

Метою експериментального дослідження об'ємної продуктивності шнекового екструдера 3D-принтера, з використанням методології планування експерименту, є систематичне дослідження та аналіз впливу ключових оперативних факторів на продуктивність екструзійного процесу. Це включає визначення оптимальних умов роботи екструдера для досягнення максимальної ефективності та якості друку, а також розробку математичної моделі або рівняння регресії, яке точно описує залежності між вхідними факторами та об'ємною продуктивністю. Завданням також є ідентифікація критичних факторів, які найбільше впливають на продуктивність, та встановлення меж їх варіювання для забезпечення оптимальних результатів друку.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Завдання планування експерименту включає в себе визначення оптимальної кількості та параметрів дослідів, необхідних для досягнення потрібної точності та результативності при пошуку оптимальних рішень [7]. В процесі

планування також враховується використання математичних методів для обробки результатів експериментів та прийняття відповідних рішень. В результаті, планування експерименту сприяє значному зменшенню кількості необхідних дослідів при отриманні математичної моделі процесу [8–10].

Проведено планування експерименту із застосуванням некомпозиційних планів другого порядку (вибірка з плану типу  $3^k$ ), де число факторів  $k = 3, p = 3, N = 15$ , число повторних дослідів  $n = 3$  [11].

Обрані фактори  $x_1, x_2, \dots, x_n$  представляють розмірні величини, які можуть мати різні порядки, що створює певні труднощі під час проведення розрахунків.

Для полегшення запису умов досліду та подальшої обробки його даних попередньо здійснювалася операція кодування. Метод кодування використовується для перетворення розмірних величин факторів, які можуть мати різні масштаби та одиниці вимірювання, в безрозмірні кодовані значення. Це спрощує аналіз та порівняння впливу різних факторів у багатофакторних експериментах. Кодування дозволяє стандартизувати фактори, що полегшує обробку та інтерпретацію даних, забезпечує зручність у виконанні математичних операцій та аналітичних розрахунків, а також допомагає в ідентифікації та оцінці взаємодії між різними факторами. За методикою, представленою в [12], визначалися натуральні та кодовані фактори, що пов'язані між собою певними співвідношеннями.

Шнековий екструдер 3D-принтера, що досліджується, є багатофакторною системою, яка характеризується вихідним параметром, як об'ємна продуктивність  $Q_{\text{шн.е.}}$ . Для зв'язку режиму роботи шнекового екструдера 3D-принтера з об'ємною продуктивністю, основною метою є досягнення балансу між швидкістю друку та якістю виробу. Тому ключовими факторами для регулювання об'ємної продуктивності є: частота обертання шнека  $n_{\text{шн.}}$  та температура нагрівання екструдера  $T_{\text{нагр.}}$ .

Залежність об'ємної продуктивності від цих двох параметрів може бути представлена у вигляді математичного виразу або емпіричної моделі:

$$Q_{\text{шн.е.}} = f(n_{\text{шн.}}, T_{\text{нагр.}}). \tag{1}$$

Однак, для створення точної моделі потрібно враховувати ще властивості матеріалу, а саме розмір часток полімеру  $d_p$ , що будуть подаватися в завантажувальну зону екструдера. В даному дослідженні в якості вихідної сировини шнекового екструдера використовувався ABS пластик.

Головна мета полягає у відшуванні оптимальної комбінації визначної кількості факторів і діапазону їх зміни, що дозволяє досягти найкращого значення обраного показника, у даному випадку – об'ємної продуктивності.

Отже, об'ємна продуктивність  $Q_{\text{шн.е.}}$  виступає як параметр оптимізації, а зазначені параметри як обмеження. Використовуючи три незалежні фактори, які варіюються на трьох рівнях кожен необхідно встановити залежність:

$$Q_{\text{шн.е.}} = f(n_{\text{шн.}}, T_{\text{нагр.}}, d_p). \tag{2}$$

Така модель дозволяє більш точно оцінити, як зміна частоти обертання шнека, температури нагрівання та розміри матеріалу, що переробляється впливають на об'ємну продуктивність  $Q_{\text{шн.е.}}$ .

Діапазони змін факторів (мінімальні та максимальні межі) були визначені з урахуванням попередніх розрахунків і даних, отриманих з експериментальних досліджень. Ці межі покривають обсяг значень факторів, які є релевантними для використання в шнекових екструдерах 3D-принтерів [6]:  $d_p = 1,5 \dots 2,5$  мм;  $n_{\text{шн.}} = 3,0 \dots 9,0$  об/хв;  $T_{\text{нагр.}} = 230 \dots 250$  °C.

Для знаходження оптимальної об'ємної продуктивності шнекового екструдера 3D-принтера  $Q_{\text{шн.е.}}$  та визначення впливу на неї діаметра часток полімерного матеріалу  $d_p$ , частоти обертання шнека  $n_{\text{шн.}}$  та температури нагрівання екструдера  $T_{\text{нагр.}}$  були здійснені експериментальні дослідження, засновані на методології планування експерименту за допомогою некомпозиційних планів другого порядку, зокрема використовувались вибірки з планів типу  $3^k$  [11].

Ціль експериментального вивчення характеристик робочого процесу шнекового екструдера 3D-принтера полягає у встановленні, як вхідні параметри впливають на об'ємну продуктивність (2), визначенні її оптимального рівня та розробці регресійного рівняння, яке адекватно відображає результати цих дослідів.

У ході експерименту були визначені основні рівні та діапазони змін факторів, величини яких представлені у табл. 1.

Таблиця 1

**Значення рівнів та інтервалів варіювання факторів**

Найменування та позначення факторів	Рівні варіювання			Інтервали варіювання
	Нижній рівень -1	Основний рівень 0	Верхній рівень +1	
Діаметр часток полімеру $d_p$ , мм ( $x_1$ )	1,5	2,0	2,5	0,5
Частота обертання шнека, $n_{\text{шн.}}$ , об/хв ( $x_2$ )	3,0	6,0	9,0	3,0
Температура нагрівання екструдера $T_{\text{нагр.}}$ , °C ( $x_3$ )	230	240	250	10

Для розробки плану експерименту та створення регресійного рівняння була застосована програма «Optimization Model&Planning Experiment», розроблена на кафедрі машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, яка доступна для вільного використання (ліцензія на вільне користування) [12]. У програмі використовувався некомпозиційний план другого порядку, здійснена вибірка за планом типу 3k [8, 9, 13].

Використовуючи зазначену програму та вводячи в неї кількість факторів разом з їх мінімальними та максимальними рівнями, була встановлена необхідна кількість експериментів. Також за допомогою програми були сформовані матриці для планування експериментів та відповідних значень. На основі цих даних були розраховані коефіцієнти для рівняння регресії, дисперсії цих коефіцієнтів та дисперсія оптимізованого параметра, а також отримане відповідне рівняння регресії.

Згідно з некомпозиційним планом другого порядку для трьох факторів передбачено виконання 15 дослідів. В центральній точці плану, коли всі фактори знаходяться на нульовому рівні ( $x_1 = x_2 = x_3 = 0$ ), передбачено проведення трьох дослідів (досліди 5, 10, 15). Матриця плану наведена в табл. 2.

Таблиця 2

**Матриця некомпозиційного плану другого порядку для трьох факторів (вибірка з плану типу 3k)**

Номер дослідів	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_{12}$	$x_{22}$	$x_{32}$	$y$
1	+1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0	$y_1$
2	+1	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0	$y_2$
3	+1	-1	+1	0	-1	0	0	+1	+1	0	$y_3$
4	+1	-1	-1	0	+1	0	0	+1	+1	0	$y_4$
5	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$y_5$
6	+1	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1	$y_6$
7	+1	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1	$y_7$
8	+1	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1	$y_8$
9	+1	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1	$y_9$
10	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$y_{10}$
11	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1	$y_{11}$
12	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1	$y_{12}$
13	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1	$y_{13}$
14	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1	$y_{14}$
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$y_{15}$

У табл. 3 наведено матрицю плану, що була отримана із застосуванням програми «Optimization Model&Planning Experiment» [12].

Таблиця 3

**Матриця плану**

X1	X2	X3	Y
1,0	1,0	0,0	188,66628
1,0	-1,0	0,0	67,77125
-1,0	1,0	0,0	155,1474
-1,0	-1,0	0,0	55,92717
0,0	0,0	0,0	112,098
1,0	0,0	1,0	124,3597
1,0	0,0	-1,0	116,93862
-1,0	0,0	1,0	98,480446
-1,0	0,0	-1,0	124,81123
0,0	0,0	0,0	106,991
0,0	1,0	1,0	178,038
0,0	1,0	-1,0	157,27867
0,0	-1,0	1,0	64,8567
0,0	-1,0	-1,0	43,2378
0,0	0,0	0,0	106,285

У табл. 4 наведено коефіцієнти рівняння регресії, розраховані з використанням програмного забезпечення «Optimization Model&Planning Experiment».



Таблиця 4

**Коефіцієнти рівняння регресії, отримані за допомогою програми «Optimization Model&Planning Experiment»**

Коефіцієнти рівняння регресії	Значення коефіцієнтів рівняння регресії
$b_{13}$	8,437967300415039
$b_{12}$	5,418699264526367
$b_{11}$	6,857366561889648
$b_{33}$	0,8321342468261719
$b_{23}$	-0,21489334106445312
$b_3$	2,9335641860961914
$b_{22}$	1,5626564025878906
$b_2$	55,9171781539917
$b_1$	7,921199798583984
$b_0$	108,45800018310547

В табл. 5 представлено отримані дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії. Дисперсія  $S_y^2$  параметра оптимізації після зроблених розрахунків склала  $S_y^2 = 10,061803426768165$ .

Таблиця 5

**Дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії**

Дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії	Значення дисперсій коефіцієнтів рівняння регресії
$S_{b_{11}}^2$	2,5154508566920413
$S_{b_{12}}^2$	1,2577254283460206
$S_{b_{13}}^2$	2,7250717614163777
$S_{b_0}^2$	3,3539344755893885

Щоб перевірити значення дисперсії  $S_y^2$  оптимізованого параметра, яке було отримано за допомогою програми «Optimization Model&Planning Experiment», було здійснено його розрахунок за методикою, описаною в [11]. Для цього було складено додаткову таблицю (табл. 6). Було використано суму квадратів  $S_E$  для обчислення дисперсії  $S_y^2$  оптимізованого параметра на основі результатів експериментів, проведених у центральній точці плану.

Дисперсію  $S_y^2$  параметра оптимізації було визначено з числом степенів вільності:

$$f_2 = n_0 - 1 = 3 - 1 = 2, \tag{3}$$

де  $n_0$  – число паралельних дослідів в центрі плану,  $n_0 = 3$ .

Таблиця 6

**Допоміжна таблиця для розрахунку  $S_y^2$**

№ дослідів в центрі плану	Експериментальні значення по трьох дослідів в центрі плану $Y_e$	Середньо-арифметичне експериментальне значення по трьох дослідів в центрі плану $Y_e$	Різниця експериментальних та середньоарифметичного значення по трьох дослідів в центрі плану $Y_e - \bar{Y}_e$	Різниця квадратів експериментальних та середньоарифметичного значення по трьох дослідів в центрі плану $(Y_e - \bar{Y}_e)^2$
5	112,098	108,458	3,640	13,2496
10	106,991		-1,467	2,1521
15	106,2855		-2,173	4,7219
$S_y^2 = \frac{S_E}{n_0 - 1} = \frac{26,65341}{3 - 1} = 10,0618$				$S_E = \sum (Y_e - \bar{Y}_e)^2 = 20,1236$

Значення дисперсії  $S_y^2$  параметра оптимізації, знайдене за допомогою розрахунків, відповідає значенню, отриманому програмою «Optimization Model&Planning Experiment».

Процес, що досліджується, було описано поліноміальним рівнянням другого порядку в кодованому вигляді за допомогою програми «Optimization Model&Planning Experiment»:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2, \tag{4}$$

де  $b_0, b_1, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  – коефіцієнти рівняння регресії [8, 9, 13].

Для того, щоб визначити значущість кожного коефіцієнта в рівнянні регресії, порівнювалося абсолютне значення цих коефіцієнтів з їх відповідними довірчими інтервалами. Довірчі інтервали для коефіцієнтів розраховуються згідно з формулою:

$$\Delta b_i = \pm t_T \cdot S_{b_i}, \quad (5)$$

де  $t_T$  – значення t-критерію Стьюдента, яке вибирається з таблиць відповідно до заданого рівня значимості та кількості ступенів вільності  $f_2$ , що використовуються для обчислення дисперсії  $S_y^2$  параметра оптимізації (для  $f_2 = 2$  та рівня значимості 5%  $t_T = 4,3$ );  $S_{b_i}$  – похибка визначення  $i$ -го коефіцієнта регресії.

Похибка визначення  $i$ -го коефіцієнта регресії знаходиться:

$$S_{b_i} = +\sqrt{S_{b_i}^2}, \quad (6)$$

де  $S_{b_i}^2$  – дисперсія  $i$ -го коефіцієнта регресії [11].

Коефіцієнт в рівнянні регресії розглядається як значимий, коли його абсолютне значення перевищує величину його довірчого інтервалу. У випадку, коли абсолютне значення коефіцієнта є меншим за довірчий інтервал, цей коефіцієнт вважається статистично незначущим і може бути вилучений з рівняння регресії. Довірчі інтервали для коефіцієнтів рівняння регресії визначаються згідно з формулою (5):

$$\Delta b_{11} = \pm 6,81; \quad \Delta b_i = \pm 4,82; \quad \Delta b_{ii} = \pm 7,09; \quad \Delta b_0 = \pm 7,87.$$

Порівняння коефіцієнтів рівняння регресії з довірчими інтервалами показало, що коефіцієнти  $b_{33}$ ,  $b_{12}$ ,  $b_{22}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{33}$  менші за довірчий інтервал. Хоча дані коефіцієнти є статистично не значимими прийнято рішення не виключити їх з рівняння регресії. Це можна обґрунтувати тим, що на сьогодні не існує теоретичної залежності, яка описує вплив розміру подрібнених часток полімеру, частоти обертання шнеку та температури нагрівання матеріалу на об'ємну продуктивність шнекового екструдера. Тому слід побудувати повну модель, яка включає всі потенційно важливі змінні, незалежно від їх статистичної значущості. Прийнято допущення, що дані коефіцієнти вносять свій вплив на залежну величину.

Підставивши коефіцієнти рівняння регресії (табл. 4), в рівняння (4), було отримано:

$$y = 108,4580 + 7,9212 \cdot x_1 + 55,9172 \cdot x_2 + 2,9336 \cdot x_3 + 5,4187 \cdot x_1 \cdot x_2 + 8,4380 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,2149 \cdot x_2 \cdot x_3 + 6,8574 \cdot x_1^2 + 1,5627 \cdot x_2^2 + 0,8321 \cdot x_3^2 \quad (7)$$

Рівняння регресії в розкдованому вигляді має наступний вигляд:

$$y = b_0 + b_1 \cdot \left( \frac{x_{11} - 2,0}{0,5} \right) + b_2 \cdot \left( \frac{x_{12} - 6,0}{3,0} \right) + b_3 \cdot \left( \frac{x_{13} - 240,0}{10,0} \right) + b_{12} \cdot \left( \frac{x_{11} - 2,0}{0,5} \right) \times \left( \frac{x_{12} - 6,0}{3,0} \right) + b_{13} \cdot \left( \frac{x_{11} - 2,0}{0,5} \right) \cdot \left( \frac{x_{13} - 240,0}{10,0} \right) + b_{23} \cdot \left( \frac{x_{12} - 6,0}{3,0} \right) \cdot \left( \frac{x_{13} - 240,0}{10,0} \right) + b_{11} \cdot \left( \frac{x_{11} - 2,0}{0,5} \right)^2 + b_{22} \cdot \left( \frac{x_{12} - 6,0}{3,0} \right)^2 + b_{33} \cdot \left( \frac{x_{13} - 240,0}{10,0} \right)^2. \quad (8)$$

Підставивши коефіцієнти, отримаємо:

$$y = 108,4580 + 7,9212 \cdot \left( \frac{x_{11} - 2,0}{0,5} \right) + 55,9172 \cdot \left( \frac{x_{12} - 6,0}{3,0} \right) + 2,9336 \cdot \left( \frac{x_{13} - 240,0}{10,0} \right) + 5,4187 \cdot \left( \frac{x_{11} - 2,0}{0,5} \right) \cdot \left( \frac{x_{12} - 6,0}{3,0} \right) + 8,4380 \cdot \left( \frac{x_{11} - 2,0}{0,5} \right) \cdot \left( \frac{x_{13} - 240,0}{10,0} \right) - 0,2149 \times \left( \frac{x_{12} - 6,0}{3,0} \right) \cdot \left( \frac{x_{13} - 240,0}{10,0} \right) + 6,8574 \cdot \left( \frac{x_{11} - 2,0}{0,5} \right)^2 + 1,5627 \cdot \left( \frac{x_{12} - 6,0}{3,0} \right)^2 + 0,8321 \cdot \left( \frac{x_{13} - 240,0}{10,0} \right)^2. \quad (9)$$

Перевірку адекватності розробленого поліноміального рівняння другого порядку здійснюємо за допомогою  $F$ -критерію Фішера [14]. Для цього спершу обчислюємо дисперсію  $S_{ao}^2$  адекватності, використовуючи наступну формулу:

$$S_{ao}^2 = \frac{S_R - S_E}{f_1}, \quad (10)$$

де  $S_R$  – це сума квадратів відхилень між обчисленими значеннями  $Y_p$  та експериментально отриманими  $Y_e$  функції відгуку у всіх точках плану;  $f_1$  – кількість степенів свободи,

$$f_1 = N - k' - (n_0 - 1), \tag{12}$$

де  $N$  – загальна кількість експериментів у матриці планування;  $N = 15$ ;  $k'$  – число коефіцієнтів рівняння регресії (3),  $k' = 10$ .

Обчислені значення  $Y_p$  функції відгуку, отримані з використанням рівняння регресії (8); середньоарифметичне експериментальне значення, отримане з трьох паралельних вимірювань  $Y_e$ ; розбіжності між експериментальними та обчисленими значеннями  $Y_p - Y_e$ , а також  $S_R$  наведені в таблиці 7.

Таблиця 7

Матриця значень

№ п/п	x1	x2	x3	$Y_e$	$Y_p$	$Y_e - Y_p$	$(Y_e - Y_p)^2$
1	2,5	9,0	240	188,66628	186,1351004	2,531179635	6,406870346
2	2,5	3,0	240	67,77125	63,46334553	4,307904472	18,55804094
3	1,5	9,0	240	155,1474	159,4553022	-4,307902238	18,5580217
4	1,5	3,0	240	55,92717	58,45834446	-2,53117446	6,406844145
5	2,0	6,0	240	112,098	108,4580002	3,639999817	13,24959867
6	2,5	6,0	250	124,3597	135,4402323	-11,08053228	122,7781955
7	2,5	6,0	230	116,93862	112,6971693	4,241450696	17,98990401
8	1,5	6,0	250	98,480446	102,7218981	-4,241452079	17,98991574
9	1,5	6,0	230	124,81123	113,7307043	11,08052569	122,7780496
10	2,0	6,0	240	106,991	108,4580002	-1,467000183	2,152089537
11	2,0	9,0	250	178,038	169,4886398	8,549360168	73,09155929
12	2,0	9,0	230	157,27867	164,0512981	-6,772628141	45,86849194
13	2,0	3,0	250	64,8567	58,08407021	6,772629794	45,86851433
14	2,0	3,0	230	43,2378	51,78715515	-8,549355151	73,0914735
15	2,0	6,0	240	106,285	108,4580002	-2,173000183	4,721929796
							$S_R = \sum (Y_e - Y_p)^2 = 589,510$

Дисперсію  $S_{ad}^2$  адекватності було розраховано за формулою (10):

$$S_{ad}^2 = \frac{589,510 - 18,86}{15 - 10 - (3 - 1)} = 190,21.$$

Дисперсію адекватності  $S_{ad}^2$  визначено з числом степенів свободи  $f_1 = 3$ .

Розрахункове значення  $F$ -критерію було розраховано за формулою [14]:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = \frac{190,21}{10,06} = 18,90. \tag{13}$$

При п'яти відсотковому рівні значимості та числах степенів свободи  $f_1 = 3$  та  $f_2 = 2$  табличне значення  $F$ -критерію дорівнює  $F_T = 19,2$  [14]. Рівняння регресії визнається адекватним за умови що дотримується наступне правило:  $F_p < F_T = 18,9 < 19,2$ . Отже, рівняння регресії є адекватним.

Замінюючи натуральними величинами у рівнянні (9) кодовані значення факторів було отримано:

$$\begin{aligned} Q_{\text{вн.е.}} = & 108,4580 + 7,9212 \cdot \left( \frac{d_v - 2,0}{0,5} \right) + 55,9172 \cdot \left( \frac{n_{\text{вн.}} - 6,0}{3,0} \right) + 2,9336 \cdot \left( \frac{T_{\text{нагр.}} - 240,0}{10,0} \right) + \\ & + 5,4187 \cdot \left( \frac{d_v - 2,0}{0,5} \right) \cdot \left( \frac{n_{\text{вн.}} - 6,0}{3,0} \right) + 8,4380 \cdot \left( \frac{d_v - 2,0}{0,5} \right) \cdot \left( \frac{T_{\text{нагр.}} - 240,0}{10,0} \right) - 0,2149 \times \\ & \times \left( \frac{n_{\text{вн.}} - 6,0}{3,0} \right) \cdot \left( \frac{T_{\text{нагр.}} - 240,0}{10,0} \right) + 6,8574 \cdot \left( \frac{d_v - 2,0}{0,5} \right)^2 + 1,5627 \cdot \left( \frac{n_{\text{вн.}} - 6,0}{3,0} \right)^2 + \\ & + 0,8321 \cdot \left( \frac{T_{\text{нагр.}} - 240,0}{10,0} \right)^2. \end{aligned} \tag{14}$$

Коефіцієнти рівняння регресії (7) в кодованому вигляді показують величину впливу факторів ( $d_v, n_{\text{вн.}}, T_{\text{нагр.}}$ ) на вихідний параметр  $Q_{\text{вн.е.}}$  та є кількісною його мірою [11].

Для наглядного представлення результатів трьохфакторного експерименту в аксонометрії були побудовані графічні залежності досліджуваної поверхні відгуку. Для їх побудови використовувався Colab, відомий також як Google Colaboratory та є безкоштовною хмарною службою від Google, яка дозволяє писати та виконувати Python-код через браузер [15].

Ця діаграма демонструє взаємодію трьох факторів на об'ємну продуктивність  $Q_{шт.е.}$ . Один із факторів було залишено сталим, оскільки одночасне змінювання трьох факторів утворює просторову фігуру, яку важко візуалізувати [11]. Незмінним фактором було вибрано розмір часток полімеру, що завантажується в шнековий екструдер 3D-принтера. Було зафіксовано його на відповідних рівнях варіювання.

Графіки залежності функції відгуку об'ємної продуктивності  $Q_{шт.е.} = f(n_{шт.}, T_{нагр.}, d_{ч.})$  при частоті обертання шнека  $n_{шт.}$  та температурі нагрівання екструдера  $T_{нагр.}$  на рівні від «-1» до «+1» при незмінному розмірі часток полімеру  $d_{ч.}$  ( $d_{ч.} = 1,5\text{ мм}$ ,  $d_{ч.} = 2,0\text{ мм}$ ,  $d_{ч.} = 2,5\text{ мм}$ ) представлено на рис. 1.

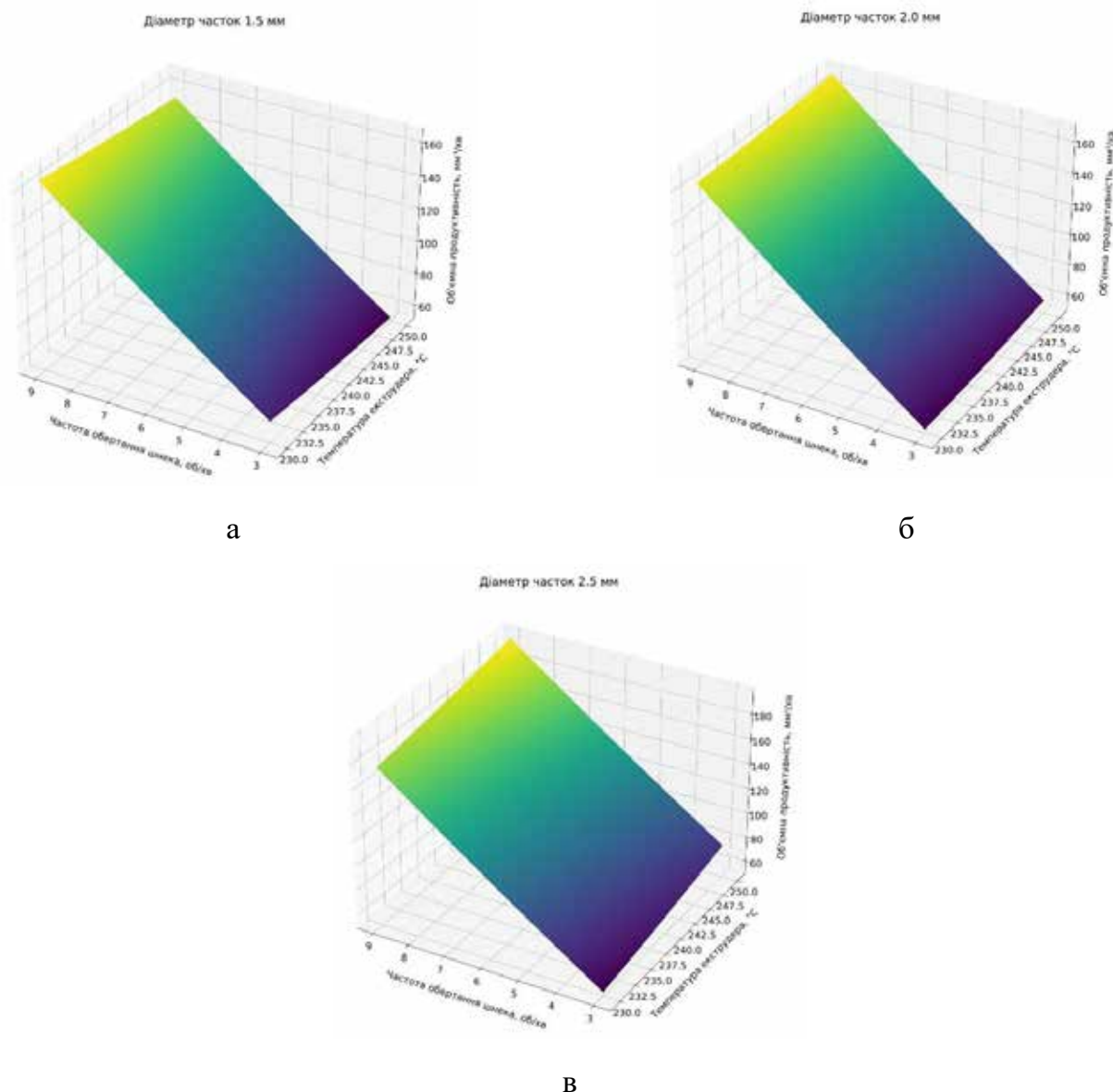


Рис. 1. Графіки залежності функції відгуку об'ємної продуктивності  $Q_{шт.е.} = f(n_{шт.}, T_{нагр.}, d_{ч.})$  при частоті обертання шнека  $n_{шт.}$  та температурі нагрівання  $T_{нагр.}$  на рівні від «-1» до «+1» при незмінному розмірі часток полімеру  $d_{ч.}$ : а – 1,5 мм; б – 2,0 мм; в – 2,5 мм

Зробивши аналіз графіків залежності об'ємної продуктивності шнекового екструдера  $Q_{шт.е.}$  від частоти обертання шнека  $n_{шт.}$  та температури нагрівання екструдера  $T_{нагр.}$  при різних розмірах часток полімеру (рис. 1), можна зробити наступні висновки взаємозв'язок між трьома графіками.

1. Збільшення діаметра часток полімеру  $d_c$  з 1,5 мм до 2,5 мм практично не впливає на загальну форму залежності об'ємної продуктивності від частоти обертання шнека та температури нагрівання екструдера. Однак, може змінюватись рівень об'ємної продуктивності, що вказує на те, що при більших діаметрах часток полімеру можливе досягнення більшої об'ємної продуктивності.

На всіх трьох графіках частота обертання шнека має позитивний вплив на об'ємну продуктивність. Однак, цей вплив не є лінійним, і існує оптимальний діапазон частоти обертання, за межами якого додаткове збільшення частоти не призводить до пропорційного зростання продуктивності.

Температура нагрівання екструдера також має позитивний вплив на об'ємну продуктивність, але, як і в попередньому випадку, існує оптимальний діапазон температур. Для більших діаметрів часток полімеру оптимальна температура може бути трохи вищою, оскільки потрібно більше тепла для плавлення крупніших часток.

Оптимальні параметри. Для  $d_c = 1,5$  мм: оптимальна об'ємна продуктивність досягається при середніх значеннях частоти обертання шнека та температури нагрівання. Для  $d_c = 2,0$  мм: оптимальна об'ємна продуктивність досягається при подібних або трохи вищих значеннях частоти та температури в порівнянні з  $d_c = 1,5$  мм. Для  $d_c = 2,5$  мм: оптимальна об'ємна продуктивність досягається при вищих значеннях частоти та температури, що вказує на потребу більшої енергії для екструдювання більших часток.

Графіки залежності об'ємної продуктивності  $Q_{шт.е.}$  від частоти обертання  $n_{шт.}$  при різних розмірах часток пластику ABS приведено на рис. 2.

Графіки залежності об'ємної продуктивності  $Q_{шт.е.}$  від частоти обертання  $n_{шт.}$  при різних температурах нагрівання екструдера  $T_{нагр.}$  показано на рис. 3.

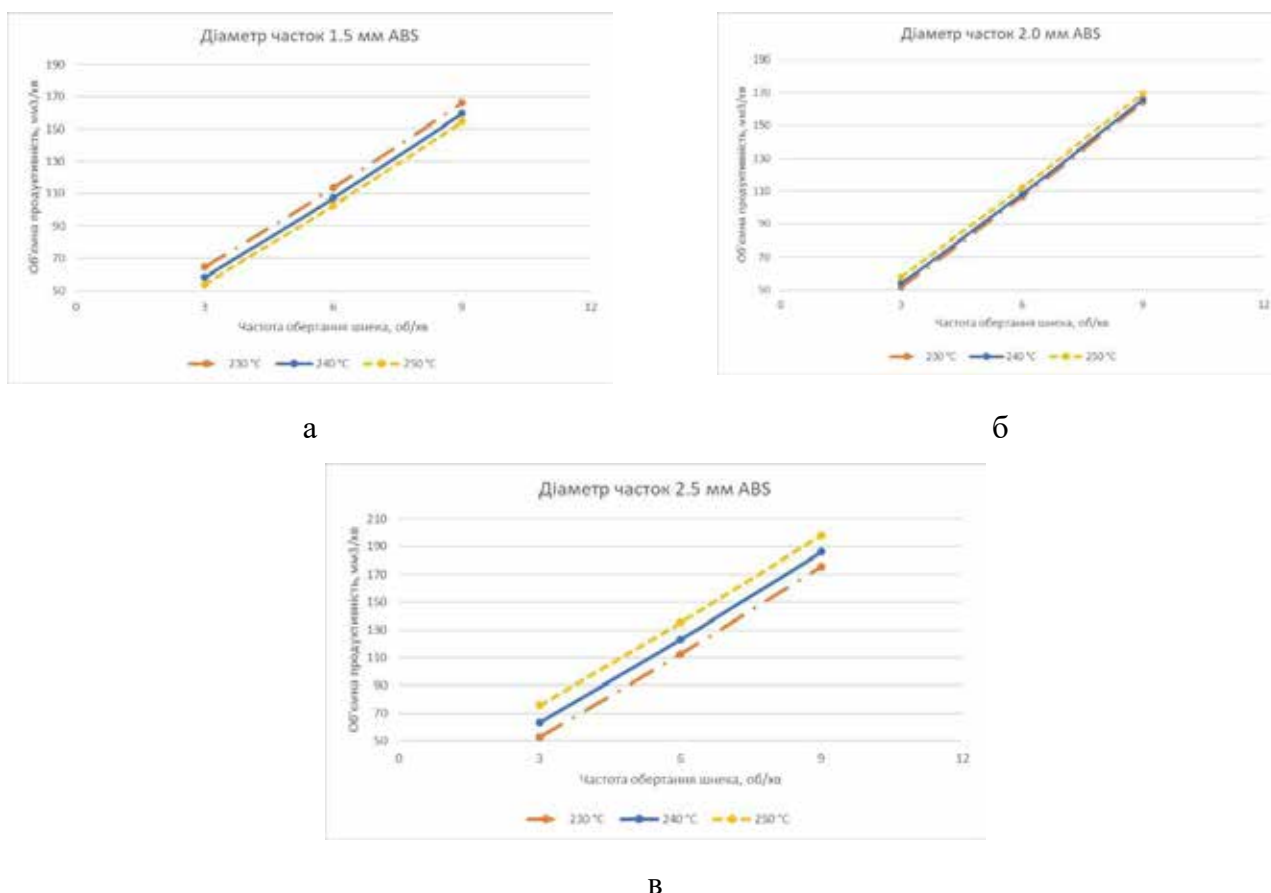


Рис. 2. Графіки залежності об'ємної продуктивності  $Q_{шт.е.}$  від частоти обертання  $n_{шт.}$  при різних розмірах часток пластику ABS: а – 1,5 мм; б – 2,0 мм; в – 2,5 мм

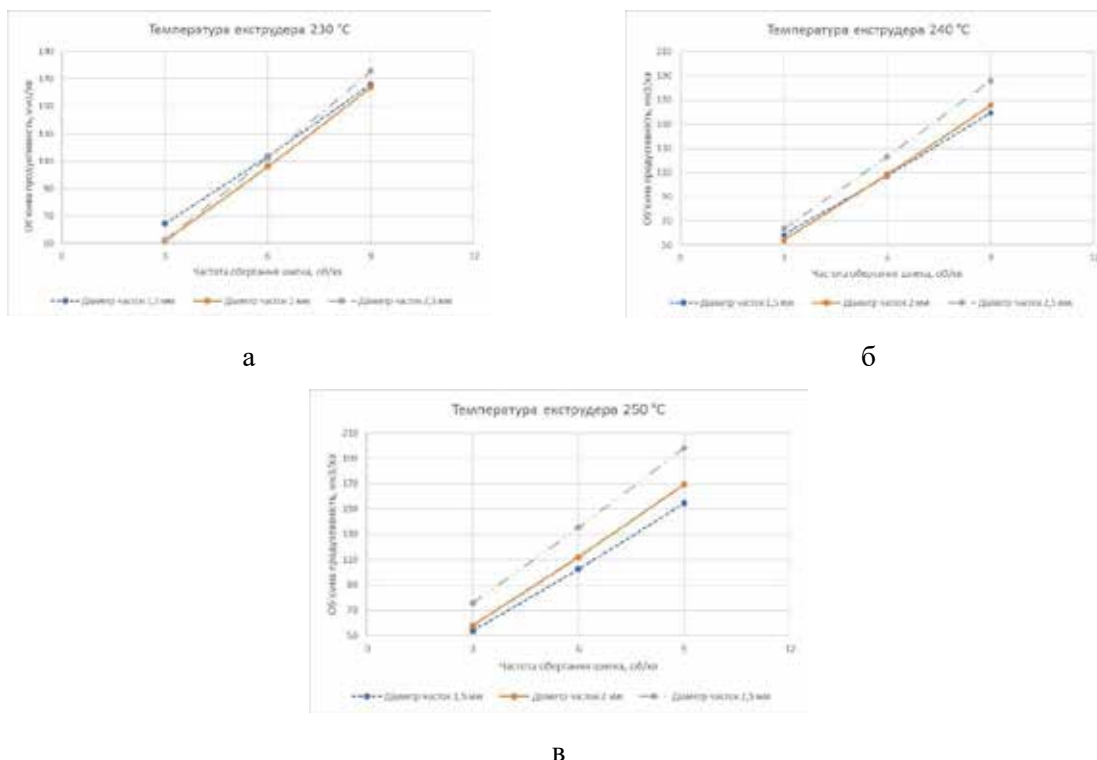


Рис. 3. Графіки залежності об’ємної продуктивності  $Q_{шт.е.}$  від частоти обертання  $n_{шт.}$  при різних температурах нагрівання екструдера  $T_{нагр.}$ : а – 230 °С; б – 240 °С; в – 250 °С

Аналіз графіків, приведених на рис. 1–3, дав змогу визначити значення об’ємної продуктивності при різних поєднаннях незалежних факторів. Дані значення наведені в табл. 8.

Таблиця 8

**Значення об’ємної продуктивності при різних поєднаннях незалежних факторів**

Значення	Об’ємна продуктивність $Q_{шт.е.}$ , мм³/хв	Параметри		
		Діаметр часток полімеру $d_{ч.}$ , мм	Частота обертання $n_{шт.}$ , об/хв	Температура екструдера $T_{нагр.}$ , °С
Максимальне значення	198,123	2,5	9	250
Мінімальне значення	51,787	2	3	230
Діапазон вимірювання	51,787–263,932	1,5–2,5	3–9	230–250
Оптимальне значення	198,123	2,5	9	250

**Висновки**

Експериментальне дослідження об’ємної продуктивності шнекового екструдера 3D-принтера показало, що частота обертання шнека, температура нагрівання екструдера та діаметр часток полімеру ABS суттєво впливають на продуктивність процесу екструзії.

Було виявлено, що збільшення частоти обертання шнека призводить до зростання об’ємної продуктивності, але досягнення деякого порогу може спричинити зниження якості друку через нерівномірність подачі матеріалу. Оптимальна температура нагрівання забезпечувала рівномірне плавлення полімеру ABS, що сприяло покращенню якості та однорідності екструдованого матеріалу. Відносно діаметру часток полімеру було встановлено, що більший діаметр полегшує процес екструзії, але може впливати на деталізацію та точність кінцевого продукту.

В цілому, використання планування експерименту дозволило визначити оптимальні параметри роботи шнекового екструдера для досягнення високої об’ємної продуктивності з урахуванням якості друку. Результати цього дослідження можуть бути використані для підвищення ефективності роботи шнекових екструдерів 3D-принтерів, особливо при роботі з полімером ABS.

**Список використаної літератури**

1. Екструзія [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vitcompany.com.ua/ekstruziya.html> (дата звернення: 15.12.23). Назва з екрану.

2. Polishchuk A.O. Equipment for processing pet bottles into raw materials for the screw extruder of the 3D printer / A.O. Polishchuk, M.Ye. Skyba, O.S. Polishchuk // Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування»: Збірник матеріалів, 21 грудня, 2023 р. – Полтава: ПДАУ, 2023.
3. Zozulia P. Development and investigation of device for processing polymer materials by 3D-printing method / P. Zozulia, O. Polishchuk, N. Kostyuk, A. Polishchuk // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. 2019. Vol. 5, No. 3–4. P. 25–31.
4. Polishchuk O. Development and research of equipment for processing of granulated polymeric materials via 3d printing for the needs of light industry / O. Polishchuk, P. Zozulia, A. Polishchuk, P. Maidan, M. Skyba, N. Kostyuk, A. Kravchuk and O. Kravchuk // Fibres and Textiles. 2020. № 4. P. 75–80.
5. Polishchuk A. Production of details of difficult designs of footwear and clothes with use of technologies of additive production / A. Polishchuk, A. Slavinska, O. Polishchuk, V. Mytsa // AIP Conference Proceedings. 2023. Volume 2889. Issue 17.
6. Поліщук А.О. Розробка конструкції шнекового екструдера 3D-принтера, що використовує гранули або подрібнені частки полімеру в якості вихідної сировини / А.О. Поліщук // Технології та інжиніринг. 2023. № 5. С. 33–49.
7. Йохна М.А. Розробка методики пошуку оптимальних параметрів нелінійних моделей для систем управління ефективністю діяльності підприємств / М.А. Йохна, Ю.Б. Михайловський, Е.О. Янковець // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2011. № 2. Т. 1. С. 39–43.
8. Поворознюк А.І. Методологія та організація наукових досліджень: навч. посіб. / А.І. Поворознюк, В.І. Панченко, А.Є. Філатова. Харків: «НТМТ», 2016. 192 с.
9. Лапач С.М. Теорія планування експериментів: Виконання розрахунково-графічної роботи [Електронний ресурс] / С.М. Лапач. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 86 с.
10. Назаренко Л.А. Конспект лекцій з курсу «Планування і обробка результатів експерименту» / Л.А. Назаренко. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. 163 с.
11. Поліщук О.С. Наукові основи проектування електромеханічного пресового обладнання легкої промисловості: дис... д-ра техн. наук: 05.05.10 / Київський національний ун-т технологій та дизайну. К., 2019. 372 с.
12. Пошук глобального оптимуму для завдань оптимального проектування систем чи визначення оптимальних законів управління [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://surl.li/ohxok\\_\(дата\\_звернення:\\_15.12.23\)](http://surl.li/ohxok_(дата_звернення:_15.12.23)). Назва з екрану.
13. Поліщук О.С. Електромеханічне пресове обладнання на підприємствах легкої промисловості: монографія / О.С. Поліщук. Хмельницький: Видавництво PolyLux, 2018. 285 с.
14. Горонескуль М.М. Таблиці функцій та критичних точок розподілів. Розділи: Теорія ймовірностей. Математична статистика. Математичні методи в психології / М.М. Горонескуль. Харків: УЦЗУ, 2009. 90 с.
15. Colab [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://colab.research.google.com/> (дата звернення 12.12.23). Назва з екрану.

#### References

1. Extrusion [Electronic resource]. Access mode: <https://vitcompany.com.ua/ekstruziya.html> (date of application: 12/15/23). Name from the screen.
2. Polishchuk A.O. Equipment for processing pet bottles into raw materials for the screw extruder of the 3D printer / A.O. Polishchuk, M.Ye. Skyba, O.S. Polishchuk // Materials of the VI All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference “Problems and Prospects of the Development of Agricultural Machinery”: Collection of Materials, December 21, 2023. Poltava: PDAU, 2023.
3. Zozulia P. Development and investigation of device for processing polymer materials by 3D-printing method / P. Zozulia, O. Polishchuk, N. Kostyuk, A. Polishchuk // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. 2019. Vol. 5, No. 3–4. P. 25–31.
4. Polishchuk O. Development and research of equipment for processing of granulated polymeric materials via 3d printing for the needs of light industry / O. Polishchuk, P. Zozulia, A. Polishchuk, P. Maidan, M. Skyba, N. Kostyuk, A. Kravchuk and O. Kravchuk // Fibres and Textiles. 2020. No. 4. P. 75–80.
5. Polishchuk A. Production of details of difficult designs of footwear and clothes with use of technologies of additive production / A. Polishchuk, A. Slavinska, O. Polishchuk, V. Mytsa // AIP Conference Proceedings. 2023. Volume 2889. Issue 17.
6. Polishchuk A.O. Development of a screw extruder design for a 3D printer that uses granules or crushed polymer particles as raw materials / A.O. Polishchuk // Technologies and engineering. 2023. No. 5. P. 33–49.
7. Johna M.A. Development of a methodology for finding optimal parameters of nonlinear models for enterprise efficiency management systems / M.A. Johna, Yu.B. Mykhaylovskiy, E.O. Yankovets // Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Economic sciences. 2011. No. 2. T. 1. P. 39–43.

8. Povoroznyuk A.I. Methodology and organization of scientific research: teaching. manual / A.I. Povoroznyuk, V.I. Panchenko, A.E. Filatova. Kharkiv: "NTMT", 2016. 192 p.
9. Lapach S.M. Theory of experiment planning: Performing calculation and graphic work [Electronic resource] / S.M. Lapach. K.: KPI named after Igor Sikorskyi, 2020. 86 p.
10. Nazarenko L.A. Synopsis of lectures from the course "Planning and Processing of Experiment Results" / L.A. Nazarenko. Kharkiv: XNUMX named after OHM. Beketova, 2018. 163 p.
11. Polishchuk O.S. Scientific basis of design of electromechanical press equipment of light industry: thesis... Dr. Tech. Sciences: 05.05.10 / Kyiv National University of Technologies and Design. K., 2019. 372 p.
12. The search for the global optimum for the tasks of optimal design of systems or determination of optimal control laws [Electronic resource]. Access mode: <http://surl.li/ohxok> (access date: 12/15/23). Name from the screen.
13. Polishchuk O.S. Electromechanical press equipment at light industry enterprises: monograph / O.S. Polishchuk. Khmelnyskyi: PolyLux Publishing House, 2018. 285 p.
14. Horoneskul M.M. Tables of functions and critical points of distributions. Chapters: Probability theory. Mathematical statistics. Mathematical methods in psychology / M.M. Horoneskul. Kharkiv: Ukrainian State University, 2009. 90 p.
15. Colab [Electronic resource]. Access mode: <https://colab.research.google.com/> (access date 12.12.23). Name from the screen.



**I. M. РИБАЛКО**

доктор технічних наук, доцент,  
доцент кафедри сервісної інженерії та технологій матеріалів  
в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка  
Державний біотехнологічний університет  
ORCID: 0000-0002-3663-019X

**A. B. ЗАХАРОВ**

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

**O. B. САЙЧУК**

доктор технічних наук, професор  
Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж  
імені В. І. Вернадського  
ORCID: 0000-0001-5118-838X

**V. O. КОРОТІЙ**

голова обласного методичного об'єднання «Технології виробництва  
та експлуатації машин і механізмів»  
Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж  
імені В. І. Вернадського

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПРОПЛАВЛЕННЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛУ ПРИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ І МЕТОДИ ЙОГО РЕГУЛЮВАННЯ

У даній роботі розглядається можливість оперативно оцінити як розрахунковим, так і експериментальним шляхом зміну температури для деяких точок, розташованих на однаковій відстані від поверхні, що наплавляється, і відповідно зміну глибини проплавлення основного металу в залежності від розташування стрічкового електрода у шлаковій ванні. Ванна рідкого шлаку, маючи меншу, ніж у розплавленого металу, густину, постійно перебуває над поверхнею металевого розплаву, захищаючи його від впливу повітря. Краплі присадного металу, проходячи через шлак, піддаються металургійній обробці і очищаються від шкідливих домішок. Напрямок конвекції шлаку залежить від діаметра електрода: при напавленні тонким електродом переважає вимушена електромагнітна конвекція, шлак опускається біля електрода і піднімається по краях шлакової ванни, при використанні товстого електрода переважає вільна теплова конвекція, шлак опускається по краях шлакової ванни і піднімається поблизу електрода. Технологічним процесом ЕШН передбачається, як правило, отримання мінімального перемішування основного металу з наплавним. Провести таке напавлення за звичайною класичною схемою «вертикальне напавлення» і при малій висоті напавлення дуже важко. Відмінна особливість ЕШН така, що зі збільшенням глибини занурення електрода у шлак концентрація тепла навколо електрода зростає. У цьому випадку відбувається збільшення об'ємної густини теплової енергії, яка визначає характер течій у шлаковій ванні, глибину проплавлення основного металу, та, відповідно, ступінь його перемішування з наплавним. Тому одним із шляхів керування впливом енергетичних параметрів шлакової ванни на основний метал є регулювання положення теплового центру у шлаковій ванні. Проплавлення основного металу є однією з найважливіших характеристик будь-якого наплавочного процесу, яке визначає якість і властивості напавленого металу, продуктивність і економічність напавлення. Вивчення особливостей електрошлакового процесу з використанням кіно- і фотозйомки через прозоре середовище дало змогу простежити стадії процесу плавлення електрода, оплавлення кромки основного металу і зафіксувати форму поверхні металеві ванни.

**Ключові слова:** електрошлакове напавлення, товщина металу, проплавлення, методи регулювання.

**I. M. RYBALKO**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the O. I. Sidashenko Department of Service Engineering  
and Materials Technology in Mechanical Engineering  
State Biotechnological University  
ORCID: 0000-0002-3663-019X

A. V. ZAKHAROV

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

O. V. SAICHUK

Doctor of Technical Sciences, Professor  
V. I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College  
ORCID: 0000-0001-5118-838X

V. O. KOROTII

Head of the Regional Methodological Association “Technologies of Production  
and Operation of Machines and Mechanisms”  
V. I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College

## STUDY OF THE CAUSES OF BASE METAL MELTING DURING ELECTROSLAG SURFACING AND METHODS OF ITS REGULATION

*This paper considers the possibility of quickly assessing, both by calculation and experiment, the temperature change for some points located at the same distance from the surface to be deposited, and, accordingly, the change in the depth of penetration of the base metal depending on the location of the strip electrode in the slag bath. The liquid slag bath, having a lower density than the molten metal, is constantly above the surface of the metal melt, protecting it from air. Droplets of filler metal passing through the slag are subjected to metallurgical treatment and are purified from harmful impurities. The direction of slag convection depends on the diameter of the electrode: when surfacing with a thin electrode, forced electromagnetic convection prevails, the slag sinks near the electrode and rises along the edges of the slag pool, while when using a thick electrode, free thermal convection prevails, the slag sinks along the edges of the slag pool and rises near the electrode. As a rule, the technological process of ESR involves minimal mixing of the base metal with the deposited metal. It is very difficult to carry out such surfacing according to the usual classical “vertical surfacing” scheme and at a low surfacing height. A distinctive feature of ESR is that as the depth of electrode immersion in the slag increases, the heat concentration around the electrode increases. In this case, the volumetric density of thermal energy increases, which determines the nature of flows in the slag bath, the depth of penetration of the base metal, and, accordingly, the degree of its mixing with the deposited metal. Therefore, one of the ways to control the effect of slag bath energy parameters on the base metal is to adjust the position of the heat centre in the slag bath. The penetration of the base metal is one of the most important characteristics of any surfacing process, which determines the quality and properties of the deposited metal, as well as the productivity and efficiency of surfacing. Studying the features of the electroslag process using film and photography through a transparent medium made it possible to trace the stages of the electrode melting process, melting of the base metal edges and to record the shape of the metal bath surface.*

**Key words:** *electroslag surfacing, metal thickness, penetration, adjustment methods.*

### Постановка проблеми

До робочої поверхні деталей машин пред’являються певні вимоги щодо різних властивостей залежно від умов їх експлуатації: зносостійкості, жароміцності, корозійної стійкості та ін. Міцність деталі досягається використанням відповідних матеріалів з необхідними вихідними властивостями. Тобто при проектуванні машин потрібно враховувати міцність сучасних матеріалів. У ряді випадків виготовлення деталей абсолютно недоцільно через їх труднощі в механічній обробці і непрацездатності. Тому для вирішення проблеми підвищення експлуатаційних характеристик і продовження терміну служби деталей машин використовують різні способи ремонту (зміцнення) поверхонь, особливо широке застосування у виробництві знайшла технологія електрошлакової наплавки.

Термін служби деталей машин можна подовжити шляхом формування на поверхнях цих деталей і вузлів шарів, або покриттів з високим рівнем заданих властивостей (стійкість до корозії при високих температурах, зносостійкість, твердість, термостійкість тощо). Наплавлення – це процес нанесення на робочу поверхню виробу шару необхідних сплавів і модифікаторів. При електрошлаковій наплавці на робочій поверхні деталі можна отримати шар практично будь-якої товщини, з широким спектром хімічного складу і різними властивостями: високою твердістю і зносостійкістю, термостійкістю, стійкістю до кавітації та ін. Технічні операції, необхідні для відновлення працездатності зношених деталей, скорочуються в 5–8 разів порівняно з виготовленням нових деталей.

За загальними даними, 85% деталей можна відновити при зносі не більше 3 мм, тому що їх працездатність відновлюється при нанесенні невеликої товщини покриття. Однак у багатьох випадках термін служби відновлених деталей все ще дуже короткий у порівнянні з новими деталями. У той же час є і приклади, коли поступово відновлені запаси запчастин у кілька разів перевищують ресурси нових. Багаторазовий ремонт зношених деталей шляхом наплавлення дозволяє знизити вартість металу запчастин у кілька разів. Підвищення стійкості деталей

особливо важливо, якщо від них залежить робота високопродуктивних машин (прокатних станів, екскаваторів, двигунів, коробок передач), оскільки заміна зношених деталей може призвести до тривалих простоїв.

Економічно вигідно також підвищувати стійкість деталей складної форми з точними розмірами, вартість яких в основному визначається витратами на механічну та термічну обробку. Цей спосіб значно економить сировину і трудові ресурси. Застосування електрошлакової технології для поліпшення властивостей поверхні матеріалів розширило горизонти проектування та виробництва різного обладнання з більш високим рівнем експлуатаційних показників, тим самим зменшивши споживання енергії в різних галузях промисловості та підвищивши продуктивність праці.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Як правило, під час процесу електрошлакового наплавлення, явище проплавлення прагнуть звести до мінімуму. Проплавлення характеризується часткою основного металу в наплавленому і виражається у відсотках:

$$\gamma_o = \frac{F_o}{F_o + F_h} = 100\% \quad (1)$$

де  $F_o$  – площа перерізу розплавленого основного металу; а  $F_h$  – площа перерізу наплавленого металу. Частка основного металу в наплавленому коливається в широких межах і залежить від способу і режиму наплавлення. Орієнтовні її значення за різних способів наплавлення наведено в таблиці 1.

Під час плавлення електродного дроту після початку формування, відриву і падіння крапель увігнутість поверхні металевої ванни під електродом зростає. Потім вона зменшується майже до початкового значення, але водночас збільшується оплавлення з'єднувальних кромки деталі, що з'єднуються. Характерна форма оплавлення кромки пояснюється тим, що тепло підводиться до них через метал внаслідок його більшої теплопровідності порівняно зі шлаком і підмивання бічних кромки потоками розплавленого перегрітого металу. До нависаючої частини кромки ці потоки не доходять зовсім, або доходять частково.

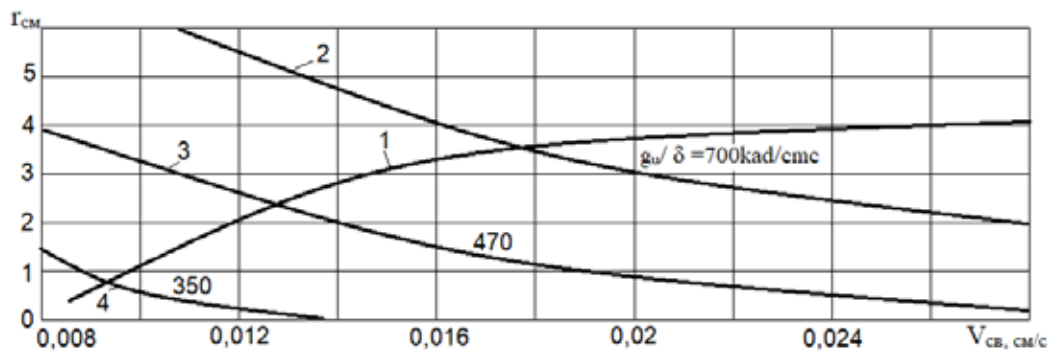
Таблиця 1

#### Частка основного металу в наплавленому за різних способів наплавлення

Спосіб наплавки	Доля основного металу в наплавленому, %
Ручна дугова покритими електродами	20...50
Автоматична дугова під флюсом:	
одним електродом	30...60
багатоелектродна	15...30
електродною стрічкою	10...20
Автоматична та напівавтоматична в захисному газі	30...60
Автоматична дугова порошковою стрічкою:	
одним електродом	15...40
двома електродами	10...20
Електрошлакове двома електродними стрічками	5...15
Електрошлакова електродними дротами	10...15
Електрошлакова зернистим присадним матеріалом	5...10
Плазмо-порошкова	5...15
Індукційна	5...15
Газова	1...3
Лазерна	0,1...1,5

Встановлено, що саме характер перенесення електродного металу чинить визначальний вплив на розміри і форму сплавлення кромки, глибину металевої ванни і форму її поверхні. Якісно взаємозв'язок глибини проплавлення з параметрами режиму електрошлакового наплавлення встановлено в роботі [18]. Отримані залежності можна застосовувати і для ЕШН, вносячи певні корективи, що враховують перерозподіл витрати тепла під час ЕШН від основного металу в формувальні пристрої (кристалізатори). Якщо для ЕШН тепловідведення в основний метал становить близько 50 %, то за ЕШН – 21 %; тепловідведення у формувальні пристрої відповідно 7,8 і 34,3 %; витрата тепла на нагрів і плавлення електродного металу практично однакові 23,8 і 23,2 % [1, с. 55]. Існує кілька розрахункових схем, що визначають взаємозв'язок глибини проплавлення і режиму наплавлення [2, с. 234. 3, с. 35].

На підставі аналізу теплового балансу ЕШН показано [4, с. 24], що з підвищенням питомої енергії наплавлення ( $g_i/v_{св} \cdot \delta$ , де  $g_i$  – потужність, що виділяється в шлаковій ванні, кал/с;  $v_{св}$  – потужність, швидкість наплавлення, см/с;  $\delta$  – товщина зварюваного матеріалу, глибина проплавлення збільшується, причому за малих швидкостей наплавлення ця залежність близька до лінійної. Зі зростанням швидкості та постійної питомої енергії наплавлення глибина проплавлення також збільшується (рис. 1).



**Рис. 1.** Вплив швидкості ЕШЗ на величину провару  $r$  за постійної питомі енергії наплавлення  $g_i/v_{св} \cdot \delta = 37200$  кал/см<sup>2</sup> (крива 1) і за постійної питомі потужності наплавлення  $g_i/\delta$  (криві 2–4)

У разі використання мундштуків, що плавляться, розрахунковим шляхом встановлено і підтверджено експериментально, що зменшення відстані між електродами і збільшення напруги сприяє отриманню більш рівномірного проплавлення [5, с. 28]. Істотний вплив на глибину проплавлення під час електрошлакового наплавлення мають такі чинники:

- фізичні властивості та геометричні розміри шлакової ванни;
- теплофізичні характеристики присадного й основного металів;
- енергетичні параметри наплавлення, що обумовлюють тепловий режим і є практично єдиними, за допомогою яких можна керувати процесом;
- геометричні розміри і співвідношення розмірів деталі, що наплавляється, металеві ванни, електрода, відстані від електрода до заготовки і кристалізатора (повзуна).

Рівномірне і мінімальне проплавлення, аж до нульового, можна отримати під час використання так званих киплячих флюсів [6, с. 710. 7, с. 1060]. Спроби знизити температуру шлакової ванни, а отже, усунути зайвий перегрів основного металу шляхом зниження сили струму і напруги при використанні звичайних флюсів не дали позитивних результатів. З іншого боку, введення в ці флюси спеціальних компонентів (стабілізаторів температури) не дало змоги отримати мінімальне проплавлення основного металу через недостатню активність цих шлаків за низької температури процесу. Нині розроблено склади хімічно активних флюсів, які гарантують отримання якісного з'єднання з мінімальним проплавленням основного металу. Стабілізація температури шлакової ванни при їх використанні забезпечується завдяки кипінню спеціально введеного компонента.

Вплив температури плавлення присадного металу на глибину проплавлення досліджували під час ЕШН електродом-трубою зразків зі сталі 45 діаметром 40 мм у кристалізаторі діаметром 70 мм. Електроди-труби були виготовлені з чавуну з температурою плавлення 1200 °С, сталі X12 з температурою плавлення 1380 °С, швидко-різальної сталі P18 з температурою плавлення 1440 °С, сталі 45 з температурою плавлення 1480 °С і сталі 15 з температурою плавлення 1520 °С. Наплавлення проводили на одному і тому ж електричному режимі з використанням флюсу АНФ-14. Встановлено, що з підвищенням температури плавлення присадного металу глибина проплавлення збільшується. Це дає змогу припустити, що тепломісткість металеві ванни суттєво впливає на глибину проплавлення [8, с. 21. 9, с. 23].

Вплив температури плавлення основного металу на глибину його проплавлення було вивчено під час наплавлення чавунним електродом-трубою на заготовки з чавуну і сталі 45, що мають значну різницю в температурах плавлення. Експерименти проводили за однакових енергетичних і геометричних параметрів процесу. У результаті досліджень встановлено, що у чавуну, у якого температура плавлення нижча, глибина проплавлення була в 3–4 рази більшою, ніж у сталі 45 [10, с. 57. 11, с. 42].

Вплив питомі потужності, тобто потужності, що припадає на одиницю площі шлакової ванни за постійної її глибини, на проплавлення основного металу досліджували під час ЕШН заготовок із чавуну і сталі 45 електродами-трубами з чавуну. Як видно з рис. 2, при наплавленні чавуну на сталь 45 (крива 1) збільшення питомі потужності на 0,1 кВт/см<sup>2</sup> призводить до збільшення глибини проплавлення в середньому на 1,0 мм. Така ж залежність існує і під час наплавлення чавуну на чавун (крива 2), проте тільки в межах питомі потужності 0,350...0,500 кВт/см<sup>2</sup>. Абсолютне значення проплавлення чавуну, як було зазначено вище, в 3–4 рази більше, ніж середньовуглецевої сталі.

Струм і напруга, що визначають питому потужність при ЕШН, по-різному впливають на проплавлення. Струм більшою мірою, ніж напруга, визначає швидкість плавлення електрода, тим самим збільшує швидкість наплавлення і скорочує час нагрівання основного металу шлаковою ванною, побічно зменшуючи проплавлення. Зі зростанням напруги проплавлення збільшується. Так, під час ЕШН сталі P18 на сталь 40 зі збільшенням напруги від 18 до 22 в проплавлення збільшується від 3 до 15 мм [12, с. 55].

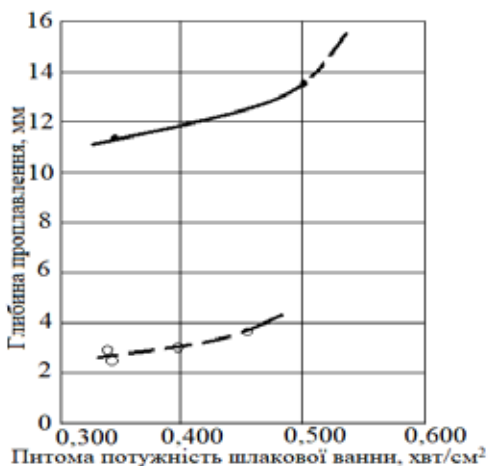


Рис. 2. Вплив питомої потужності на глибину проплавлення при ЕШН чавуну на сталь 45 (1) та чавуну на чавун (2)

Під час дослідження впливу на проплавлення розташування електродів-труб відносно заготовки було встановлено (рис. 3), що зі зменшенням зазору між електродів і наплавлюваною заготовкою глибина проплавлення основного металу збільшується.

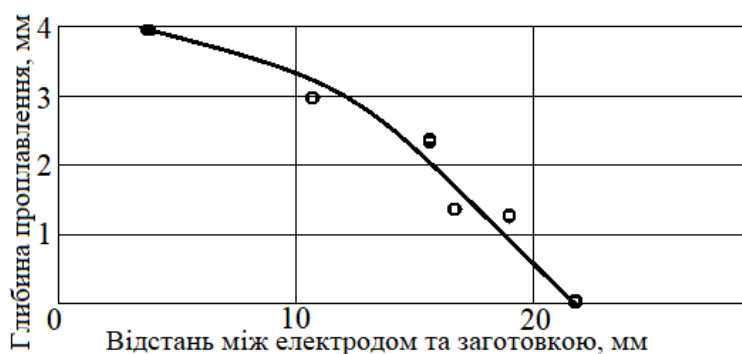


Рис. 3. Вплив зазору між електродом та заготовкою на глибину проплавлення основного металу

Вплив на проплавлення діаметра кристалізатора за незмінних діаметрів заготовки і трубчастого електрода вивчали під час наплавлення заготовок зі сталі Ст3 діаметром 75 мм електродом-трубою із зовнішнім діаметром 40 мм і товщиною стінки 5 мм. Кристалізатори мали внутрішній діаметр 60, 75 і 100 мм. Зі зростанням зазору між кристалізатором і електродом-трубою проплавлення основного металу збільшується (рис. 4), що, очевидно, пов'язано зі збільшенням маси шлакової та металеві ванн [13, с. 127. 14, с. 67].



Рис. 4. Вплив зазору між електродом і кристалізатором на глибину проплавлення основного металу

Досліджували вплив на проплавлення основного металу частоти обертання одночасно обертових циліндричної наплавлюваної заготовки і кристалізатора. Частоту обертання змінювали від 10 до 30 хв. Глибина проплавлення під час обертання заготовки більш рівномірна, ніж без її обертання. Це пояснюється тим, що при обертанні

заготовки відбувається вирівнювання температури шлаку по периметру кристалізатора. Отримані результати дали змогу рекомендувати для промислового наплавлення частоту обертання  $10 \text{ хв}^{-1}$  [15, с. 22]. Деякими особливостями формування проплавлення відрізняється наплавлення некомпактними матеріалами в струмопідвідному кристалізаторі. Це пов'язано з відсутністю за цього способу наплавлення витратних електродів, а верхня секція СПК, що виконує функцію невитратного електрода, розташовується відносно шлакової та металевої ванн інакше, ніж невитратні електроди за інших способів ЕШН.

Крім того, одностороннє (асиметричне) підведення струму від джерела живлення до електрично незамкнутої струмопідвідної секції СПК підвищує ймовірність нерівномірного проплавлення основного металу з максимальними значеннями в зоні приєднання силового кабелю до струмопідвідної секції. Обертання шлакової ванни в горизонтальній площині певною мірою зменшує коливання проплавлення по периметру заготовки, але повністю негативний вплив асиметричного підведення струму усувається лише за допомогою спеціальних технічних прийомів. Зокрема, забезпечення більш рівномірного проплавлення дає змогу використання багатосекційного струмопідводу [16].

Під час наплавлення в СПК можна виділити чотири форми проплавлення. Досягнення оптимального розподілу електричного струму в шлаковій ванні шляхом правильного вибору технологічних параметрів наплавлення і конструктивних розмірів кристалізатора [17] призводить до того, що більша частина струму наплавлення буде йти від струмопідвідної секції СПК до металевої ванни, а не на заготовку. Зона максимального тепловиділення в шлаковій ванні невелика: висота оплавленої ділянки заготовки не перевищує 15 мм, а глибина 3 мм.

У разі проходження більшої частини струму наплавлення на заготовку висота і глибина оплавленої ділянки збільшується, відповідно, але значною мірою зростає глибина проплавлення. При цьому висота оплавлення основного металу відповідає глибині шлакової ванни.

При виконанні наплавлення з мінімальним тепловкладенням (знижений електричний режим, використання легкоплавких, високоелектропровідних флюсів) можна отримати так зване нульове проплавлення. Якісне з'єднання основного і напавленого металів відбувається за умови очищення напавлюваної поверхні від оксидів і її змочування розплавленим металом присадки. Виконання наплавлення з отриманням нульового проплавлення при забезпеченні якісної поверхні напавленого шару – доволі складне завдання, оскільки невеликі коливання режиму наплавлення можуть призводити до дефектів у зоні сплавлення у вигляді непроварів, або до появи глибокого проплавлення.

Після заливки в СПК порції рідкого металу заповнює кільцеву оплавлену виїмку в основному металі, а частина, що залишилася, відтісняє шлакову ванну вгору, унаслідок чого металева ванна контактуватиме з ще неоплавленою частиною заготовки. Рідкий метал оплавляє поверхню заготовки, але це оплавлення менше, ніж від впливу шлакової ванни. Відповідно зменшується і глибина проплавлення. У міру переміщення кристалізатора (або заготовки) в контакт зі шлаковою ванною вступає нова ділянка заготовки, яка також оплавляється по кільцю аналогічно першій ділянці. Оскільки рідкий присадний метал заливають дозовано, то процес, описаний вище, повторюється і відповідно до нього змінюється глибина проплавлення.

### Висновки

Для зниження проплавлення основного металу під час ЕШН рекомендуються такі заходи:

- зниження питомої енергії завдяки зменшенню напруги до мінімально допустимого значення, за якого зберігається стабільність електрошлакового процесу, збільшення швидкості наплавлення завдяки підвищенню швидкості подачі електрода і зменшенню зазору між деталлю, що наплавляється, та формувальним пристроєм;
- регулювання розподілу тепла в шлаковій ванні таким чином, щоб основна його частина виділялася в зоні з максимальним тепловідведенням у безпосередній близькості від водоохолоджувальних формувальних пристроїв, наприклад завдяки переміщенню електродів до стінок кристалізатора;
- оптимальний розподіл потужності між електродами завдяки використанню незалежних плавно регульованих джерел живлення і роздільних регульованих приводів подачі електродів;
- використання під час наплавлення некомпактного присадного матеріалу, який плавиться при значно менших витратах тепла, ніж це потрібно для розплавлення такої ж кількості компактного матеріалу;
- зниження тепловкладення завдяки додатковому введенню в шлакову ванну суцільного, або порошкового дротів чи рідкого присадного матеріалу;
- використання біфлярної схеми струмопідведення до електродів, що дає змогу більш ніж у 5 разів зменшити проплавлення;
- у міру теплонасичення напавлюваної заготовки електроди віддаляють від напавлюваної поверхні за певним законом;
- інтенсифікація попереднього підігріву електродного дроту шляхом використання незалежних джерел струму і шляхом збільшення «сухого» вильоту електродного дроту;
- здійснення електрошлакового процесу з дозованою подачею потужності, що сприяє зниженню температури крапель і зменшує тепловкладення;

- зміна розмірів струмопідвідних секцій невитратних секційних кристалізаторів з метою оптимального розподілу теплових потоків у шлаковій ванні;
- встановлення в шлаковій ванні водоохолоджуваних екранів, що запобігають підвищеному прогріванню поверхні, що наплавляється, або її розташування всередині формувального пристрою в безпосередній близькості від його водоохолоджуваних стінок.
- барботування шлакової ванни інертним газом для перерозподілу в ній теплових потоків.

### Список використаної літератури

1. Скобло, Т.С., Рибалко, І.М., Захаров, А.В. Аналіз електрошлакового наплавлення металу з малою товщиною відновлювально-зміцнювального робочого шару деталі. Інформаційно-аналітичний міжнародний науково-технічний журнал «Промисловість у фокусі». Харків, № 10. 2021. С. 54–56.
2. Сайчук, О.В., Рибалко, І.М., Захаров, А.В. Електрошлакове нанесення на постійному струмі в струмопідвідному кристалізаторі з електродом великого перерізу. Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні напрямки та рухи в науці»: Матеріали конференції, 6–8 жовтня. Люксембург, Люксембург. 2022. С. 229–237.
3. Патон, Б. Є. Електрошлакове зварювання та наплавлення. Київ: Наукова думка. №.11. 1980. С. 34–37.
4. Сушук-Слюсаренко, І.І., Личко, І.І., Козулін, М.Г. Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах. Київ: Наукова думка. № 12. 1989. С. 24–25.
5. Патон, Б.Є. Технологія електрозварювання металів і сплавів плавленням. Київ: Наукова думка. № 14. 1977. С. 27–29.
6. Azzoni, M. Досягнення та розробки в галузі типів твердих фаз для використання в абразивостійких поверхнях. *WeldInter national*. V. 23. 2009. P. 706–716.
7. Klimpel, A., Dobrzanski, L. A., Janicki, D., Lisiecki, A. Стійкість до стирання металовмісних дротів ГМА з наплавленням. *Material Handling Technology*. V. 164–165. 2005. P. 1056–1061.
8. Степанов, В.В. Густина розплавлених флюсів для електрошлакового переплаву і нагріву. Київ: Автоматичне зварювання. № 2. 1997. С. 21–22.
9. Лютий, І.В. Електрошлакова плавка і рафінування металів. Київ: Наук. Думка. № 2. 1999. С. 22–24.
10. Подгаєцький, В.В. (1997). Зварювальні флюси. Київ: Техніка. Вип. 4. Вип. 3. С. 52–60.
11. Латаш, Ю.В. Очистка металу від неметалевих включень при електрошлаковому переплаві. Київ: Автоматичне зварювання. № 9. 2006. С. 34–56.
12. Нікітін, Б.М. О фазовом составе фторсодержащих шлаков электрошлакового переплава. ДОПОВІДІ АН СРСР. Метали. № 6. 1987. С. 54–56.
13. Жмоїдін, Г.І. Плавкость фторсодержащих шлаков. ДОПОВІДІ АН СРСР. Метали. No. 6. 1989. С. 123–134.
14. М., Скороходов, Ю.В., Кусков, Ю.М., Скороходов, Ю.В., Кусков, Ю.В. М., Рябцев, І. А., Саричев, І. С. Електрошлакове наплавлення. Київ: Наука та технології. No. 14. 2018. С. 67–68.
15. Кусков, Ю.М., Рябцев, І.А., Кузьменко, О.Г., Лентюгов, І.П. Електрошлакові технології наплавлення та переробки металу та металовмісних відходів. Київ: Інтерсервіс. No.11. 2020. С. 22–23.
16. Патон, Б. Є., Медовар, Б. І. Електрошлакові печі. Київ: Наукова думка. 1987. № 4.
17. Патон, Б. Є. Электрошлаковая сварка и наплавка. Машинобудування. 1980. № 2.
18. Патон, Б. Є., Медовар, Б. І. Електрошлакова технологія за кордоном. Київ: Наукова думка. 1982. No. 1.

### References

1. Skoblo, T.S., Rybalko, I.M., Zakharov, A.V. (2021). Analiz elektroshlakovoho naplavlennya metalu z maloyu tovshchynoyu vidnovnoho ta zmitsnyuyuchoho robochoho sharu detali [Analysis of electroslag surfacing of metal with a small thickness of the reducing and strengthening working layer of a part]. *Information-analytical international scientific and technical journal «Industry in Focus»*. Kharkiv, no. 10. С. 54–56.
2. Saichuk, O.V., Rybalko, I.M., Zakharov, A.V. (2022). Nanesennya elektroshlak na postiynomu strumi v strumoprovodnomu krystalizatori z elektrodom velykoho pererizu. [Electroslag application at direct current in a current-supplying crystalliser with a large-section electrode]. *International scientific and practical conference «Modern directions and movements in science»: Conference proceedings*, 6–8 October. Luxembourg, Luxembourg. С. 229–237.
3. Paton, B. E. (1980). Elektroshlakove zvaryuvannya ta naplavlennya. [Electroslag welding and surfacing]. Kyiv: Naukova Dumka. №.11. С. 34–37.
4. Sushchuk-Slyusarenko, I.I., Lychko, I.I., Kozulin, M.G. (1989). Elektroshlakove zvaryuvannya ta naplavlennya v remontnykh robotakh. [Electroslag welding and surfacing in repair work]. Kyiv: Scientific thought. № 12. С. 24–25.
5. Paton, B.E. (1977). Tekhnolohiya elektrozvaryuvannya metaliv i splaviv plavlenniam. [Technology of electric welding of metals and alloys by melting]. Kyiv: Scientific thought. № 14. С. 27–29.
6. Azzoni, M. (2009). Dosyahnennya ta rozrobky v oblasti typiv tverdyykh faz dlya vykorystannya v znosostiykykh poverkhnnyakh. [Achievements and developments in the field of types of solid phases for use in abrasion-resistant surfaces]. *WeldInter national*. V. 23. P. 706–716.

7. Klimpel, A., Dobrzanski, L. A., Janicki, D., Lisiecki, A. (2005). Stiykist' do styrannya metalovmisnykh provodiv KHMA z obolonkoyu. [Abrasion resistance of metal-containing wires of HMA with cladding]. *Material Handling Technology*. V. 164–165. P. 1056–1061.
8. Stepanov, V.V. (1997). Shchil'nist' rozplavlenykh flyusiv dlya elektroshlakovoho pereplavu ta nahrivu. [Density of molten fluxes for electroslag remelting and heating]. *Kyiv: Automatic welding*. № 2. C. 21–22.
9. February, I.V. (1999). Elektroshlakova plavka ta rafinuvannya metaliv. [Electroslag melting and refining of metals]. *Kyiv: Nauk. Dumka*. № 2. C. 22–24.
10. Podgayatsky, V.V. (1997). Zvaryuval'ni flyusy [Welding fluxes]. *Kyiv: Technika*. Issue 4. C. 52–60.
11. Latash, Y.V. (2006). Ochyshchennya metalu vid nemetalichnykh vklyuchen' pry elektroshlakovomu pereplavi. [Metal cleaning from non-metallic inclusions during electroslag remelting]. *Kyiv: Automatic welding*. № 9. C. 34–56.
12. Nikitin, B.M. (1987). Pro fazovyy sklad ftorovmisnykh shlakiv elektroshlakovoho pereplavu. [On the phase composition of fluorine-containing slags of electroslag remelting]. *REPORTS OF THE USSR ACADEMY OF SCIENCES. Metals*. № 6. C. 54–56.
13. Zhmoidin, G.I. (1989). Plavlennya ftorovmisnykh shlakiv. [Melting of fluorine-containing slags]. *REPORTS OF THE USSR ACADEMY OF SCIENCES. Metals*. No. 6. C. 123–134.
14. Kuskov, Y.M., Ryabtsev, I.A., Sarychev, I.S. (2018). Elektroshlakove naplavlennya. [Electroslag surfacing]. *Kyiv: Science and Technology*. No. 14. C. 67–68.
15. Kuskov, Y.M., Ryabtsev, I.A., Kuzmenko, O.G., Lentiugov, I.P. (2020). Elektroshlakovi tekhnolohiyi naplavlennya ta pererobky metalu ta metalovmisnykh vidkhodiv. [Electroslag technologies of surfacing and processing of metal and metal-containing waste]. *Kyiv: Interservice*. No. 11. C. 22–23.
16. Paton, B.E., Medovar, B.I. (1987). Elektroshlakovi pechi. [Electroslag furnaces]. *Kyiv: Naukova Dumka*. № 4.
17. Paton, B.E. (1980). Elektroshlakove zvaryuvannya ta naplavlennya. [Electroslag welding and surfacing]. *Engineering*. № 2.
18. Paton, B.E., Medovar, B.I. (1982). Elektroshlakova tekhnika za kordonom. [Electroslag technology abroad]. *Kyiv: Naukova Dumka*. No. 1.



**В. Л. РОМАХ**

старший викладач кафедри «Експлуатація портів  
і технологія вантажних робіт»  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0000-0003-3958-0041

**В. І. ТИХОНІН**

старший викладач кафедри «Експлуатація портів  
і технологія вантажних робіт»  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0000-0003-1619-8130

**І. І. ТИХОНІНА**

старший викладач кафедри «Експлуатація флоту  
і технологія морських перевезень»  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0009-0001-5258-1949

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВАНТАЖОПОТОКІВ В СИСТЕМІ «СУХИЙ ПОРТ-МОРСЬКИЙ ПОРТ»

У даній роботі пропонується методика вирішення задачі визначення оптимального маршруту переміщення вантажопотоків в системі «сухий порт – морський порт» з застосуванням теорії графів. Попередньо визначається зміна функцій і форм сучасних портів та суходільних транспортних вузлів на функції та форму вантажних розподільчих центрів. В роботі робиться припущення, що вантажні морські та суходільні розподільчі центри та наземні шляхи, що їх сполучають належним чином обладнані та облаштовані; наявні сучасні транспортні засоби, що забезпечують комунікацію. Встановлено кількість складових системи «сухий порт-морський порт». Робиться припущення про співвідношення улаштування, обладнання елементів транспортної системи, визначені технічні характеристик транспортних засобів та час, що витрачається ними на переміщення вантажу. Враховано кількість та структура підсистем, що взаємодіють, їх взаємо проникність. Надається просторове розташування вантажних розподільчих центрів та шляхів сполучення. Визначається оптимальний маршрут переміщення вантажопотоку за показником мінімізації витраченого ресурсу (часу) від сухого порту до оперативної зони вантажного терміналу морського порту. Розглядається декілька альтернативних маршрутів різної забезпеченості, представлених двома видами наземного транспорту обладнання яких послідовно входить до підсистем «сухий порт». За тим же принципом визначається оптимальне переміщення вантажопотоку за показником мінімізації витраченого ресурсу від сортувального майданчика морського порту до складських майданчиків вантажного портового терміналу. Розглядається декілька альтернативних маршрутів з обов'язковим проміжним елементом, обладнання яких входить до підсистеми «морський порт». Встановлюється пріоритетність заповнення складських площ з урахування обов'язкового залучення вагових майданчиків. Уточняється пріоритетність заповнення складських площ з додаванням умови першочерговості обслуговування складського майданчика, розташованого в оперативно-виробничій зоні, встановлюється баланс значень часу та ємності. Отримані результати узагальнюються та структуруються.

**Ключові слова:** вантажні розподільчі центри, шляхи сполучення, система «сухий порт-морський порт», теорія графів, критерій часу, оптимальний маршрут.

**V. L. ROMAkh**

Senior Lecturer at the Department of “Port Operation  
and Cargo Handling Technology”  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0000-0003-3958-0041

**V. I. TYKHONIN**

Senior Lecturer at the Department of “Port Operation  
and Cargo Handling Technology”  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0000-0003-1619-8130

I. I. TYKHONINA

Senior Lecturer at the Department of "Fleet Operation  
and Shipping Technology"  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0009-0001-5258-1949

## METHOD OF DETERMINING THE ROUTE OF CARGO FLOWS IN THE "DRY PORT-SEA PORT" SYSTEM

*In this paper, a method of solving the problem of determining the optimal route for the movement of cargo flows in the «dry port – sea port» system is proposed. Graph theory is used in the work. The change of functions and forms of modern ports and land transport hubs to the functions and form of cargo distribution centers is preliminarily determined. The work assumes that cargo sea and land distribution centers and land routes connecting them are properly equipped and equipped; there are modern means of transport that provide communication. The number of components of the «dry port-sea port» system has been established. An assumption is made about the ratio of the arrangement, equipment of the elements of the transport system, the specified technical characteristics of the vehicles and the time spent by them to move the cargo. The number and structure of interacting subsystems, their mutual permeability are taken into account. Spatial location of cargo distribution centers and communication routes is provided. The optimal route of movement of the cargo flow is determined by the indicator of minimization of the spent resource (time) from the dry port to the operational zone of the cargo terminal of the sea port. Several alternative routes of different availability are considered, represented by two types of land transport, the equipment of which is successively included in the «dry port» subsystems. According to the same principle, the optimal movement of the cargo flow is determined by the indicator of minimization of the spent resource from the seaport sorting area to the storage areas of the cargo port terminal. Several alternative routes with a mandatory intermediate element are considered, the equipment of which is part of the «sea port» subsystem. The priority of filling warehouse spaces is established, taking into account the mandatory involvement of weighing platforms. The priority of filling warehouse spaces is clarified with the addition of the condition of priority of maintenance of the warehouse site located in the operational-production zone, the balance of time and capacity values is established. The obtained results are summarized and structured.*

**Key words:** cargo distribution centers, communication routes, «dry port-sea port» system, graph theory, time criterion, optimal route.

### Постановка проблеми

Удосконалення та раціональне використання транспортної інфраструктури є одним з пріоритетів розвитку транспортної галузі. Стикаючись з проблемами подекуди нерозвиненої, чи, що наразі актуально, пошкодженої інфраструктури, нестачею транспортного парку, тощо, у представників транспортної галузі одним з питань постає оптимізація процесу переміщення вантажу між різними складовими транспортних систем, що використовуються. Наразі і місце і функції сучасного морського порту в транспортно-технологічній системі (ТТС) доставки вантажу змінюється, набувають функцій та форм розподільчих центрів, пов'язаних з іншими центрами розподілу внутрішньоматерикових вантажопотоків системою транспортних мереж [1, 2]. Розглядаючи систему ТТС «сухий порт-морський порт» (СП-МП), як демонстраційну форму моделі «порт-хімтерленд», забезпечення ефективного функціонування даної системи та належної якості доставки вантажу залежить від скоординованої роботи всіх учасників транспортного процесу в рамках даної моделі.

Одним з важелів забезпечення ефективного функціонування системи СП-МР є визначення оптимальної траєкторії переміщення вантажів в розгалуженій мережі транспортного сполучення, що потребує використання відповідних методик її визначення. При цьому визначення методу дослідження обумовлюється заданими цілями, визначеними потребами, об'єктами що взаємодіють в рамках обраної транспортної системи, їх просторовим розташуванням тощо.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значна увага наукової спільноти присвячена окремо розвитку розподільчих центрів та їх структурних елементів, окремо розвитку шляхів сполучення. Відповідно основним положенням [1–4], де було актуалізоване питання класифікації портів, обґрунтовано понятійний апарат, визначено місце, функції та форми порту в сучасних ТТС, структуровано та «актуалізовано» саме поняття ТТС, його функції, структура тощо, в даній роботі основними складовими системи СП-МП визначено об'єкти портової та позапортової інфраструктури [5]. Окремим локальним питанням розвитку складових системи – об'єктів операційної, виробничої, тилової зон морських портів, інфраструктури суміжних видів транспорту тощо присвячено роботи, де, зокрема, оптимізуються параметри укрупнених вантажних одиниць [6], обґрунтовується структура парку вантажного обладнання порту [7], окремі

параметри портових вантажних комплексів [8] або робота портового терміналу за декількома критеріями оптимізації [9]. В інших роботах запропоновано комплексний підхід до оцінки питання оптимізації взаємодії морського та залізничного транспорту на морських портових терміналах [10]. Окремо, локальним питанням розвитку складових системи мереж сполучення, в тому числі й між розподільчими центрами, з точки зору оптимізації параметрів шляху, підвищення рівня пропускної здатності, оптимізації маршруту в тому числі проблемам маршрутизації присвячено роботи [11–13].

Комплексно, з точки зору оптимізації ланцюга постачань, в роботі [14] моделюється процес постачання, враховуючи множини пунктів транспортної взаємодії, але при такому ракурсі в задачі не враховується внутрішньо-портові процеси та показники.

Очевидно, що проблема оптимізації напрямів переміщення вантажів транспортної системи СП-МП потребує подальшого структурування, вивчення та рішення.

#### Формулювання мети дослідження

В контексті забезпечення ефективної роботи системи СП-МП, відповідно до класифікацій та форм просторового розташування, типу та наявності вантажного обладнання у розподільчих центрах, типу транспортних засобів, облаштуванню сполучень мережі тощо вибір критерію ефективності та методу рішення задачі і, як наслідок, оптимізації процесу залишаються актуальними питаннями.

Сфокусувавшись на факторі інтенсивності (швидкості) транспортування, наявність інформації щодо відповідних технічних параметрів вузлових елементів систем, обладнання їх суходільних сполучень та параметрів вантажних засобів, що забезпечують комунікацію в обраній системі, потребує застосування методу визначення оптимальної траєкторії переміщення вантажопотоків при мінімізації ресурсу. Тож метою роботи є розробка методики оптимальної траєкторії переміщення вантажопотоків в системі СП-МП за критерієм мінімізації часу, використовуючи для цього метод потенціалів.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

При аналізі виробничих процесів порту структурування вихідних даних полегшує виробничі задачі, надає наочне розуміння процесів, та компонування структури. Спираючись на вихідний набір даних, де в структуру підсистеми СП входить безпосередньо сам термінал, альтернативні мережі, представлені автомобільним та залізничним видами транспорту з проміжними пунктами від межі виходу (сортувальний майданчик) з терміналу сухого порту до входу в порт морський. До структури підсистеми МП відносяться вхід до порту (сортувальний майданчик), вагові та складські майданчики морського портового терміналу, термінальне обладнання. На рисунку 1 схематично надано взаємодію підсистем, що розглядаються.

Наведемо основні етапи методики визначення оптимальної траєкторії переміщення вантажопотоків в системі СП-МП за мінімумом витраченого часу, тобто визначаємо:

- просторове розташування розподільчих центрів;
- просторове розташування ланок, що пов'язують основні розподільчі центри;



Рис. 1. Взаємодія підсистем СП – МП

Джерело: побудовано авторами

- кількість видів наземного транспорту, що забезпечують зв'язок елементів;
- кількість альтернативних напрямів кожного виду наземного транспорту обладнання яких входить до підсистеми «сухий порт»;
- кількість проміжних пунктів кожного альтернативного напрямку кожного виду транспорту, що належать підсистемі «сухий порт»;

- кількість внутрішньотермінальних маршрутів з обов’язковими проміжними елементами, обладнання яких входить до підсистеми «морський порт»;
- технічні параметри елементів обох підсистем та їх пропускна здатність;
- технічні характеристики транспортних засобів, що забезпечують процес у підсистемі СП;
- технічні характеристики транспортних засобів та/або вантажного обладнання, що забезпечують процес на ланках у підсистемі МП;
- показник швидкості на кожній ділянці кожної підсистеми при використанні відповідного типу наземного транспорту та/або вантажного обладнання;
- оптимальний маршрут переміщення вантажопотоку за показником мінімізації витраченого ресурсу від сортувального майданчика сухого порту (СП<sub>1</sub>) до сортувального майданчика (СМ<sub>1</sub>) вантажного терміналу морського порту (МП<sub>1</sub>) з урахуванням впливу улаштування і обладнання обраних інфраструктурних елементів застосовавши теорію графів, метод потенціалів;
- оптимальне переміщення вантажопотоку за показником мінімізації витраченого ресурсу від СМ<sub>1</sub> СМ<sub>1</sub>МП<sub>1</sub> (внутрішньотермінальне переміщення) до складських майданчиків С<sub>к</sub>М<sub>1</sub>МП<sub>1</sub> С<sub>к</sub>М<sub>2</sub>МП<sub>2</sub> з урахуванням вагових майданчиків (ВМ<sub>1</sub>МП<sub>1</sub> та ВМ<sub>2</sub>МП<sub>2</sub>) за тим же принципом;
- пріоритетність заповнення складських площ з урахуванням залучення вагових майданчиків;
- уточнена пріоритетність заповнення складських площ з додаванням умови першочерговості обслуговування складського майданчика, розташованого в оперативно-виробничій зоні терміналу морського порту, встановлюючи баланс критерію часу та ємності складського майданчика;
- узагальнені та структуровані результати.

Тож система складається з одного сортувального майданчика сухого порту, одного сортувального майданчика морського порту, трьох проміжних пунктів та шести ланок автомобільної мережі, одного проміжного пункти та двох танок залізничної мережі, двох вагових та двох складських майданчиків.

Особливості компонування – в’їзд до морського порту пов’язаний лише з двома портовими складами. Внутрішньопортове переміщення обов’язково проходить через один з двох ваговий майданчик.

Застосовуючи теорію графів, метод потенціалів, визначається оптимальний маршрут переміщення вантажопотоку та подальше рішення корегується з урахуванням умови ранжування черговості заповнення складських приміщень – від мінімального до максимального. Значення ємності підпорядковується нормам проектування вантажного терміналу порта.

В якості транспортного засобу в розрахунках обираємо автомобільний тягач з причепом та залізничну платформу. В якості засобу внутрішньопортової механізації (ВПМ) залучаємо термінальний тягач. Швидкість пересування засобу ВПМ по всій території терміналу порту приймається однаковою, мінімальною, враховуючи час на завантаження/вивантаження у кінцевих точках схеми.

Використовуючи емпіричні та формалізовані методи встановлюються показники пропускної здатності кожного окремого елемента. Спираючись на взаємозалежність показника пропускної здатності та швидкості переміщення вантажу розраховуються часові показники подолання відстаней між елементами.

Випишуємо вершини графа – пункти відправлення, пункти призначення проміжні пункти (станції) та при своєємо їм коди (латинські літери в алфавітному порядку): вершина K(i) – (A), вершина K(i+1) (B) ... вершина K(i+n) – (N); ланка L(i,i+1) – (AB), ланка L(i+1, ...i+n). З швидкісних характеристик розраховуємо час шляху між пунктами (Ti). Усі перелічені показники зводимо в форму, наведену в таблиці 1.

Таблиця 1

**Сформовані показники витраченого часу для елементів системи СП-МП**

Пункти	Найменування вершин графу	Найменування ланки графу	Розмір ланки, км	Потенціал,
Відправлення				
Ki	A			
Проміжні				
Ki+1	B	Li	Si	Ti
...	C	Li+1	Si+1	Ti+1
...	...	...	...	...
Призначення	...	...	...	...
Ki+n	N	Li+n	Si+n	Ti+n

Джерело: побудовано авторами

Використовуючи метод потенціалів, визначаємо найменше значення часу переміщення вантажопотоку (X) з точки Р СМ1СП1 до СМ1МП1 та від СМ1МП1 на множину елементів (К) суперструктури терміналу порту. С<sub>к</sub>М1МП1 С<sub>к</sub>М2МП2 з урахуванням ВМ1МП1 та ВМ2МП2.

Використовуючи метод потенціалів, знаходимо дерево оптимального шляху доставки вантажопотоку СМ1МП1. При визначенні оптимального переміщення вантажопотоку за показником мінімізації часу на етапі СП1 до СМ1. МП1 поетапно розглядається введення альтернативних автомобільних та залізничних маршрутів підсистеми «сухий порт».

Перший етап – дві альтернативи, що забезпечується інфраструктурою автомобільного транспорту (рис. 2, табл. 2), має вже визначені значення швидкості та складається з наступного:

- сортувальний майданчик підсистеми СП – А;
- сортувальний майданчик морського порту – F;
- проміжні пункти, автомобільні – В, С;
- ланки автомобільної мережі – АВ, ВF, АС, СF.

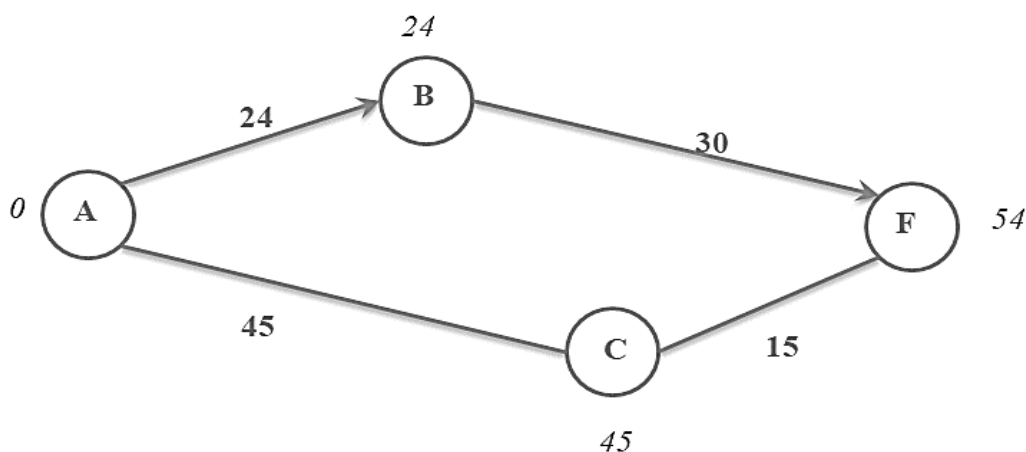


Рис. 2. Перший етап

Джерело: побудовано авторами

На даному етапі оптимальним рішенням є альтернатива АВF.

Другий етап – три альтернативи (рис. 3, табл. 3), автотранспорт:

- сортувальний майданчик підсистеми СП – А;
- сортувальний майданчик морського порту – F;
- проміжні пункти, автомобільні – В, С, D;
- ланки автомобільної мережі – АВ, ВF, АС, СF, AD, DF.

Таблиця 2

Перший етап

Пункти	Найменування вершин графу	Найменування ланки графу	Розмір ланки, км	Час перевезення, хв.
Відправлення				
Р4	А			
Проміжні				
А2	В	АВ	16	24
А3	С	АС	30	45
Призначення				
О3	F			
		ВF	20	30
		СF	10	15

Джерело: побудовано авторами

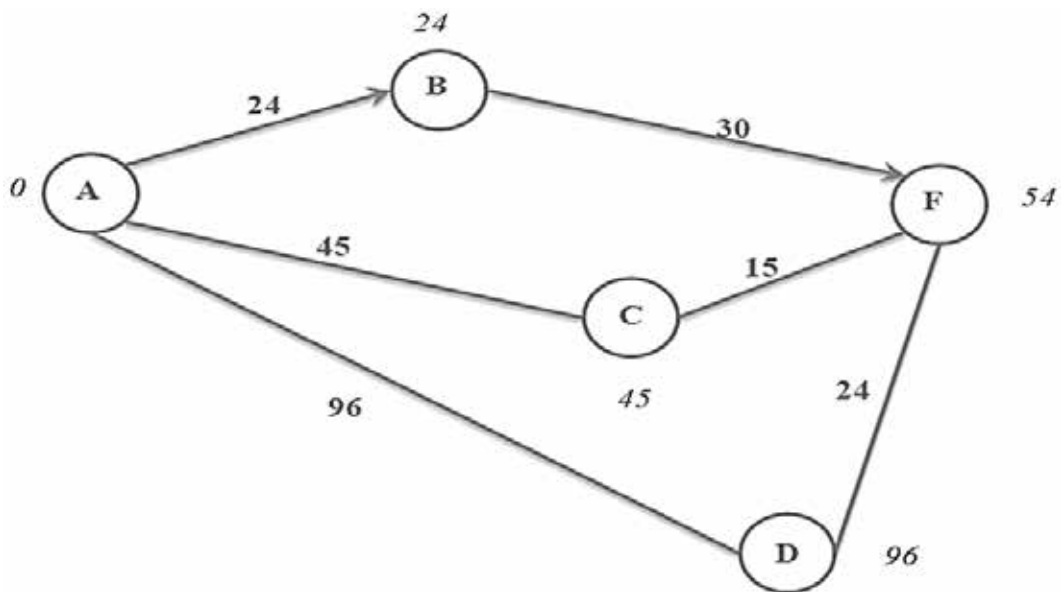


Рис. 3. Другий етап

Джерело: побудовано авторами

На даному етапі оптимальне рішення зберігається (ABF).

Третій етап – до попередніх варіацій додається складова, представлена залізничним транспортом (рис. 4, табл. 4):

Таблиця 3

Другий етап

Пункти	Найменування вершин графу	Найменування ланки графу	Розмір ланки, км	Час перевезення, хв.
Відправлення				
P4	A			
Проміжні				
A2	B	AB	16	24
A3	C	AC	30	45
A4	D	AD	40	96
Призначення				
O3	F			
		BF	20	30
		CF	10	15
		DF	10	24

Джерело: побудовано авторами

- сортувальний майданчик підсистеми СП – А;
- сортувальний майданчик морського порту – F;
- проміжні пункти, автомобільні – В, С, D;
- ланки автомобільної мережі – АВ, ВF, АС, CF, AD, DF;
- проміжний пункт, залізничний – E;
- ланки залізничної мережі – АЕ, EF.

На даному етапі оптимальне рішення зберігається (ABF).

При визначенні подальшого оптимального варіанту рішення на етапі від  $CM_1MP_1$  на  $CKM_1MP_1$   $CKM_2MP_2$  з урахуванням  $BM_1MP_1$  та  $BM_2MP_2$  (рис. 5, табл. 5) лінійка складових розширюється:

- сортувальний майданчик підсистеми СП – А;
- сортувальний майданчик морського порту – F;
- проміжні пункти, автомобільні – В, С, D;
- ланки автомобільної мережі – АВ, ВF, АС, CF, AD, DF;

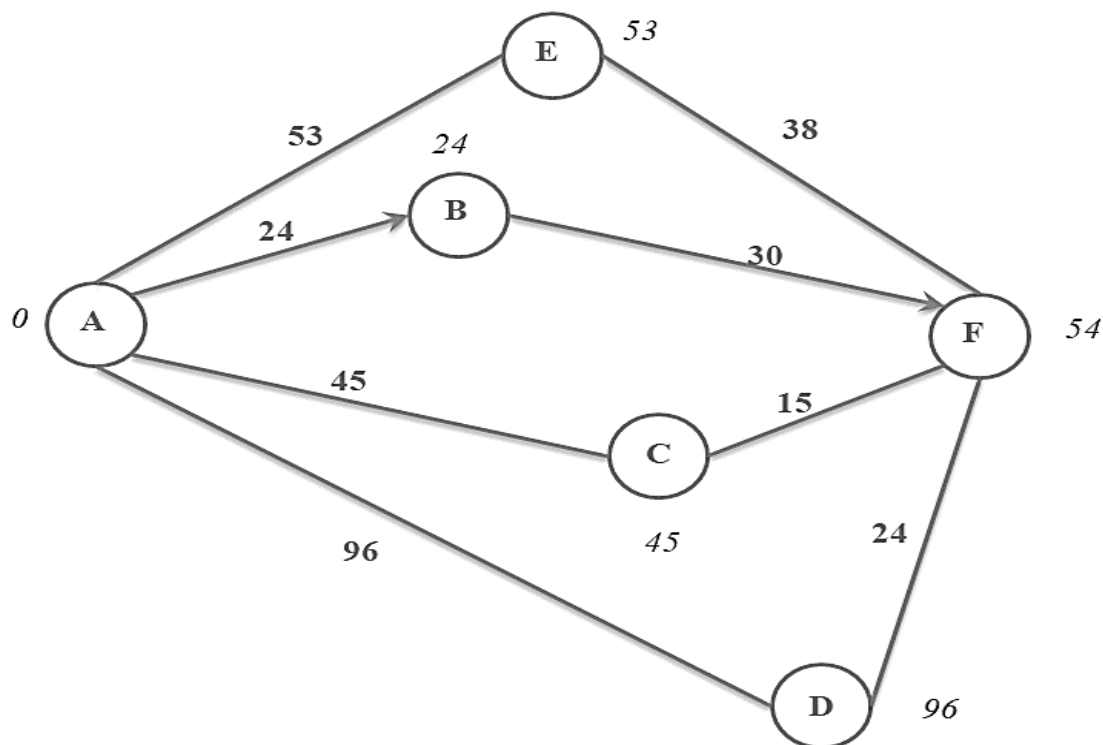


Рис. 4. Третій етап

Джерело: побудовано авторами

Таблиця 4

Третій етап

Пункти	Найменування вершин графу	Найменування ланки графу	Розмір ланки, км	Час перевезення, хв.
Відправлення				
Р4	А			
Проміжні				
А2	В	АВ	16	24
А3	С	АС	30	45
А4	D	AD	40	96
34	Е	АЕ	35	53
Призначення				
О3	F			
		BF	20	30
		CF	10	15
		DF	10	24
		EF	25	38

Джерело: побудовано авторами

- проміжний пункт, залізничний – Е;
- ланки залізничної мережі – АЕ, EF;
- проміжний пункт вантажного терміналу морського порту – Н, G;
- складські майданчики портового терміналу – I, J.

З рішення є очевидним, що в, в першу чергу, буде відбуватися завантаження складського майданчика I вантажного терміналу морського порту (маршрут А-В-F-G-I).

Складський майданчик J забезпечується вантажопотоком в другу чергу використовуючи маршрут А-В-F-Н-J (F-Н-J – переривчаста лінія).

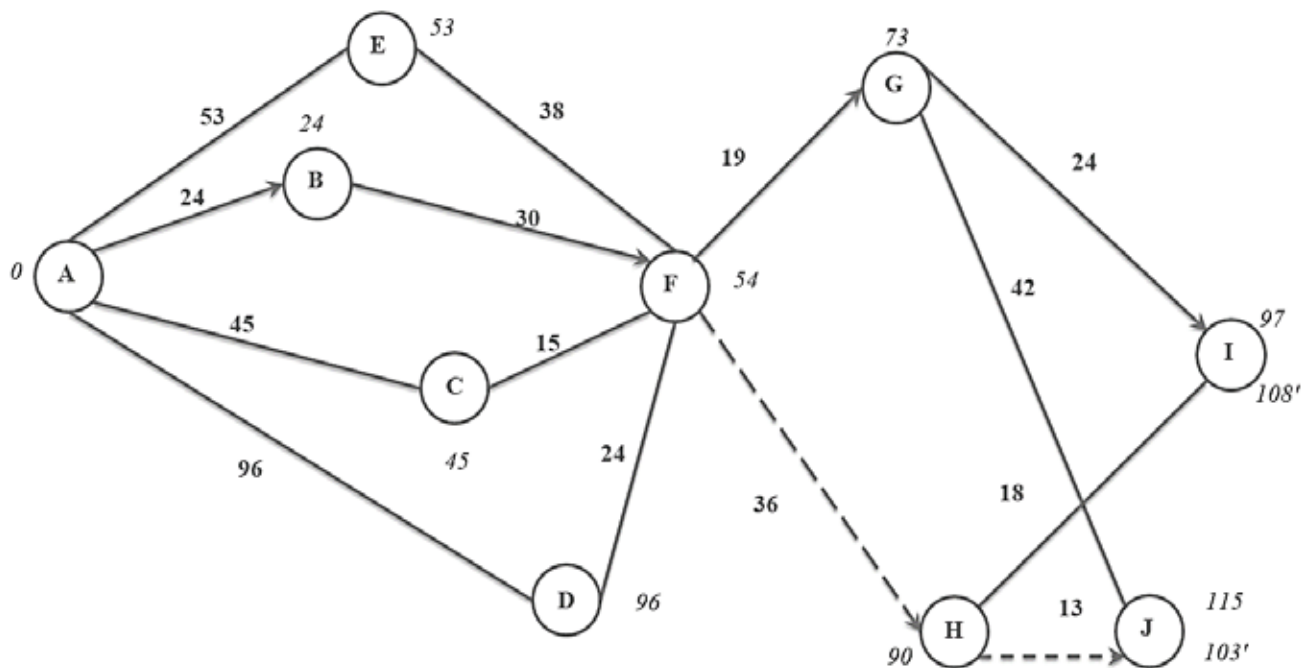


Рис. 5. Четвертий етап

Джерело: побудовано авторами

На п'ятому етапі уточняється пріоритетність заповнення складських площ з урахуванням умови ранжування черговості заповнення (ємності) складських приміщень – від мінімального до максимального.

При варіації  $СкМ_1МП_1 < СкМ_2МП_2$  при формуванні графу пріоритетність надається маршрутам А-В-Ф-Г-І та А-В-Ф-Г-І. Відповідно маршрути А-В-Ф-Н-І та А-В-Ф-Н-І є другорядними.

Таблиця 5

Четвертий етап

Пункти	Найменування вершин графу	Найменування ланки графу	Розмір ланки, км	Час перевезення, хв.
Відправлення				
Р4	А			
Проміжні				
А2	В	АВ	16	24
А3	С	АС	30	45
А4	D	AD	40	96
34	Е	АЕ	35	53
О3	Ф			
		ВF	20	30
		CF	10	15
		DF	10	24
		EF	25	38
В2	Г	FG	1,6	19
В3	Н	FN	3	36
Призначення				
С1	І			
		GI	2	24
		HI	1,5	18
С2	І			
		GJ	3,5	42
		HJ	1,1	13

Джерело: побудовано авторами



У випадку співвідношення  $СкМ_1МП_1 > СкМ_2МП_2$  при формуванні графу пріоритетність змінюється та закріплюється за маршрутами А-В-Н-І та А-В-Н-І. Відповідно маршрути А-В-Н-І та А-В-Н-І стають другорядними (рис. 6).

### Висновки

В роботі наведено методику визначення оптимального переміщення вантажопотоків у системі сухий порт – морський порт. Попередньо окреслено просторове розташування системи та її основних елементи. Визначено значення пропускної здатності кожного з них та встановлено залежності показників часу від показника пропускної здатності елементів.

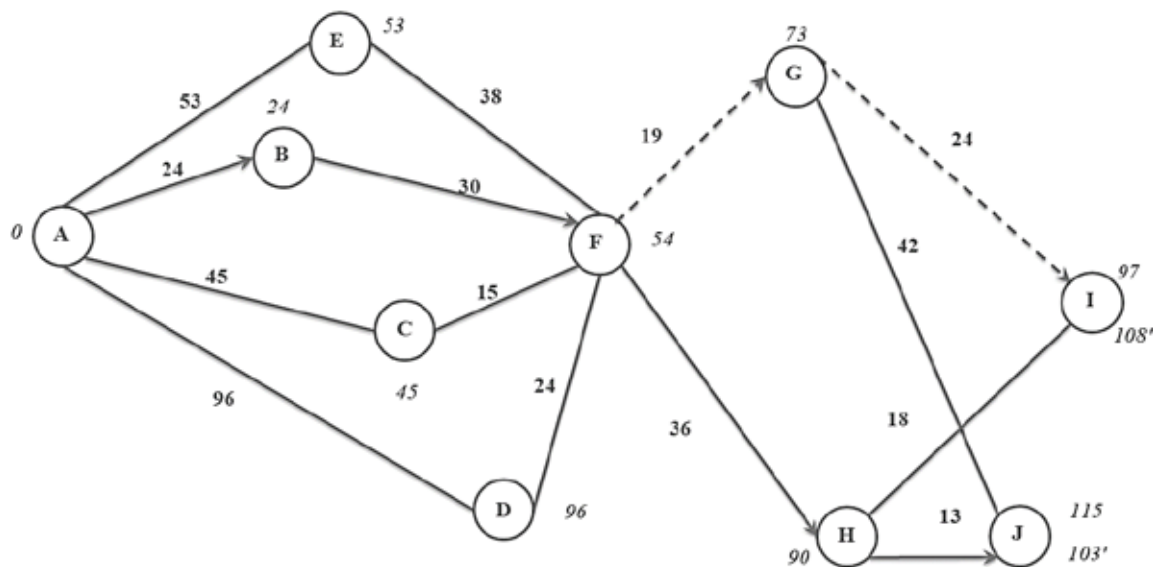


Рис. 6. П'ятий етап

Джерело: побудовано авторами

Визначена кількість та складові альтернативних маршрутів між сортувальними майданчиками сухого порту та порту морського. Визначені альтернативні маршрути безпосередньо на території морського порту. Кінцевими складовими визначені складські майданчики оперативно-виробничої зони терміналу з обов'язковим залученням одного зі складових майданчиків.

На основі отриманих результатів, застосовуючи теорію графів та метод потенціалів, встановлено оптимальний маршрут переміщення вантажу від сухого порту до морського, яким залишився один і той же самий автомобільний напрям, незважаючи на дві інші альтернативи та додаткову можливість використання залізничної складової. Встановлено траєкторію подальшого, внутрішньотермінального переміщення. Визначено пріоритетність, за критерієм часу, заповнення одного складського майданчика над іншим та залучення вагового майданчика. При введенні додаткової умови про пріоритетність одного майданчика над іншим за показником ємності, рішення на внутрішньопортової складовій змінилося – другорядні ваговий та складський майданчики зайняли позицію лідера.

Очевидно, що при зміні технічної складових існуючих елементів системи, показника їх пропускної здатності, параметрів транспортних засобів тощо безумовно відбудеться і зміна маршруту переміщення вантажопотоків в даній системі. Відповідно до реалій на зміну рішення впливатиме і зміна критерію оптимізації на економічну або безпекову складову.

### Список використаної літератури

1. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Теоретичні основи просторової та функціональної еволюції портів. Транспортні системи і технології, № 40, 2022. С. 170–189. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-15>
2. Кириллова О.В. Теоретичні основи управління роботою флоту у транспортно-технологічних системах : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.01 – транспортні системи / Кириллова Олена Вікторівна; Одес. нац. мор. ун-т. Одеса, 2017. 470 с.
3. Notteboom, T., Rodrigue, J.-P. (2010). Foreland-Based Regionalization: Integrating Intermediate Hubs with Port Hinterlands, *Research in Transportation Economics*, no. 27, pp. 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.12.004>.
4. Paridaens H., Notteboom T. National Integrated Maritime Policies (IMP) : Vision Formulation, Regional Embeddedness, and Institutional Attributes for Effective Policy Integration. *Sustainability*, 2021. Vol. 13, P. 9557. <https://doi.org/10.3390/su13179557>

5. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю., Ромах В.Л. Улаштування та обладнання портів: навчальний посібник / О.В. Кириллова, В.Ю. Кириллова, В.Л. Ромах. Одеса, 2023. 167 с.
6. Тихонін В.І., Тихоніна І.І., Ромах В.Л., Методика оптимізації розмірів пакетів металовантажів при їх формуванні. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Том 34 (73). № 2, 2023, Серія: Технічні науки. С. 203–207. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/34>
7. Kirillova, Ye., Malaksiano, M. (2017). Substantiation of structure of the port handling equipment fleet based on a multicriteria approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5(3(89)), pp. 52–59. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111971>
8. Тихонін В. І. Комплекс імітаційних динамічних моделей оптимізації параметрів технологічних перевантажувальних комплексів порту / В. І. Тихонін // Розвиток транспорту. 2018. Вип. 2. С. 32–46. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/transdevel\\_2018\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/transdevel_2018_2_6).
9. Postan M. Y., Kurudzhi Y. V. Modeling the influence of transport units movements irregularity on storage level of cargo at warehouse // *Acta Systemica*. 2012. Т. 12. №. 1. С. 31–36. ISSN 1813-4769
10. Zhang Q., Yang H., Zhang L. Multi-objective Model on Connection Time Optimization in Sea-rail Intermodal Transport // *GSTF Journal of Engineering Technology (JET)*. 2014. Т. 3. №. 1. P. 12–118. [https://doi.org/10.5176/2251-3701\\_3.1.118](https://doi.org/10.5176/2251-3701_3.1.118)
11. Петров А. В. Метод визначення маршруту руху транспортних засобів при постачанні матеріально-технічних засобів / А. В. Петров, Г. В. Худов, І. А. Таран // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2017. № 3. С. 10–13. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS\\_2017\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2017_3_4)
12. Дацко М.В., Цвір Л.Р. Побудова транспортних маршрутів у логістиці. // Науковий вісник Херсонського державного університету. 2016. № 16 (4). С. 152–155. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkhdu\\_en\\_2016\\_16%284%29\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkhdu_en_2016_16%284%29_39)
13. Сененко І. А. Методика оптимізації маршруту перевезення товарів: циклічний метод / І. А. Сененко // Економічний вісник НТУУ «КПІ»: збірник наукових праць. 2009. № 6. С. 471–474. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/8275>
14. Куруджи Ю.В., Ромах В.Л. Моделювання ланцюгів поставок портовим оператором в умовах мультимодальності // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2022. №. 3(82). 103–111. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.3.14>

#### References

1. Kyryllova O., Kyryllova V. (2022) Teoretychni osnovy prostorovoji ta funkcionalnoji evoluciji portiv [Theoretical basis of spatial and functional evolution of ports]. *Transport systems and technologies*, no. 40, pp. 170–189. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-15>
2. Kirillova O.V. (2017) Teoretychni osnovy upravlinnja robotuju flotu u transportno-tekhnologichnykh systemakh [Theoretical foundations of fleet operation management in transport and technological systems]. (PhD Thesis), Odessa: Odessa national maritime university.
3. Notteboom, T., Rodrigue, J.-P. (2010). Foreland-Based Regionalization: Integrating Intermediate Hubs with Port Hinterlands, *Research in Transportation Economics*, 27, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.12.004>.
4. Paridaens H., Notteboom T. National Integrated Maritime Policies (IMP) : Vision Formulation, Regional Embeddedness, and Institutional Attributes for Effective Policy Integration. *Sustainability*, 2021. Vol. 13, P. 9557. <https://doi.org/10.3390/su13179557>
5. Kirillova O.V., Kirillova V.Yu., Romakh V.L. (2023) Ulashtuvannja ta obladnannja portiv [Arrangement and equipment of ports]. Odessa: Magister. (in Ukrainian)
6. Tikhonin V.I., Tikhonina I.I., Romakh V.L. (2023) Metodyka optymizatsii rozmiriv paketiv metalovantazhiv pry yikh formuvanni [Methodology for optimizing the sizes of packages of metal cargo during their formation]. *Scientific notes of the Tavrii National University named after V.I. Vernadskyi*, vol. 34 (73), no. 2, pp. 203–207. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/34>
7. Kirillova, Ye., Malaksiano, M. (2017). Substantiation of structure of the port handling equipment fleet based on a multicriteria approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5(3(89)), pp. 52–59. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111971>
8. Tikhonin V. I. (2018) Kompleks imitatsiinykh dynamichnykh modelei optymizatsii parametriv tekhnologichnykh perevantazhuvalnykh kompleksiv portu [Complex of simulated dynamic models of optimization of parameters of technological transshipment complexes of the port]. *Development of transport*. vol. 2. pp. 32–46. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/transdevel\\_2018\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/transdevel_2018_2_6).
9. Postan, M. Y., Kurudzhi, Y. V. (2012) Modeling the influence of transport units movements irregularity on storage level of cargo at warehouse. *Acta Systemica*, 2012, no. 12(1), pp. 31–36. ISSN 1813-4769
10. Zhang, Q., Yang, H., Zhang, L. (2014) Multi-objective Model on Connection Time Optimization in Sea-rail Intermodal Transport. *GSTF Journal of Engineering Technology (JET)*. no. 3(1). [https://doi.org/10.5176/2251-3701\\_3.1.118](https://doi.org/10.5176/2251-3701_3.1.118)

11. A. V. Petrov, G. V. Khudov, I. A. Taran (2017) Metod vyznachennia marshrutu rukhu transportnykh zasobiv pry postachanni materialno-tekhnichnykh zasobiv [The method of determining the route of transport vehicles during the supply of material and technical means]. Collection of scientific papers of the Kharkiv University of the Air Force. no. 3, pp. 10–13. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS\\_2017\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZKhUPS_2017_3_4)
12. Datsko M.V., Tsvir L.R. (2009) Pobudova transportnykh marshrutiv u lohistytsi [Construction of transport routes in logistics]. Scientific Bulletin of Kherson State University. vol. 16, no. 4, pp. 152–155. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkhdu\\_en\\_2016\\_16%284%29\\_\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkhdu_en_2016_16%284%29__39)
13. Senenko, I. A. (2009) Metodyka optymizatsii marshrutu perevezennia tovariv: tsyklichnyi metod [The method of optimizing the route of goods transportation: cyclical method]. Economic Bulletin of NTUU “KPI”: collection of scientific works, no. 6, pp. 471–474. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/8275>
14. Kurudzhi Yu.V., Romakh V.L. (2022) Modeliuvannia lantsiuhiv postavok portovym operatorom v umovakh multymodalnosti [Modeling of supply chains by a port operator in conditions of multimodality]. Bulletin of the Kherson National Technical University. vol. 3, no. 82, pp. 103–111. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.3.14>

S. P. SAPON

Ph.D., Associate Professor at the Department of Machine Building  
and Wood Processing Technologies  
Chernihiv Polytechnic National University  
ORCID: 0000-0003-1082-6431

D. I. DZYUBA

Postgraduate Student at the Department of Automobile Transport  
and Sectoral Machine Building  
Chernihiv Polytechnic National University  
ORCID: 0009-0001-8024-6558

## DIGITAL TWIN OF SPINDLE UNITS. REVIEW

*The Digital Twin technology of the spindle unit can realize the control of accuracy, quality of processing and other indicators that affect to the efficiency of the system. Many articles focus on Digital Twin, but there are no clear and systematic analysis of the process of creating Digital Twin. To address this gap, this study conducted an article analysis of the Digital Twin of the spindle unit (up to May 1, 2023).*

*In this article, we will consider the existing definitions of the concepts of digital twin and digital twin of metal-cutting machines. In addition to the articles themselves, we will consider other reviews of digital twins and attempts to systematize existing research. No review articles on the topic of digital twins of spindle assemblies were found.*

*For the search methodology, traditional methods of searching scientific sites and search engines were used, and the analysis of the obtained results is presented in graphs. The analysis included a total of 143 selected publications. After a detailed examination of which, it turned out that most of the articles, despite the presence of keywords, did not deal with the creation of digital twins, but only mentioned the possibility of creating digital twins. Some articles have ideas for creating a digital twin model for metal cutting machinery or spindle unit. As a result of the search, no domestic works in the given direction were found, most of the works are foreign, of which the lion's share is financed by the government of the People's Republic of China. It is expected that this will give an impetus to the in-depth study of the process of creating a digital twin of a spindle node. It can be useful in the post-war reconstruction of Ukraine, taking into account the problems of wear and tear of existing machine tools of machine-building enterprises. In addition, it is a possibility of adapting machines that were in use, which can be obtained in within the framework of international assistance to enterprises.*

**Key words:** intelligent spindle, DT, industry 4.0, model of digital twins, metal cutting machinery.

С. П. САПОН

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри пехнології машинобудування і деревообробки  
Національний університет «Чернігівська політехніка»  
ORCID: 0000-0003-1082-6431

Д. І. ДЗЮБА

аспірант кафедри автомобільного транспорту і галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка»  
ORCID: 0009-0001-8024-6558

## ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ. ОГЛЯД

*Технологія цифрового двійника шпиндельного вузла може реалізувати контроль точності, якості обробки та інших показників, що впливають на ефективність системи металообробки. Багато статей присвячено цифровим двійникам, але чіткого та систематичного аналізу процесу створення цифрового двійника немає. Щоб усунути цю прогалину, у цьому дослідженні було проведено аналіз статей по тематиці цифрового двійника шпиндельного вузла (до 1 травня 2023 р.).*

*В даній статті розглянемо наявні визначення поняття цифрового двійника та цифрового двійника металорізальних верстатів. Крім самих статей розглянемо інші огляди на цифрові двійники та спроби систематизації наявних досліджень. Оглядових статей по тематиці цифрових двійників шпиндельних вузлів не виявлено.*

*За методологію пошуку було використано традиційні методи пошуку науковими сайтами, пошуковими системами і аналіз отриманих результатів представлено в графіках. Аналіз включає загалом 143 вибрані публікації. Після детального розгляду яких, виявилось що більшість статей попри наявність ключових слів*

не займались створенням цифрових двійників, а лише згадували про таку ймовірність створення цифрових двійників. Деякі статті мають ідеї зі створення моделі цифрового двійника. Вітчизняних праць по заданому напрямку в результаті пошуку не виявлено, більшість праць зарубіжні, з яких лєвова частина профінансовані урядом Китайської народної республіки. Очікується, що це дасть поштовх до поглибленого вивчення процесу створення цифрового двійника шпиндельного вузла, що може принести користь в післявоєнній відбудові України з врахуванням проблем зносу діючих верстатів підприємств машинобудівної ланки, так і можливість адаптації верстатів, які були в використанні, які можуть бути отримані в рамках міжнародної допомоги підприємствам.

**Ключові слова:** розумні шпинделя, ЦД, індустрія 4.0, модель цифрового двійника, металорізальні верстати.

**Formulation of the problem**

Digital Twin is a popular topic in improving technological systems, but there are no clear and systematic analysis of the process of creating Digital Twin for spindle unit of metal cutting tool. To develop this area of the study need conducted an article analysis of the Digital Twin of the spindle unit.

**Analysis of recent research and publication**

One of the first digital twin (DT) was presented by Grieves [1] during the presentation of the product life cycle management technology (PLM). Initially, the Digital Twin served as an inexpensive tool for simulating various conditions for modeling NASA rockets, over time it advanced technologically and expanded the fields of use [2]. Definitions of the concept of DT from different authors are given in Table 1.

Table 1

**Definition of digital twin**

Author, year	Definition of digital twin
Grieves, 2014	“A virtual representation of what was created” [1].
R. Stark and others, 2017	“A digital representation of a unique asset that describes its properties, conditions, and behavior using models, data, and information” [3].
Söderberg and others, 2017	“A digital copy of a physical system for real-time optimization” [4].
Zhuang and others, 2018	“A virtual dynamic model that fully describes the physical essence of the system and can simulate the behavior, characteristics and properties of its physical analog in real-time” [5].
Qi and Tao, 2018	“Virtual models of physical systems are created digitally to simulate their behavior in a real environment” [6].
Y. Xu and others, 2019	“Records, simulates and improves the production process from design to system retirement, including the content of virtual space, physical space and the interaction between them”[7].
Kannan and Arunachalam, 2019	“A digital representation of physical assets that can communicate, coordinate and collaborate to improve productivity through knowledge sharing”[8].

Let’s take a closer look at digital twins of metal cutting machines. Definitions of digital twins of metal cutting machines and their authors are listed in Table 2.

Table 2

**Definition of digital twin of metalcutting machine**

Author, year	Definition of digital win of metalcutting machine
Wardandothers, 2021	The digital twin of metal cutting machine is a digital copy of the process in real time; the process receives real-time data, control digital model data, or makes changes to work based on information from a numerically controlled machining center (CNC)[9]
Liu and others, 2023	The digital twin of metal cutting machine is an intelligent processing system with a pair of physical objects and digital models, where the processing is analyzed, solved and controlled based on the digital model [10]
Fujita Tomoya, 2022	A digital twin of the machine is created in the virtual world, which has a controller model, a machine model and a process model, and receives real data during the machining process, which are used to identify the process models [11].

Literature reviews of digital twins of spindle units were not found on the Internet. At the literature search stage, literature reviews on metal cutting machines and literature reviews on other related topics were identified.

A review of digital twins based smart design and control of ultra-precision machining was made in [12]. Authors consider 64 papers up to July 2021 on thematic of precision machining and digital twin. In article was considered the design of various modules such as bearing, spindle-drive, stage system, servo, and clamping modules is examined. A review also includes an overview of control studies based on digital twins, which encompass voxel modeling, process planning, process monitoring, vibration control, and quality prediction.

Detail review of smart spindle was shown in [13]. Nonetheless, there is only idea to creation of digital twin of spindle unit. Article has 357 references. Authors describe 6 main potential functions and three key enabling technologies of intelligent spindles.

Paper [14] presents advancement and the current status of the digital Twin-driven smart manufacturing. The enabling technologies, core concept, application scenarios, reference model, and research issues of digital Twin-driven smart manufacturing was discussed. Overall article described 84 references for manufacturing developing digital twins.

In review of digital twin driving machining after analyzed 143 sources authors divided all articles in three analysis perspectives – point perspectives, line perspectives, face perspectives [10]. Point perspectives consist of DT models. Line perspectives consider connection between virtual and physical entity. Face perspectives consider feedback processes and repeated cycles.

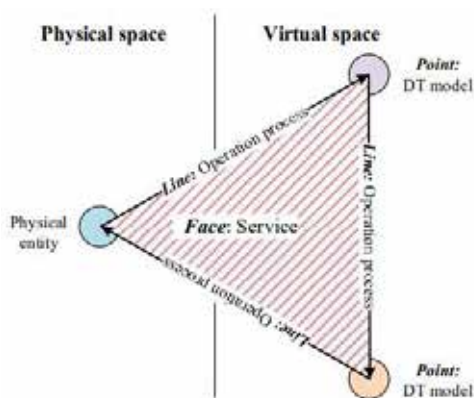


Fig. 1. Sketch of DT machining system [10]

Review of digital twin for smart manufacturing described in [15]. Article describes experience big company such as Tesla, Siemens, Airbus, ABB, Rolls-Royce from open source about work under implementation of digital twins in manufacturing

All described articles not included literature review of digital twin of spindle unit, therefore, further research on this issue is necessary.

**Presenting main material**

**Methodology of the research**

“Traditional” research methods were used to write this article – literature review, search for information on search engines and specialized scientific sites. When searching for information, the following languages were used: Ukrainian, Russian and English. To generate results, the query was limited to recent data, namely, information up to 2018 was excluded as outdated.

For relevance, the search was performed on the following scientific sites – [16–21]. The following phrases and designations were used for the search: “Digital twin”, “digital twin for machining”, “Digital twin machine tool”, “Digital twin, spindle”, “Digital twin metal cutting”, “Digital twin for spindle”, “DT”, “Spindle knots” etc.

The obtained results were checked using VOSviewer for relevance to the topic of research by keywords, and data that did not relate to digital twins were discarded. An example of the analysis is shown in Figure 2.

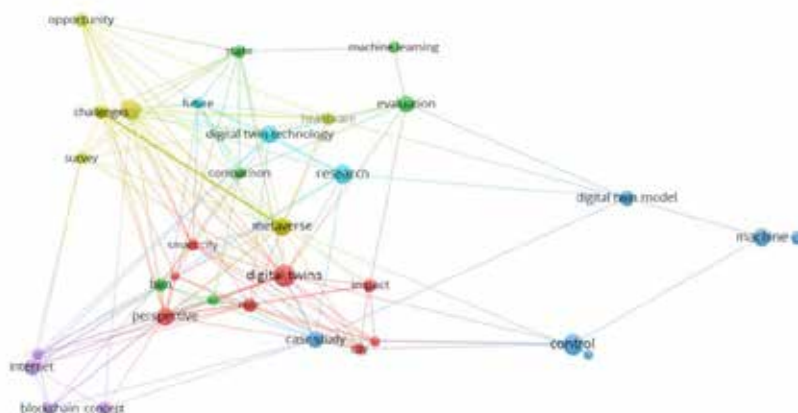
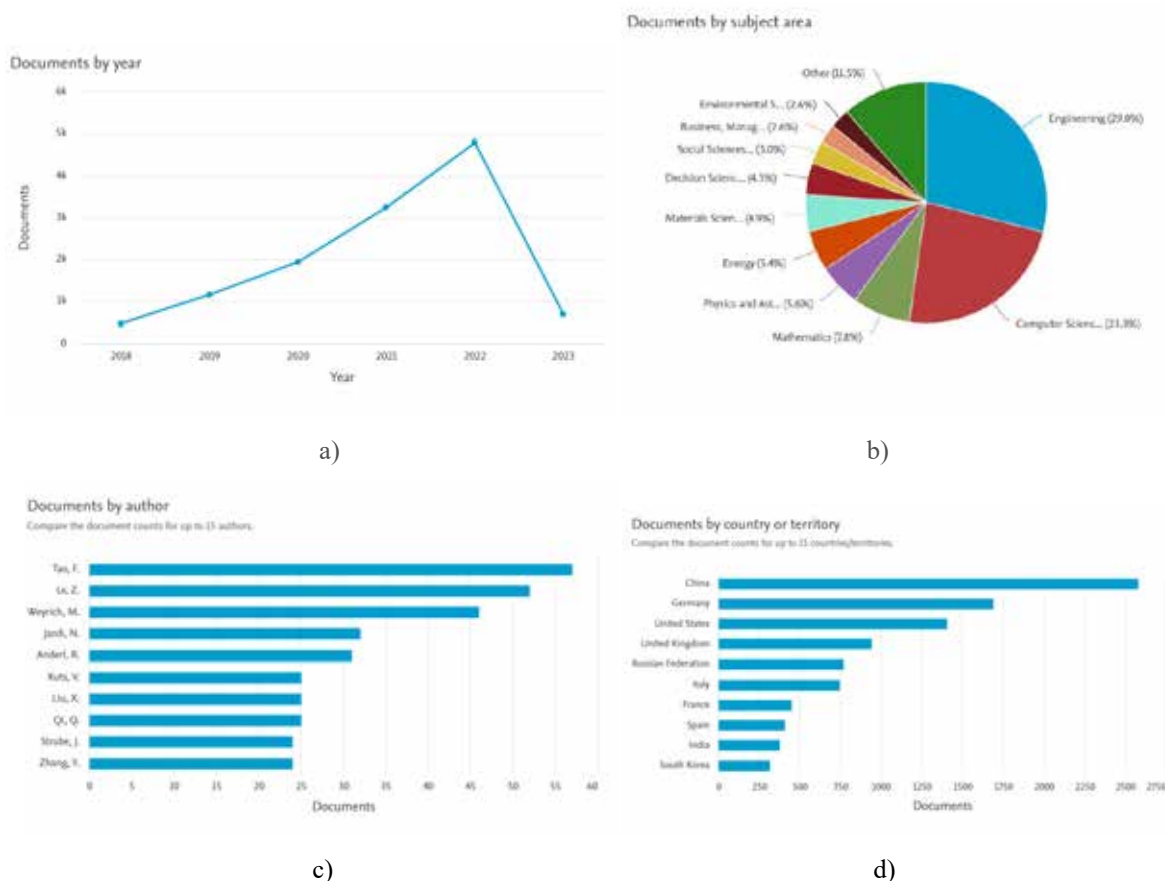


Fig. 2. The result of the analysis by keywords on the example of the website <https://www.scopus.com/> for the request «Digital twin» in the VOSviewer software

We will divide the entire search spectrum into 3 conditional phases: the phase of searching for information on digital twins, the phase of searching for information on digital twins of metal-cutting machines, the phase of searching for literature in the direction of digital twins of spindle units.

The next stage of the research was the filtering of the results – the results of research on the practical implementation of digital twins in areas unrelated to production and mechanical engineering were excluded.

Based on the obtained results, the main definitions of the concept of a digital twins were considered. After filtering the results by topic, the question of what a digital twins of metal-cutting machines is. The results of the analysis are shown in the second section.



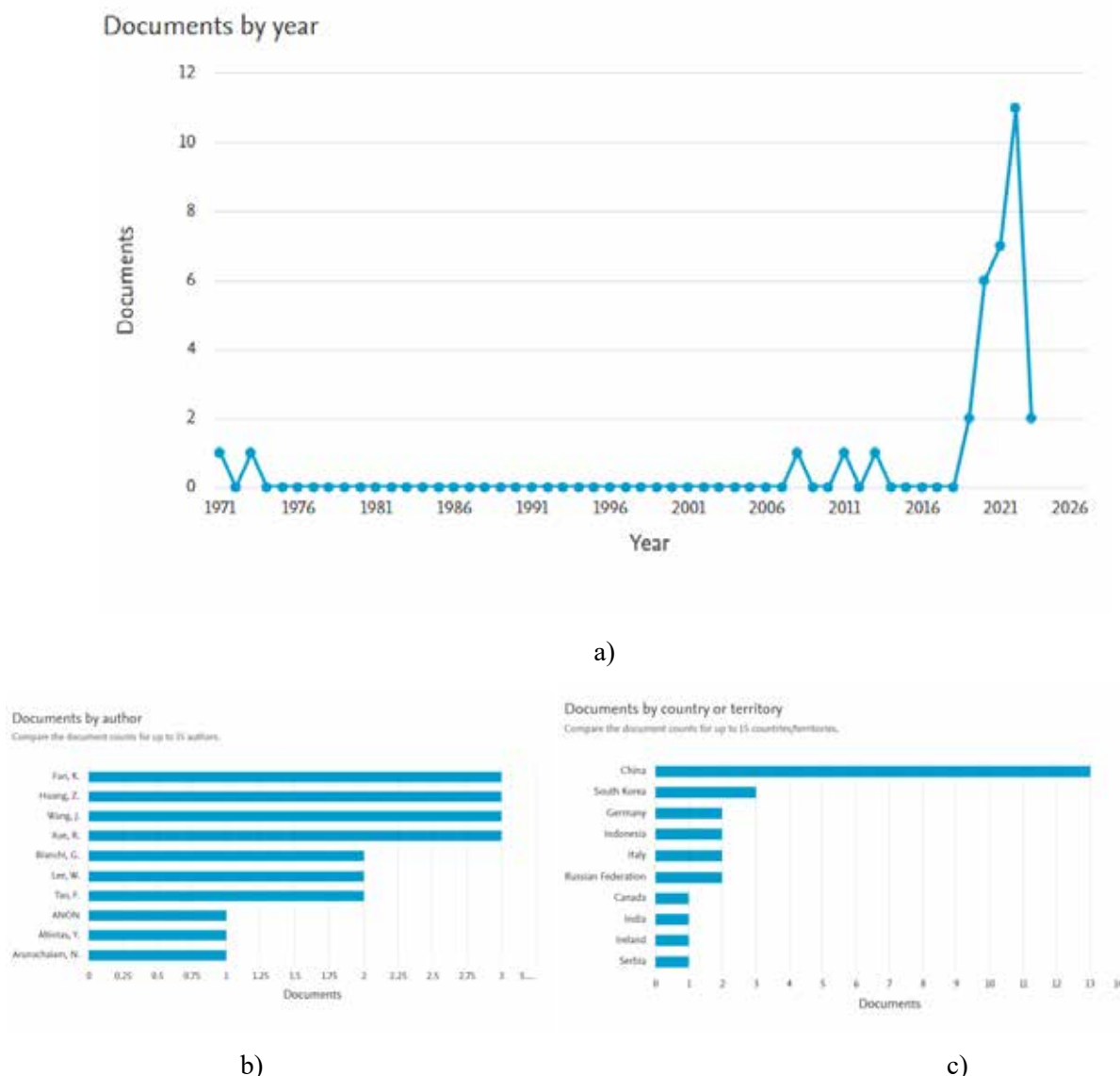
**Fig. 3. An example of analysis on the request of “digital +twin” on the website <https://www.scopus.com/>**  
 a) – publications by year; b) – publications by subject area; c) – publications by authors; d) – publications by country

Only some works consider separately the creation of the DT of spindle units and mention it in the titles of the articles, however, quite a lot of works on the creation of a system of a digital twin of a metal cutting machine touch on the topic of creating and researching issues related to the DT of a spindle unit. For a wider disclosure of the issue and systematization of materials, we systematize materials according to the system of a digital twin of a metal-cutting machine. And on the basis of the described stages of the creation of the DT of spindle, will analyzed which works pay more attention to the creation of the DT of the spindle, and which individual articles are at which stage of the DT.

At the initial stage, more than 40,000 articles mentioning a digital twin were found on scientific websites. In the course of the analysis, articles not related to engineering and mechanical engineering were excluded, after removing duplicated articles on the sites, only 43 articles remained in the direction of digital twins of metal-cutting machines.

After analyzing all the articles by direction, articles dealing with issues of digital twins of the spindle node were singled out – 31 articles. Despite this, not all articles that appear as keywords – spindle node and digital twin have information on the topic, only 16 articles have an actual mention of the DT and spindle in the article, but none of the articles developed a digital twin of the spindle assembly.

Most of the articles in the direction of creating digital twins of metal-cutting machines are tangentially related to the process of creating a digital twine of a spindle in a digital twin of a metal-cutting machine.



**Fig. 4.** An example of the analysis by request “digital + twin+spindle” on the website <https://www.scopus.com/>  
 a) – publications by year; b) – publications by authors; c) – publications by country

**Stages of creating a digital twin**

In [23], the author breaks down the process of creating a DT into specific stages:

- creating the idea of a digital twin;
- a prototype of a digital twin – designing what a DT should look like;
- creation of an instance of a digital twin – accumulation and analysis of the work of an instance will contribute to the creation of a working product;
- creation of a digital twin product;
- creation of a digital twin environment.

In [24], the author pays considerable attention to disposal and the process of decommissioning digital twin and separates it as a separate stage of the existence of a digital twin.

In [2], the author systematizes the phases of the DT life cycle and divides it into 5 stages, each of which separately breaks down the tasks assigned to each of the stages, the authors of works on each of the directions are given in parentheses:

1. Development stage – integration of design and production based on DT, description of DT tools, service innovations, analysis and verification of DT.
2. Production stage – digitization of production, modeling strategies, production optimization, individual manufacturing, situational adjustment with DT support, production process monitoring.



3. Implementation stage – robot-human cooperation, database management, optimization of data transfer.

4. The stage of use – repeated application and evaluation of knowledge, improvement of the work process, improvement of production, digitization of process management and all production, improvement of energy and resource efficiency, DT management of the product life cycle.

5. The decommissioning stage.

For a simpler understanding of the creation process, let's break down the process of creating a DT of spindle unit into 4 stages: idea, modeling of a DT, experimental product and implementation.

**Literature review of digital twins of spindle units**

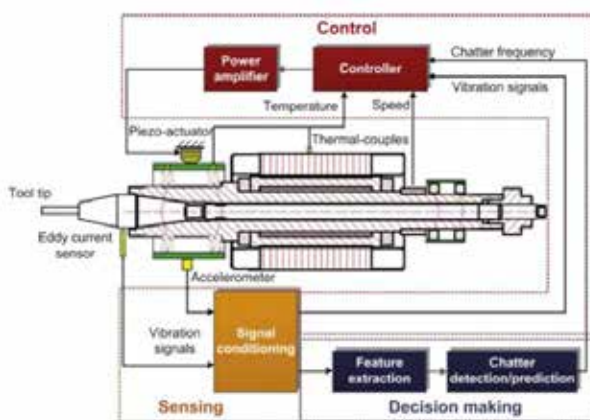
On the basis of the considered articles, we will single out those articles that consider in more detail the very issues related to the creation of spindle units with digital twins. We will break down all the found articles by the stages of creating digital twins of spindle units and present them in the form of Table 3.

Table 3

**Works about DT of spindle unit according to stages of creation DT**

Stages of creation a digital twin	References
1. Idea	13, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38
2. Model	-
3. Experimental sample	-
4. Existing DT	-

In the work [13], the authors describe the concept of creating intelligent spindle, which can serve as a basis for creating a DT of spindle units. The prototype of the intelligent spindle from the authors is shown in Fig. 5. The authors substantiate the perspective of creating intelligent spindle as independent components of machines. The article presents the expected functions of intelligent spindles and the goals that should be pursued by such functions. The advancement of technology for intelligent spindles is reviewed in great detail based on the stated goals and functions that a spindle assembly must perform. The authors consider many options, what should be monitored in the work process and how to do it. However, the authors in this article are not engaged in the creation of a model DT for spindle.



**Fig. 5. Prototype of an intelligent spindle [13]**

The prospect of creating a DT of spindle units is discussed in works [13, 25]. In the works [25–26], the main attention is focused on the architecture and functional capabilities, compatibility and confidentiality of the integrated system of local collection, unification, processing, presentation and transmission of data to the DT. This is how the authors consider the 4 main functions of the DT of spindle:

- data collection from sensors installed on the vehicle;
- processing of received signals;
- implementation of executive mechanisms;
- a presentation, as a connection of the spindle with the shop, the database and the manufacturer.

However, the authors are not directly involved in the creation of a model or an experimental sample.

In [27], a dynamic model of a machine tool (MandelliM5) was created, the structure of components, a model of the cutting process, and models of transmission chains and control systems were described. Although the author mentions digital twins and spindle unit in the article, he works specifically on digital twin of the machine, and not a spindle unit.

A tool wear monitoring system developed in [28]. A digital DT model with appropriate parameters was able to simulate the dynamics of the micro-milling process close to real-time data. The author monitors in detail the parameters of the spindle, such as rotation speed, load and other parameters using a controller on a CNC micro milling machine. Emphasis is placed on the importance of tracking tool wear, a digital model has been created that applies to the entire machine, not just the spindle. However, this idea allows you to use the sensors and elements already available on the machine, and monitor the results of the spindle using the existing software. Tool wear monitoring system for micro milling shown in fig. 6.

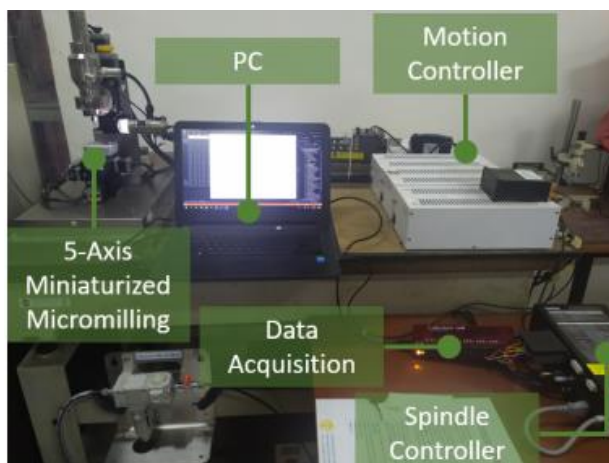


Fig. 6. Tool wear monitoring system for micro milling [28]

Creation of digital twin-driven thermal error prediction was considered in [29]. Model DT for thermal characteristics was developed at the first stage. After implementation of DT system was obtained theoretical value of thermal error. Long-short term memory was trained using experimental data. The implementation of the DT model shown on fig. 7.

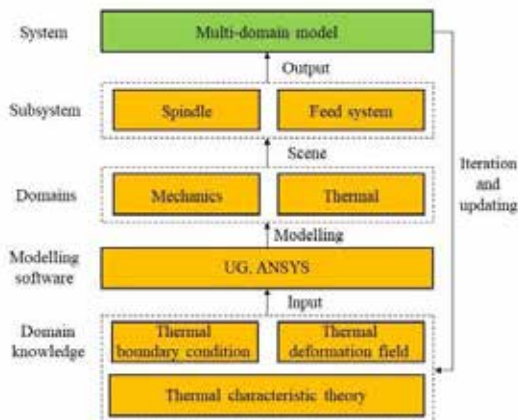


Fig. 7. The implementation of the DT model [29]

The document [30] describes the method of creating a digital twin based on planning and process data for processing processes using the example of components in the aerospace industry, but there is no information about a separate digital twin of the spindle unit.

In works [31], a model of a digital twin created to monitor thermal processes in the spindle. A program was developed and a data collection system and a physical model with embedded sensors created. Experimental setup shown on fig. 8.

In the [32] was proposed digital twin system includes three modules for thermal characteristic motorized spindle. The DT software, the data acquisition system, and the physical model with embedding sensors considered in article. Experimental setup shown on fig. 9.

In work [33] we obtained a mathematical model in MATLAB for a CNC milling machine. Data on spindle speed, motor load and axial deviation of the working tool were monitored and studied. Nevertheless study was based not only on spindle data, also were investigated axial movement and servo-motor parameter. Therefore this study more related to the part of DT machinery.

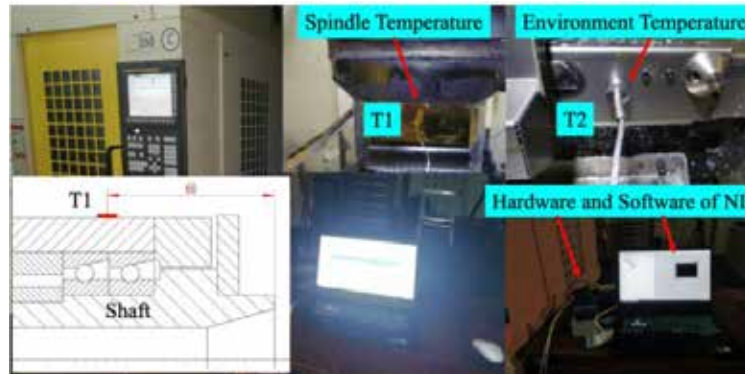


Fig. 8. Experimental setup [31]

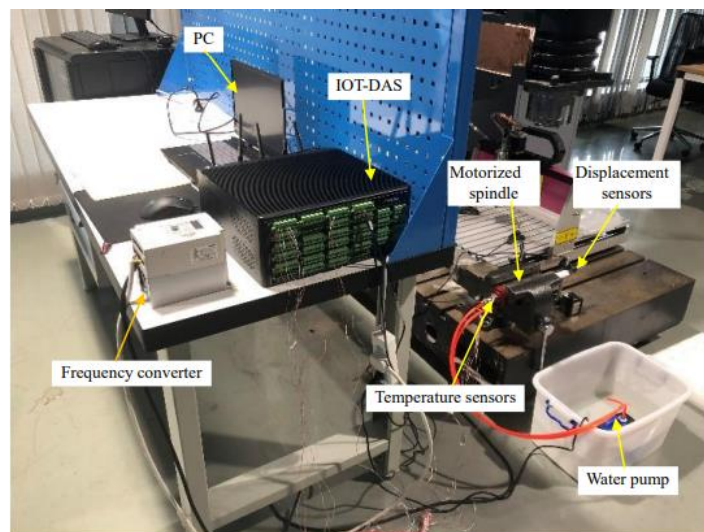


Fig. 9. Experimental setup [32]

Experimental DT have been developed for a CNC machine tool, which allows simulating and predicting changes in surface quality based on feed adjustment and spindle rotation speed in operation [34].

The authors of [35] work on the problem of durability of a working tool, using a digital twin. They measure the load on the spindle and the vibration signals of the tool during operation and adjust the operation of the spindle drive to avoid tool breakage. However, the work does not directly concern the creation of a digital twin of the spindle. Tool condition prognostic system shown on figure 10.



Fig. 10. Tool condition prognostic system [35]

For CNC machines, an approach to fault detection and re-planning of the work process based on digital twin shown in [36]. The authors experimentally check the operation of a digital twin model for a CNC machine for checking rolling bearing faults (Fig. 11) and the effect on interruptions in work due to faults. However, the work was not related to the spindle assemblies.

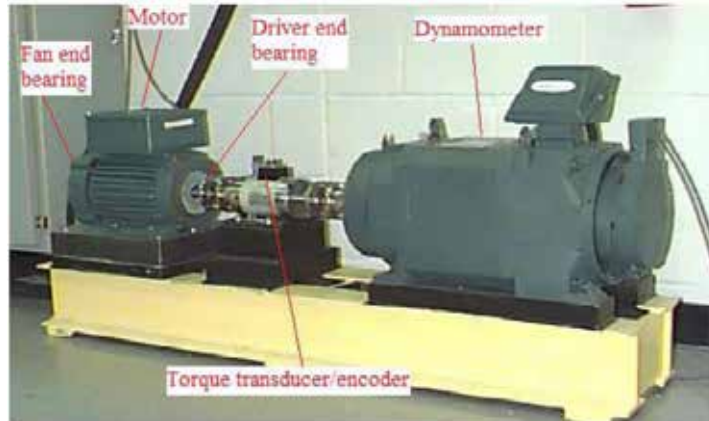


Fig. 11. Bearing fault test [36]

The authors [9] describe the method of creating a digital twin, which allows simulate the processing process in real time and transfer data to the analysis control center. To achieve this, the authors use smart sensors and data transmitters to collect information about the processing process. Experimental setup shown in fig. 12.



Fig. 12. Inside Ecospeed machining centre (AMRC, Sheffield, UK), hardware and IO modules [9]

In [37] was designed experimental scheme, was build experimental platform and was obtained experimental data of thermal characteristics for motorized spindle. Temperature measurement stand shown on fig. 13.

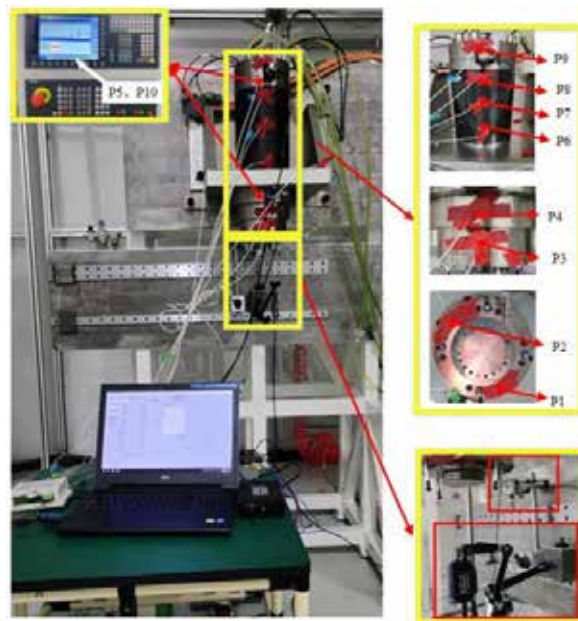


Fig. 13. Temperature measurement stand [37]

It is worth noting that the number of works in which digital twins of spindle are mentioned does not reflect the real amount of work done in the direction of creating DT of spindle – for example, in many articles there is a mention of digital twins and their effect on the operation of the spindle unit, but these works do not consider the creation of DT spindle.

Rest of articles – 19, which shown searching systems, do not included work with digital twins of spindle or machine tools, although articles have digital twin and spindle in title or key words.

Among the machines in which the system of digital twins has already been implemented and have already working, it is worth highlighting the Gepro 502 at the MASA Aerospace plant in Logrono (Spain) and the COMAU at the Renault car plant in Cleon (France) [38], but the system descriptions are not available in scientific articles. As for works where DT of spindle are implemented in the production cycle, such works have not been identified.

### Conclusions

There is an increase in the demand for the creation of DT, but still most of the articles related to the creation of DT for metal cutting machines do not include the issue of creating DT for spindle units, there is not enough systematization, research is in the initial stages of creating DT. Most of the available works consider individual factors affecting the technological system, for example, only temperatures, tool wear, or vibrations, but do not work out a set of measures that can affect the operation of the technological system as a whole. Most of the works on the given topic are in English and Chinese. Acknowledgments very often state that the works are financed by the Chinese government. No Ukrainian developments on the given topic were found. In the reviewed literature, more attention is paid to the creation of the DT of systems of the machine tool, the processing center, but there are few works on the creation of the DT of the metal cutting machine, the issue of the integration of the DT of the metal cutting machine into the DT system of the metal cutting machine is not resolved.

This review shows that the issue of creating a digital twin of spindle unit is relevant and understudied, despite the development of research in the direction of the implementation of DT systems of metal-cutting machines.

### References

- Grieves, M. (2014). Digital Twin: Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication. *Whitepaper*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1493930>
- Lim, K.Y.H., Zheng, P. & Chen, C. A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives. *Journal of Intelligent Manufacturing* 31, 1313–1337 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01512-w>
- Stark, R., Kind, S., & Neumeier, S. (2017). Innovations in digital modelling for next generation manufacturing system design. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 66(1), 169–172. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.045>
- Söderberg, R., Wärnefjord, K., Carlson, J. S., & Lindkvist, L. (2017). Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 66(1), 137–140. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038>
- Zhuang, C., Liu, J., & Xiong, H. (2018). Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. *International Journal of 32 Advanced Manufacturing Technology*, 96(1–4), 1149–1163. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1617-6>
- Qi, Q., & Tao, F. (2018). Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. *IEEE Access*, 6, 3585–3593. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793265>
- Xu, Y., Sun, Y., Liu, X., & Zheng, Y. (2019). A Digital-Twin-Assisted Fault Diagnosis using Deep Transfer Learning. *IEEE Access*, 7, 1–1. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2890566>
- Kannan, K., & Arunachalam, N. (2019). A Digital Twin for Grinding Wheel: An Information Sharing Platform for Sustainable Grinding Process. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 141(2), 021015. <https://doi.org/10.1115/1.4042076>
- Ward, R., Sun, C., Dominguez-Caballero, J. *et al.* Machining Digital Twin using real-time model-based simulations and look ahead function for closed loop machining control. *International Journal Advanced Manufacturing Technology* 117, 3615–3629 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07867-w>
- Liu S., Bao J., Pai Z. (2023). A review of digital twin-driven machining: From digitization to intellectualization. *Journal of Manufacturing Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.02.010>
- Fujita Tomoya, XiTiandong, Ikeda Ryosuke, Kehne Sebastian, Fey Marcel, Brecher Christian. (2022). Identification of a Practical Digital Twin for Simulation of Machine Tools. *International Journal of Automation Technology*. 16. 261-268. <https://doi.org/10.20965/ijat.2022.p0261>
- Wu, L.; Leng, J.; Ju, B. Digital Twins-Based Smart Design and Control of Ultra-Precision Machining: A Review. *Symmetry* 2021, 13, 1717. <https://doi.org/10.3390/sym13091717>
- Cao, H., Zhang, X., Chen, X. (2017) The concept and progress of intelligent spindles: a review. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, (112), 21–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2016.10.005>

14. Lu, Y., Liu, C., Kevin, I., Wang, K., Huang, H., & Xu, X. (2020). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61, 101837. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101837>
15. Luca Lattanzi, Roberto Raffaelli, Margherita Peruzzini & Marcello Pellicciari (2021) Digital twin for smart manufacturing: a review of concepts towards a practical industrial implementation, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34:6, 567–597, <https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1911003>
16. Scopus.com. URL: <https://www.scopus.com/> (available 26.10.2023).
17. Science direct. URL: <https://www.sciencedirect.com/> (available 26.10.2023).
18. Web of science. URL: <https://www.webofscience.com/> (available 26.10.2023).
19. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/> (available 26.10.2023).
20. Research Gate. URL: <https://www.researchgate.net/> (available 26.10.2023).
21. Google Scholar. URL: <https://scholar.google.com/> (available 26.10.2023).
22. Vosviewer. URL: <https://www.vosviewer.com/> (available 03.10.2023).
23. Grieves, M., Vickers, J., 2017, Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Trans disciplinary perspective son complex systems*, 85–113.
24. Stark, J., 2015, Product lifecycle management. *Product Lifecycle Management* (vol 1), 1–29.
25. Wójcicki, J., Leonesio, M.P., & Bianchi, G. (2021). Potential for smart spindles adoption as edge computing nodes in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, (99), 86–91. DOI:10.1016/j.procir.2021.03.015
26. Wójcicki, J., & Bianchi, G. (2020). A smart spindle component concept as a standalone measurement system for Industry 4.0 machine tools. 2020. *IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT* (pp. 278–282). DOI: 10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138280
27. Scaglioni, B.; Ferretti, G. Towards digital twins through object-oriented modelling: A machine tool case study. *IFAC Pap.* 2018, 51, 613–618. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.03.104>
28. Christiand, Gandjar Kiswanto, Digital Twin Approach for Tool Wear Monitoring of Micro-Milling, *Procedia CIRP*, Volume 93, 2020, 1532–1537, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.140>.
29. Lu, Q.; Zhu, D.; Wang, M.; Li, M. Digital Twin-Driven Thermal Error Prediction for CNC Machine Tool Spindle. *Lubricants* 2023, 11, 219. <https://doi.org/10.3390/lubricants11050219>
30. Hänel A., Schnellhardt T., Wenkler E., Nestler A., Brosius A., Corinth C., Fay A., Ihlenfeldt S., The development of a digital twin for machining processes for the application in aerospace industry, *Procedia CIRP*, Volume 93, 2020, 1399-1404, ISSN 2212-8271 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.017>.
31. Zhang L, Xuan J, Shi T, etal (2020) Robust, fractal theory, and FEM-based temperature field analysis for machine tool spindle [J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05926-2>
32. Xiao, J., Fan, K. Research on the digital twin for thermal characteristics of motorized spindle. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 119, 5107–5118 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08508-y>
33. Davies O., Makkattil A., Ce Jiang, FarsiM., A Digital Twin Design for Maintenance Optimization, *Procedia CIRP*, Volume 109, 2022, Pages 395-400, ISSN 2212-8271. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.268>.
34. V.S. Vishnu, Kiran George Varghese, B. Gurumoorthy, A Data-driven Digital Twin of CNC Machining Processes for Predicting Surface Roughness, *Procedia CIRP*, Volume 104, 2021, Pages 1065-1070, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.179>
35. Xie N., Kou R., Yao Y., Tool Condition Prognostic Model Based on Digital Twin System, *Procedia CIRP*, Volume 93, 2020, Pages 1502-1507, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.045>.
36. J. Liu, D. Yu, Y. Hu, H. Yu, W. He and L. Zhang, “CNC Machine Tool Fault Diagnosis Integrated Rescheduling Approach Supported by Digital Twin-Driven Interaction and Cooperation Framework,” in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 118801-118814, 2021, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3106797>.
37. Dai, Ye & Pang, Jian & Rui, XuKun & Li, WeiWei & Wang, QingHai & Li, ShiKun. (2023). Thermal error prediction model of high-speed motorized spindle based on DELM network optimized by weighted mean of vectors algorithm. *Case Studies in Thermal Engineering*. 47. 103054. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103054>.
38. Armendia M., Cugnon F., Berglind L., OzturkE., Gil G., Selmi J., Evaluation of Machine Tool Digital Twin for machining operations in industrial environment, *Procedia CIRP*, Volume 82, 2019, p. 231-236, ISSN 2212-8271. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.040>.

С. О. СЕМЕНОВ

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті  
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
ORCID: 0000-0002-5236-4557

А. О. ГАГАРИНА

магістрант  
Приазовський державний технічний університет  
ORCID: 0009-0000-9216-910X

## АНАЛІЗ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

Стаття присвячена огляду наукових досліджень, пов'язаних з транспортуванням небезпечних вантажів залізницями. Зазначено, що перевезення вантажів даного напрямку з використанням залізничного транспорту потрібно здійснювати з мінімальними ризиками, що можливо лише за умови дотримання встановлених вимог, і є одним з найважливіших видів транспортування. При цьому забезпечення безпеки при транспортуванні вантажів – це актуальне завдання у сучасному світі, оскільки це безпосередньо впливає на безпеку громадян, довкілля та економічний розвиток.

Огляд наукових праць даного напрямку досліджень показав наявність значної кількості напрацювань і результатів досліджень, що направлені на опис та вивчення особливостей процесів транспортування небезпечних вантажів. Встановлено, що фахівці не лише аналізують та класифікують різноманітні види небезпечних матеріалів, але і проводять детальні дослідження, що присвячені вибору методів та стратегій, які спрямовані на мінімізацію ризиків в процесі перевезень, формуванню аналітичних моделей та проектуванню мереж. Важливою є специфіка перевезення небезпечних вантажів залізницею, внаслідок чого галузь стикається зі значними викликами і проблемами, які вимагають додаткової уваги та ретельного дослідження. Проаналізовано ключові аспекти, які потрібно врахувати при вивченні цього напрямку.

Сучасні наукові дослідження дозволяють вивчити ефективність перевезень подібних вантажів, розробляти стратегії для зменшення ризиків та вдосконалювати інфраструктуру для забезпечення надійності та ефективності залізничних перевезень. Висвітлено основні виклики і проблеми, що стоять перед галуззю перевезення небезпечних вантажів, такі як ризик аварій, забруднення навколишнього середовища, необхідність спеціалізованих інфраструктурних рішень, роль персоналу, а також проблеми в управлінні та моніторингу цих перевезень.

**Ключові слова:** небезпечний вантаж, аналіз, перевезення, ризики, безпека, залізничний транспорт.

S. O. SEMENOV

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Logistics Management  
and Traffic Safety  
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University  
ORCID: 0000-0002-5236-4557

A. O. HAHARINA

Master  
Pryazovsky State Technical University  
ORCID: 0009-0000-9216-910X

## ANALYSIS OF DANGEROUS GOODS TRANSPORTATION BY RAIL

The article is devoted to a review of scientific research related to the transportation of dangerous goods by rail. It is noted that the transportation of goods of this direction using railway transport should be carried out with minimal risks, which is possible only if the established requirements are met, and is one of the most important types of Transportation. At the same time, ensuring safety during cargo transportation is an urgent task in the modern world, since it directly affects the safety of citizens, the environment and economic development.

A review of scientific works in this area of research has shown the presence of a significant number of developments and research results aimed at describing and studying the features of dangerous goods transportation processes. It is established that specialists not only analyze and classify various types of hazardous materials, but also conduct detailed research on the choice of methods and strategies that are aimed at minimizing risks in the transportation process, forming

*analytical models and designing networks. The specifics of transportation of dangerous goods by rail are important, as a result of which the industry faces significant challenges and problems that require additional attention and careful research. The key aspects that need to be taken into account when studying this area are analyzed.*

*Modern scientific research allows us to study the efficiency of transportation of such goods, develop strategies to reduce risks and improve infrastructure to ensure the reliability and efficiency of railway transportation. The main challenges and challenges facing the dangerous goods transportation industry are highlighted, such as the risk of accidents, environmental pollution, the need for specialized infrastructure solutions, the role of personnel, as well as problems in the management and monitoring of these transportations.*

**Key words:** *dangerous goods, analysis, transportation, risks, safety, railway transport.*

### Постановка проблеми

Забезпечення безпеки при транспортуванні вантажів є важливим завданням у сучасному світі, оскільки це безпосередньо впливає на безпеку громадян, довкілля та економічний розвиток. Небезпечні вантажі, такі як хімічні речовини, вибухонебезпечні матеріали та радіоактивні відходи, становлять серйозну загрозу для суспільства, інфраструктури та навколишнього середовища. Тому їх перевезення будь-яким видом транспорту повинне відбуватися із забезпеченням відповідних умов.

У зв'язку з ростом глобальної торгівлі та інтеграцією світових економік, обсяги перевезень небезпечних вантажів постійно зростають. Тому аналіз досліджень в цій галузі має вирішальне значення для розробки перспективних технічних рішень, вдосконалення нормативно-правових актів, технологій та стратегій безпеки.

Забезпечення ефективного контролю та управління перевезеннями небезпечних вантажів вимагає глибокого розуміння ризиків, визначення оптимальних маршрутів та розробки надійних систем безпеки. Підвищений ризик, пов'язаний з інцидентами, перевезенням небезпечних вантажів підвищив обізнаність уряду та наукових кіл. Дослідження в цій сфері допомагають вдосконалити процеси перевезення, зменшити ризики аварій та максимізувати захист громадського здоров'я і довкілля.

Отже, важливість наукових досліджень у галузі перевезення небезпечних вантажів полягає в забезпеченні безпеки, стійкості та сталого розвитку сучасного суспільства. 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 напрацьованих і результатів досліджень, що направлені на опис та вивчення особливостей процесів транспортування небезпечних вантажів. Так, Єрсут та ін. в роботі [1] пропонують найбільш всебічний і найновіший огляд перевезень небезпечних вантажів на сьогоднішній день, що включає в себе перевезення різними видами транспорту. Авторами запропонована умовна класифікація літератури на чотири основні категорії на основі типу проблеми:

- Оцінка ризиків,
- Локальна маршрутизація,
- Комбіноване розташування об'єктів і транспортування,
- Проектування мережі.

Також автори роботи [1] пропонують класифікувати роботи за відповідним видом транспорту, наприклад, залізниця та міські дороги. Крім того, Єрсут та ін. визначають важливі прогалини та проблеми в дослідженнях.

Нійоле Батарліене у роботі [2] присвятила розділ огляду останніх досліджень з тематики безпеки та оцінки ризиків перевезень небезпечних вантажів для виявлення основних факторів безпечного перевезення з метою зменшення ризиків виникнення аварійних ситуацій.

### Формулювання мети дослідження

Перевезення небезпечних вантажів залізницями є важливим і складним аспектом сучасної транспортної і логістичної інфраструктури.

Основними завданнями статті є:

- аналіз досліджень перевезень небезпечних матеріалів залізницею;
- визначення викликів та проблем, що стоять перед залізничними перевізниками у контексті перевезень небезпечних вантажів залізницею.

Об'єктом дослідження є процеси перевезення небезпечних вантажів залізницею в цілому, з урахуванням різних типів небезпечних матеріалів, ступенів їх небезпеки, технічних та технологічних аспектів, а також аспектів безпеки, логістики та сталості цього виду транспорту.

Метою цієї статті є проведення аналізу результатів досліджень, пов'язаних з перевезеннями небезпечних вантажів залізницею.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Для отримання даних, безпосередньо відносних до предмету дослідження, авторами проведено детальний огляд наукової літератури щодо даної теми. Схема класифікації, запропонована науковцями [1], є двокритеріальною, де розглядаються такі критерії, як: тема, висвітлена в статті, та вид транспорту. Що стосується першого



критерію, то категорії в класифікаційній схемі, наведеній [1], є такими: оцінка ризиків, локальна маршрутизація, комбіноване розташування об'єктів і транспортування, і проектування мережі. На першому етапі дослідження пропонується використати перший критерій – тематика статей. Справедливо буде сказати, що численні роботи стосуються проблем, які знаходяться на перетині вищезгаданих областей.

Аналіз наукових праць, направлених на вивчення категорії «Оцінка ризиків» вказує на те, автори приділяли увагу методології оцінки ризиків, що включає аналіз ризиків залізничних перевезень та оцінку основних причин нещасних випадків, пов'язаних з залізничним транспортом. Зі збільшенням обсягів перевезень таких вантажів зростає і ризик, який вони становлять під час транспортування. У літературі зазначається, що необхідно гарантувати безпеку транспортних процесів, враховуючи, що небезпечні речовини становлять значну загрозу не тільки для навколишнього середовища і людей, а й для всієї транспортної інфраструктури. Ван дер Вліс та Суддел у роботі [3] зазначають, що ризики часто зумовлені не властивостями небезпечних речовин, а людськими помилками у виробництві та транспортуванні.

Дослідження Хассана та ін. [4] висвітлює значущість врахування впливу людських помилок на аналіз частоти відмов і їх вплив на вибрані сценарії відмов. Крім цього, підкреслило необхідність використання методу оцінки та зменшення людських помилок (HEART) як корисного інструмента для аналізу надійності, спільно з використанням нечіткої арифметики з метою зменшення невизначеностей, пов'язаних з оцінкою ймовірності людських помилок для скорочення ймовірності невірних оцінок ризиків, які оцінюються.

Категорії «Локальна маршрутизація» присвячено роботи вирішенню проблем маршруту(ів) між заданими пунктами відправлення та пунктами призначення для заданої небезпечної речовини та розробці моделей оптимізації пошуку маршрутів, які мінімізують витрати, кількість аварій, тощо.

Верма у роботі [5] розробив двоцільову оптимізаційну модель, в якій вартість визначається на підставі особливостей характеристик залізничної галузі, а врахування транспортного ризику базується на динаміці залізничних аварій. Додатково розроблено межу ризику та витрат, яка ілюструє прийняття рішень, що не мають вираженої переваги, з подальшим узагальненням результатів.

Бібік та ін. [6] висвітлює актуальне питання вдосконалення систем планування перевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом за умови забезпечення рівня безпеки та мінімальних витрат. Авторами зазначено що розглянуте завдання необхідно вирішувати на основі двохетапної математичної моделі. Прикладом є розроблена математична модель пошуку оптимального маршруту на основі мінімізації ризиків. Застосування вказаного підходу до практики організації перевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом дозволяє логістичному оператору приймати рішення щодо планування оптимальних маршрутів з мінімальним ризиком дорожньо-транспортних пригод. Також перевагою запропонованої моделі є її здатність до адаптації та врахування до інших практичних прикладів та різних завдань маршрутизації.

У тематиці «Розташування об'єкта та транспортування» автори статей розглядають рішення, щодо розміщення потенційно небезпечних для громадськості та екології об'єктів: пунктів відправки, наприклад, нафтопереробних заводів або атомних електростанцій та пунктів призначення поставок небезпечних речовин - автозаправні станції та центри обробки небезпечних відходів. Пропонують моделі для мінімізації часу в дорозі та мінімізації ризику утилізації.

Зографос і Андруцопулос у статті [7] представили систему підтримки прийняття рішень для оцінки альтернативних маршрутів розподілу з точки зору часу в дорозі, ризику та наслідків евакуації, а також для координації рішень щодо розгортання аварійного реагування з маршрутами перевезення небезпечних матеріалів.

Берглунд та Квон у статті [8] визначили точний метод повного прорахунку місця розташування об'єктів переробки небезпечних речовин (наприклад, сміттєспалювальних заводів), які мінімізують загальні витрати з точки зору фіксованої вартості об'єкту, транспортних витрат та ризику впливу на навколишнє середовище. Описали вплив невизначеності та оптимізації в комбінованій задачі визначення місцезнаходження та маршрутизації небезпечних вантажів.

«Проектування мережі» розглядає всі залучені сторони (уряд і перевізники), є відносно молодою темою дослідження. Автори статей займалися розширенням існуючих моделей у цій галузі, включенням невизначеності та розгляд кількох цілей, оскільки проблеми транспортування небезпечних речовин є високостохастичними за своєю природою та включають багато критеріїв та учасників.

Гзара [9] розглянув задачу проектування мережі для транспортування небезпечних матеріалів, яка моделюється як дворівнева модель потоку багатотоварної мережі. Дослідив комбінаторне дворівневе формулювання задачі та представили результати щодо простору її розв'язків. Запропонував сімейство допустимих розрізів та включення їх до алгоритму точної побудови площини розрізу. Провів чисельне тестування з використанням реальних та випадкових наборів даних. Результати показують, що метод площини розрізу є швидшим за інші методи, описані в літературі для тієї самої постановки задачі.

Сінь, Луту та Бай у дослідженні [10] використали підхід оптимізації за критерієм максимальної шкоди для моделювання проблеми як дворівневої задачі цілочисельного програмування в умовах невизначеності крайового ризику. Автори застосували евристичний підхід, який знаходить надійну і стабільну мережу перевезень

небезпечних вантажів. Протестували метод на прикладі з мережі провінції Гуандун у Китаї, для проілюстрування ефективності моделі та алгоритму.

Маркотт та ін. [11] досліджували встановлення плати за проїзд як інструмент регулювання використання доріг для перевезення небезпечних вантажів. Запропонували математичне формулювання та метод розв'язання задачі про плату за перевезення небезпечних матеріалів.

Проведений огляд показав, що академічні дослідження спираються на три основні компоненти: розуміння проблеми, збір та аналіз даних і розробку моделей. Якщо хоча б один із цих компонентів не має належного обґрунтування, то всі наявні знання можуть бути вразливими.

Для оцінки обсягу досліджень у галузі перевезення небезпечних вантажів в контексті цих компонентів, пропонується класифікувати наукові праці на три категорії, відповідно до їх внеску в загальний обсяг знань. Перша категорія включає роботи, які переважно зосереджені на зборі та аналізі даних. Друга категорія охоплює праці, в яких головною метою є опис аналітичних моделей. Нарешті, третя категорія включає роботи, які розглядають теоретичні аспекти проблеми та спрямовані на глибоке розуміння відповідної ситуації. Остання категорія включає в себе наукові праці, які концентруються на розробці теоретичних засад, якісному аналізі або перевірці гіпотез. Результати наведені на рис. 1.

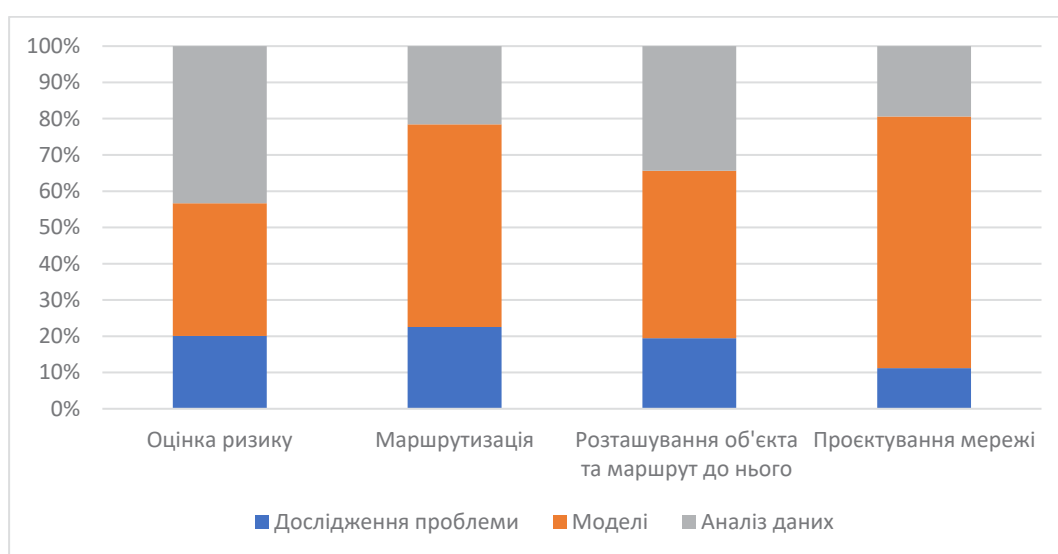


Рис. 1. Типи дослідницьких внесків

Аналіз рис. 1, вказує на те, що переважна кількість вчених в обраному напрямі дослідження більш схильні до розвитку математичного моделювання, аніж до розглядання теоретичних аспектів проблеми. Математичне моделювання є важливим завданням, але воно має супроводжуватися належним статистичним аналізом даних, а також глибоким концептуальним і теоретичним аналізом проблеми.

Виходячі зі своєї специфіки, перевезення небезпечних вантажів залізницею стикається зі значними викликами і проблемами, які вимагають уваги та ретельного дослідження. Таким чином, перед дослідниками стоять наступні ключові аспекти, які потрібно врахувати при вивченні цього напрямку досліджень:

1. Організація безпеки під час перевезень:

– Запобігання аваріям: небезпечні матеріали можуть викликати серйозні аварії в разі пошкодження чи розливу під час перевезення. Дослідники повинні розробляти та впроваджувати стратегії для запобігання аваріям та мінімізації їх наслідків.

– Роль персоналу та його підтримка: персонал, який здійснює нагляд за небезпечними вантажами та реагує на непередбачені ситуації, повинен мати високий рівень підготовки та знань, щоб забезпечити безпеку перевезень.

2. Вимоги до інфраструктури та технічних рішень:

– Спеціалізована інфраструктура: розвиток та підтримка інфраструктури, яка відповідає потребам перевезення небезпечних матеріалів, включаючи відповідні термінали та зупинки для завантаження та розвантаження.

– Технічні рішення для безпеки: впровадження технічних засобів, таких як системи автоматичного керування, моніторингу та виявлення невідповідностей, для забезпечення безпеки та надійності перевезень.

3. Екологічна безпека:

– Зменшення впливу на навколишнє середовище: перевезення небезпечних матеріалів може мати негативний вплив на довкілля. Дослідники мають розробляти та впроваджувати стратегії для зменшення цього впливу та дотримання екологічних норм.

– Відповідність екологічним стандартам: Забезпечення відповідності нормам та стандартам щодо екологічної безпеки у процесі перевезення небезпечних вантажів.

4. Забезпечення ефективності та сталості:

– Ефективність та економія ресурсів: Розвиток стратегій для оптимізації використання ресурсів та зниження витрат у процесі перевезень небезпечних вантажів.

– Сталість перевезень: Забезпечення сталості та надійності послуг у сфері перевезень небезпечних матеріалів.

5. Правові та регуляторні вимоги:

– Дотримання правових норм Виконання вимог та стандартів, які регулюють перевезення небезпечних вантажів.

– Узгодження з регуляторами: Співпраця з органами регулювання для забезпечення відповідності всіх норм.

#### Висновки

Проведений огляд показав, що наукові дослідження, присвячені перевезенням небезпечних вантажів залізничним транспортом, розкривають широкий спектр аспектів цієї галузі. Вони не лише аналізують та класифікують різноманітні види небезпечних матеріалів, але і досліджують методи та стратегії, спрямовані на мінімізування ризиків в процесі перевезень, формують аналітичні моделі, проєктують мережі.

Сучасні наукові дослідження дозволяють вивчити ефективність та сталість перевезень небезпечних вантажів, розробити стратегії для зменшення ризиків та вдосконалити інфраструктуру для забезпечення надійності та ефективності залізничних перевезень. Це особливо актуально в умовах зростаючого обсягу небезпечних матеріалів, які перевозяться залізницею у всьому світі.

Важливим є особливості розвитку технічних та інфраструктурних рішень для залізничних перевезень небезпечних вантажів. Актуальність досліджень, які спрямовані на створення нових методів та технологій для запобігання аваріям та мінімізації їх наслідків також не викликає сумнівів. Вивчення екологічних аспектів перевезень небезпечних вантажів та розвиток перспективних підходів щодо зменшення впливу на довкілля є особливим критерієм. Співпраця з правовими та регуляторними органами може допомогти впровадити інновації та зміни, які сприятимуть безпеці та сталості залізничних перевезень небезпечних вантажів.

Науковцями приділено увагу дослідженню та вдосконаленню особливостей планування та організації перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті з використанням інформаційних технологій. Цей напрямок є перспективним в світі застосування сучасних технологій в перевізному процесі, що є доцільним для розгляду у подальших дослідженнях.

#### Список використаної літератури

1. Erkut E, Tjandra SA, Verter V. Hazardous materials transportation. *Handbooks in Operations Research and Management Science*. 2007. № 14. С. 539–621.
2. Batarlienè N. Improving Safety of Transportation of Dangerous Goods by Railway Transport. *Infrastructures*. 2020. № 5 (7). С. 54.
3. Van der Vlies A, Suddle S. Structural measures for a safer transport of hazardous materials by rail: the case of the basic network in The Netherlands. *Safety Science*. 2008. № 46(1). С. 119–131.
4. Hassan C.R.C., Balasubramaniam P.A., Raman A.A.A., Mahmood N.Z., Hung F.C., Sulaiman NMN, та ін. Inclusion of human errors assessment in failure frequency analysis a case study for the transportation of ammonia by rail in Malaysia. *Process Safety Progress*. 2009. № 28(1). С. 60–67.
5. Verma M. A cost and expected consequence approach to planning and managing railroad transportation of hazardous materials. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2009. № 14(5). С. 300–308.
6. Bibik S, Strelko O, Nesterenko N, Muzykin M., Kuzmenko A. Formulation of the mathematical model for the planning system in the carriage of dangerous goods by rail. *Problems of the railway transport mechanics: матеріали XV міжнар. наук.-практ. конф., м. Дніпро, 27–29 травня 2020р., № 985*. С. 175–182.
7. Zografos K.G., Androusoopoulos K.N. A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2008, № 16(6). С. 684–703.
8. Berglund PG, Kwon C. Robust facility location problem for hazardous waste transportation. *Network Spatial Econ*. 2014. № 14(1). С. 91–116.
9. Gzara F. Acutting plane approach for bilevel hazardous material transport network design. *Operations Research Letters*. 2013. № 41(1). С. 40–46.
10. Xin C, Letu Q, Bai Y. Robust optimization for the hazardous materials transportation network design problem. *Combinatorial Optimization and Applications*. 2013. p. 373–386.
11. Marcotte P, Mercier A, Savard G, Verter V. Toll policies for mitigating hazardous materials transport risk. *Transportation Science*. 2009. № 43(2). С. 228–243.

## References

1. E. Erkut, S. A. Tjandra, V. Verter (2007) «Hazardous materials transportation», *Handbooks in Operations Research and Management Science*, vol. 14, pp. 539–621.
2. N. Batarlienė (2020) «Improving Safety of Transportation of Dangerous Goods by Railway Transport», *Infrastructures*. № 5 (7). C. 54.
3. A. Van der Vlies, S. Suddle (2008) «Structural measures for a safer transport of hazardous materials by rail: the case of the basic network in The Netherlands», *Safety Science*, vol. 46, no. 1, pp. 119–131.
4. C.R.C. Hassan, P.A. Balasubramaniam, A.A.A., Raman, N.Z. Mahmood, F.C. Hung, N.M.N. (2008) Sulaiman et al, «Inclusion of human errors assessment in failure frequency analysis a case study for the transportation of ammonia by rail in Malaysia», *Process Safety Progress*, vol. 28, no.1, pp. 60–67, Nov.
5. A. Verma (2009) «A cost and expected consequence approach to planning and managing railroad transportation of hazardous materials», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 14, no. 5, pp. 300–308, July.
6. S. Bibik, O. Strelko, N. Nesterenko, M. Muzykin, A. Kuzmenko (2020) «Formulation of the mathematical model for the planning system in the carriage of dangerous goods by rail», *Problems of the railway transport mechanics: 15th International Scientific and Technical Conference*, Dnipro, vol. 985, pp. 175–182.
7. K.G. Zografos, K.N. (2008) Androutsopoulos, «A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions», *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Vol 16, no. 6, pp. 684–703.
8. P.G. Berglund, C. Kwon (2014) «Robust facility location problem for hazardous waste transportation», *Network Spatial Econ*, vol. 14, no. 1, pp. 91–116.
9. F. Gzara (2013) «Acutting plane approach for bilevel hazardous material transport network design», *Operations Research Letters*, vol. 41, no.1, pp. 40–46.
10. C. Xin, Q. Letu, Y. Bai (2013) «Robust optimization for the hazardous materials transportation network design problem», *Combinatorial Optimization and Applications*, pp. 373–386.
11. P. Marcotte, A. Mercier, G. Savard, V. Verter (2009) «Toll policies for mitigating hazardous materials transport risk», *Transportation Science*, vol. 43, no. 2, pp. 228–243.

**Н. В. ТАРЕЛЬНИК**

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри проектування технічних систем  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0000-0002-6304-6925

**М. М. МАЙФАТ**

аспірант кафедри технічного сервісу  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: 0009-0004-0563-929X

## НОВИЙ СПОСІБ ЗАХИСТУ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ВІД ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОСУ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

Метою дійсної роботи було підвищення довговічності сталевих деталей, шляхом розробки технології формування покриттів на знощувальних поверхнях, який би підвищив здатність чинити опір зношуванню, гарантував би надійність і довговічність їх роботи в агресивних середовищах, був би екологічно безпечним і скоротив витрати на їх виготовлення.

В статті запропонований новий екологічно безпечний спосіб захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу, який належить до галузі машинобудування і ремонту машин, зокрема до зміцнення сталевих деталей, і може бути використаний для їх захисту методом електроіскрового легування від гідроабразивного зносу.

Технологія використання нового способу полягає в наступному. Спочатку поверхні сталевих деталей шліфують до  $Ra=0,5$  мкм, після чого на шліфованій поверхні формують електроіскрове покриття (ЕІП), здійснюючи цементацію шліфованої поверхні деталей методом електроіскрового легування (ЦЕІЛ), після цього використовують алітування цементованого шару методом ЕІЛ алюмінієвим електродом-інструментом з подальшим нанесенням на нього ЕІП електродом з композиційного зносостійкого матеріалу, отриманого за допомогою порошкової металургії (ПМ), складу  $90\%VK6+10\%IM$ , де  $IM - 70\%Ni+20\%Cr+5\%V+5\%Si$ . Далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають полімеризації металополімерним матеріалом (МПМ), армованим при полімеризації порошком карбиду вольфраму  $WC$  і/або нітриду цирконію  $ZnN$  або їх сумішшю  $WC+ZnN$ . Потім частину поверхневого шару МПМ видаляють до виступів шорсткості покриття з композиційного зносостійкого матеріалу  $90\%VK6+10\%IM$ .

До практичного використання, з метою захисту сталевих деталей від гідроабразивного зносу, пропонуються покриття, сформовані в послідовності ЦЕІЛ  $\rightarrow$  ЕІЛАІ  $\rightarrow$  ЕІЛ ( $90\%VK6+10\%IM$ )  $\rightarrow$  нанесення МПМ, армованого порошком  $WC$ , або  $ZnN$ , або їх сумішшю. Експериментально встановлено, що кращою стійкістю проти гідроабразивного зношування володіють зразки з корозійностійкої нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, знос яких у порівнянні із зразками зі сталі 45 менший на 37,3 %.

**Ключові слова:** електроіскрове легування, гідроабразивний знос, деталь, абразивний знос, цементація, алітування, покриття, металополімерний матеріал.

**N. V. TARELNYK**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Technical System Designs  
Sumy National Agrarian University  
ORCID: 0000-0002-6304-6925

**M. M. MAYFAT**

Postgraduate Student at the Department of Technical Service  
Sumy National Agrarian University  
ORCID: 0009-0004-0563-929X

## A NEW PROCESS TO PROTECT STEEL PARTS FROM HYDRO ABRASIVE WEAR USING ENVIRONMENTALLY SAFE TECHNOLOGICAL METHODS

The goal of this work was to achieve improved durability of steel parts by developing a technology for creating coatings on wear surfaces, which would increase the ability to make a stand against wear, guarantee the reliability and durability of their operation in aggressive media, be environmentally safe and reduce the cost of their production.

The paper proposes a new environmentally safe process for protecting steel parts from hydro abrasive wear. The process relates to the field of mechanical engineering and machine repair, in particular to strengthening of steel parts, and it can be used to protect them from hydro abrasive wear using electrospark alloying (ESA) method.

The technology based on the new process is as follows. First, the steel part surfaces are ground to  $Ra = 0.5 \mu\text{m}$ , then, while carburizing the ground surfaces of the part with the use of the electrospark alloying (ESA) method, the electrospark coating (ESC) is formed on the ground surface, after that there is performed an aluminizing process of the carburized layer using the ESA method by an aluminum electrode-tool with the subsequent application thereon of the electrospark coating (ESC) by the electrode-tool made of a wear-resistant composite material obtained using the powder metallurgy (PM) composition consisting of 90% VK6 + 10% 1M, where 1M is 70% Ni + 20% Cr + 5% B + 5% Si. Further, the surface of the formed combined electrospark coating is subjected to polymerization with a metal-polymer material (MPM), which has been being reinforced in the course of the polymerization process with tungsten carbide powder WC and/or zirconium nitride ZnN or their mixture WC+ZnN. Then a part of the surface layer of the MPM is removed until the appearance of the roughness protrusions of the coating made of the hydro resistant composite material of 90% VK6 + 10% 1M.

For practical use, in order to protect steel parts from hydro abrasive wear, there are proposed the coatings formed in the sequence of CESA → ESA Al → ESA (90% VK6 + 10% 1M) → application of MPM reinforced with WC powder, or ZnN, or a mixture thereof. It has been experimentally established that the samples made of the corrosion-resistant stainless steel of the 12X18H10T grade have the best resistance to hydro abrasive wear. As compared to the specimens made of steel 45, their wear is 37.3% less.

**Key words:** electrospark alloying, hydro abrasive wear, part, abrasive wear, carburizing, aluminizing, coating, metal-polymer material.

### Постановка проблеми

У даний час для різних галузей промисловості (електроенергетики, паливної промисловості, чорної і кольорової металургії, космічної промисловості, хімічної і нафтохімічної промисловості, машинобудування і металообробки тощо), сільського та комунального господарства виготовляється, відновлюється і зміцнюється величезна кількість деталей. При цьому застосовуються різні технологічні методи як екологічно безпечні, так і такі, що негативно впливають на навколишнє середовище. Наприклад, при відновленні дискових робочих органів сільськогосподарських машин, виготовлених часто з листів сталей 65Г і 70Г з твердістю робочої зони дисків після термічної обробки HRC 35–45 при товщині леца 0,3–0,5 мм, можуть виконувати їх зміцнення, використовуючи наплавлення твердими і зносостійкими матеріалами, хіміко-термічну обробку (борування), зміцнення методом електроерозійної обробки, нанесення полімерних і композиційних матеріалів, плакування зносостійкою стрічкою, зміцнення накаткою, тощо [1].

Значна кількість технологій нанесення і різноманіття областей застосування покриттів і способів зміцнення поверхневих шарів деталей, широкий спектр матеріалів для цього, роблять непростим вибір більш раціонального способу підвищення параметрів якості їх поверхонь, особливо в умовах конкурентного підходу.

Багато різних деталей працює в важких умовах абразивного, гідроабразивного, корозійного та інших видів зносу, а методи їх виготовлення і ремонту дуже часто є негативними для людини та є екологічно небезпечними: зварювання, наплавлення, термічне напилення, ряд хіміко-термічних методів обробки, тощо.

Роботи направлені на удосконалення існуючих технологій і розробка нових методів відновлення і зміцнення поверхонь деталей, які працюють в важких умовах і підлягають впливу негативних середовищ, екологічно безпечними методами актуальні і своєчасні.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо спосіб електроіскрового легування (ЕІЛ), металевої поверхні, тобто, процес перенесення матеріалу на оброблювану поверхню іскровим електричним розрядом [2].

Спосіб ЕІЛ має ряд специфічних особливостей, однією з яких є те, що процес легування може відбуватися без перенесення матеріалу анода на поверхню катода і не створювати приросту матеріалу. Відбувається дифузійне насичення поверхні деталі складовими елементами (елементом) анода, наприклад, при ЕІЛ графітовим електроодом. Метод ЕІЛ графітовим електроодом базується на процесі дифузії (насиченні поверхневого шару деталі вуглецем) і має певну схожість з різновидом хіміко-термічної обробки (ХТО) – цементацією. У порівнянні з цементацією традиційним способом, ЕІЛ графітовим електроодом (ЦЕІЛ) не тільки має всі переваги порівнюваного методу, тобто забезпечує зміцнення поверхні деталі при збереженні властивостей вихідного матеріалу деталі, але і попереджає її деформування [3].

Однак, однією з характерних особливостей методу ЕІЛ є обмеження по товщині формованого поверхневого шару. Недостатньо відомостей про технології, які вирішують проблему відновлення робочих поверхонь деталей зі зносом від 0,2 мм і вище. Крім того, незважаючи на те, що ЕІЛ позитивно впливає на зносостійкість поверхневого шару, його застосування часто асоціюється зі збільшенням шорсткості поверхні виробів після ЕІЛ, нерівномірністю поверхневого зміцнення, негативним впливом електроіскрового розряду на утомні властивості виробів тощо.

Відомо спосіб відновлення поверхонь металевих деталей, що включає нанесення на зношену поверхню деталі покриття електроіскровим легуванням металевим електроодом, при якому покриття ЕІЛ наносять у режимах, що забезпечують задану шорсткість поверхні покриття, на отриману поверхню наносять принаймні один шар

металополімерного матеріалу (МПМ), забезпечують полімеризацію нанесеного шару МПМ, після чого його піддають фінішній обробці [4, 5].

Недоліками даного способу є:

- низька твердість металополімерних матеріалів;
- основне застосування способу, це відновлення деталей в нероз'ємних з'єднаннях (посадочних місць під підшипники, півмфти та ін.);
- металополімерні матеріали добре працюють на стиск і значно гірше на зрушення, що негативно впливає на їх застосування для відновлення у деталей поверхонь тертя;
- зміна властивостей під час підвищення температури на поверхнях тертя і ін.

Відомо спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей шляхом поетапного зміцнення методом ЕІЛ їх поверхневого шару, який включає ЦЕІЛ, алітування методом ЕІЛ алюмінієвим електродом і нанесення методом ЕІЛ зносостійкого покриття електродом-інструментом, виготовленим з матеріалу, вибраного з групи тугоплавких металів Ti, V, W і їх карбідів [6].

У даному способі при енергії розряду 3,4 Дж для нержавіючої сталі 12Х18Н10Т товщина шару підвищеної твердості становить 320–360 мкм, а мікротвердість зміцненого шару – 10000 МПа.

Недоліками даного способу є:

- недостатня товщина шару підвищеної твердості;
- невелика товщина покриття (до 0,2 мм);
- висока шорсткість покриття ( $Ra=7,5$  мкм).

Зазначені недоліки знижують здатність деталей чинити опір зношуванню, надійність і довговічність їх роботи в агресивних середовищах.

Найближчим аналогом є спосіб формування покриття на зношувальних поверхнях деталей, який включає підготовку поверхні деталі, нанесення на неї комбінованого електроіскрового покриття, поверхнево-пластичну деформацію (ППД) отриманого покриття і нанесення на нього металополімерного матеріалу (МПМ). Перед нанесенням комбінованого електроіскрового покриття поверхню деталі шліфують до  $Ra=0,5$  мкм. При формуванні комбінованого електроіскрового покриття спочатку проводять ЦЕІЛ шліфованої поверхні деталі. Після виконують алітування цементованого шару алюмінієвим електродом з подальшим нанесенням на нього електроіскрового покриття електродом з твердого сплаву Т15К6. Далі поверхню сформованого комбінованого електроіскрового покриття піддають поверхнево-пластичній деформації методом обкатки кулькою (ОК). Після полімеризації металополімерним матеріалом, армованим при полімеризації порошком твердосплавної суміші ВК6, частину шару металополімерного матеріалу видаляють до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву Т15К6 [7].

Недоліками даного способу є:

- дуже складна технологія формування покриття;
- висока вартість використання технології;
- спосіб придатний тільки для деталей тіл обертання;
- недостатній захист сталевих поверхонь від гідроабразивного зношування.

Відомо зносостійке спечене покриття, в якому наповнювачем служить твердосплавна суміш ВК-6, а легкоплавким зв'язком – твердий розчин системи Ni-Cr-Si-B. Покриття наносять на поверхні деталей шлікерним методом з наступним відпадом у вакуумі.

З метою застосування як електродів при ЕІЛ нових композиційних зносостійких матеріалів, отриманих за допомогою порошкової металургії, досліджували матеріали, що складаються з тонкодисперсної суміші 1М (70% Ni, 20% Cr, 5% Si, 5% B) та ВК6. Найбільш перспективним є легування електродом з матеріалу складу 90% ВК6 + 10% 1М, що дозволяє формувати поверхневий шар з мікротвердістю до 14200 МПа. При застосуванні електродів з тонкодисперсної суміші 1М мікротвердість досягає 11500 МПа. Підшар з індію, знижуючи шорсткість покриття (з  $Ra = 3,5 \dots 4,2$  мкм до  $Ra = 0,6 \dots 0,9$  мкм), незначно знижує його мікротвердість, але при цьому вона залишається на досить високому рівні, відповідно 13250 і 12250 МПа [8].

Таким чином, митою роботи є підвищення довговічності сталевих деталей, шляхом розробки технології формування покриттів на зношувальних поверхнях, який би підвищив здатність чинити опір зношуванню, гарантував би надійність і довговічність їх роботи в агресивних середовищах, був би екологічно безпечним і скоротив витрати на їх виготовлення.

#### Методика досліджень

*Обґрунтування вибору матеріалу зразків для досліджень на стійкість проти гідроабразивного зносу.*

Відповідно до [9], залежно від навколишнього середовища застосовують такі матеріали ротора та кожуха центрифуг для очищення стічних вод, які в процесі роботи підлягають дуже великому гідроабразивному зношуванню:

1) нелеговані чорні метали: допускається обробка при температурі до 45°C суспензій, що містять нейтральні та лужні солі, такі як нітрати натрію, кадмію, барію; анілінові барвники, солі кремнієвої, миш'якової та миш'яквистої кислот; сульфати та гідросульфати натрію, кальцію, магнію, цинку, барію, кальцію, кадмію;

2) корозійностійка сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632-72), крім суспензій, перерахованих вище, допускається обробка при температурі не вище 70<sup>0</sup>С також суспензій, що містять: гідросульфат натрію, калію, кальцію; броміді та йодиди натрію та калію (до 30<sup>0</sup>С і до 10% мас.); солі міді всіх кислот, крім соляної; саліцилову кислоту (до 30<sup>0</sup>С); сульфіді металів; розчини сульфатів заліза та міді, що містять до 10% сірчаної кислоти; ацетати алюмінію, міді, свинцю; фосфати натрію, калію, кальцію, барію, стронцію, магнію, цинку (до 30<sup>0</sup>С).

Таким чином, для досліджень були обрані сталь 45 і корозійно-стійка нержавіюча сталь 12Х18Н10Т з яких виготовляли зразки розміром 15х15х8 мм, які підлягали ЦЕЛ і наступному алітуванню методом ЕЛ алюмінієвим електродом-інструментом і наступним легуванням електродом-інструментом з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6+10%1М на установці моделі «Елітрон-52А» (табл. 1).

Таблиця 1

## Зразки сталі 45 і сталі 12Х18Н10Т для порівняльних випробувань проти гідроабразивного зношування

№ зразка	Вид зміцнення	Зображення	
		Сталь 45	Сталь 12Х18Н10Т
1	Без покриття		
2	ЦЕЛ → ЕЛAI → ЕЛТ15К6 → обкатка кулькою (ОК) → МПМ (армований ВК6).		
3	ЦЕЛ → ЕЛAI → ЕЛ (90%ВК6+ 10%1М).		
4	ЦЕЛ → ЕЛAI → ЕЛ (90%ВК6+ 10%1М) → МПМ, армований порошком 80%WC		
5	ЦЕЛ → ЕЛAI → ЕЛ (90%ВК6+ 10%1М) → МПМ, армований порошком 80%ZrN.		
6	ЦЕЛ → ЕЛAI → ЕЛ (90%ВК6+ 10%1М) → МПМ, армований порошком 40%WC+ 40%ZrN.		

Після цього на сформоване покриття наносили металополімерний матеріал, попередньо армований порошком у вигляді карбиду вольфраму WC або нітриду цирконію ZnN, або їх суміші WC+ZrN і після полімеризації частину шару металополімерного матеріалу видаляли шліфуванням до виступів шорсткості покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6+10%1М.

Електроди з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6+10%1М, отримані за допомогою порошкової металургії і складаються з 10% тонкодисперсної суміші 1М – 70% Ni, 20% Cr, 5% Si, 5% В та 90% суміші ВК6.

Порошки WC, ZrN та їх суміші додають в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену феросиліконом марки Loctite 3478 в різних співвідношеннях (табл. 1):

- варіант 1: концентрація армувальної речовини WC становить ~ 80%;



- варіант 2: концентрація армувальної речовини ZrN становить ~ 80%;
- варіант 3: концентрація армувальної речовини суміші порошків WC + ZrN, становить 40% WC+40% ZrN.

Апробацію способу формування комбінованих електроерозійних покриттів виконували на зразках з вуглецевої конструкційної якісної сталі 45 ферито-перлітного класу та жароміцної, корозійностійкої конструкційної з аустенітною кристалічною структурою сталі 12X18H10T.

Для проведення порівняльних досліджень проти гідроабразивного зносу виготовляли сталеві зразки, розміром 15x15x8мм, на які наносили покриття електродами-інструментами на установці «Елітрон-52А» згідно з № 3–6 (табл. 1).

Для порівняння стійкості зразків проти гідроабразивного зносу використовували зразки з сталі 45 і сталі 12X18H10T з покриттям, сформованим, згідно з прототипом № 2 (табл. 1). При цьому електроіскрове легування шліфованої поверхні виконували на установці «Елітрон-52А» графітовим електродом МПГ-7 при енергії розряду  $W_p=3,4$  Дж. Далі на цій же установці проводили алітування цементованого шару алюмінієвим електродом (три проходи при  $W_p=3,4$  Дж) і нанесення покриття електродом з твердого сплаву Т15К6, виконуючи два проходи при  $W_p=0,9$  Дж і два проходи при  $W_p=3,4$  Дж.

Поверхнево-пластичну деформацію виконували за три проходи методом обкатки кулькою з питомим зусиллям вигладжування  $P=2500$  МПа. На покриття з твердого сплаву Т15К6, ретельно втираючи, наносили МПМ, попередньо армований порошком у вигляді твердосплавної суміші ВК6, доданої в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросиліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини ~ 60%. Після полімеризації шар МПМ шліфували до виступів шорсткості покриття з твердого сплаву Т15К6.

Нанесення електроіскрового покриття на зразки № 3–6 (табл. 1) після ЦЕІЛ і алітування методом ЕІЛ виконували електродом-інструментом з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6+10%1М на установці «Елітрон-52А» при  $W_p=3,4$  Дж. На покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6+10%1М, ретельно втираючи, наносили МПМ, попередньо армований порошком у вигляді карбиду вольфраму № 4, нітриду цирконію № 5 і їх суміші № 6, (табл. 1), доданих в двокомпонентну епоксидну систему, наповнену ферросиліконом марки Loctite 3478 при концентрації армуючої речовини, відповідно ~ 80% WC; 80% ZrN і 40% WC+40% ZrN. Частину шару металополімерного матеріалу видаляли шліфуванням до виступів шорсткості покриття з композиційного зносостійкого матеріалу 90%ВК6+10%1М.

Слід відмітити, що композиційний зносостійкий матеріал 90%ВК6+10%1М можна наносити при енергії розряду,  $W_p=0,13-3,4$  Дж. Зменшення енергій розряду нижче  $W_p=0,13$  Дж недоцільно в зв'язку з низькою продуктивністю. Збільшення енергій розряду вище ніж  $W_p=3,4$  Дж призводить до різкого зниження суцільності покриття.

Для проведення випробувань зразків на зносостійкість проти гідроабразивного зношення було розроблено конструкцію та виготовлено дослідну установку. Як абразивний матеріал використовували водну суміш піску з розміром частинок 0,1–0,5 мм і концентрацією 100 г/л. Дослідження проводили протягом 24 годин.

#### Результати досліджень

Нижче представлені результати проведення досліджень зразків зі сталі 45 і сталі 12X18H10T на гідроабразивний знос.

##### Оцінка гідроабразивної зносостійкості зразків із сталі 45

В результаті проведених досліджень встановлено, що найінтенсивніше зношуються зразки без покриття (рис. 1, табл. 2).

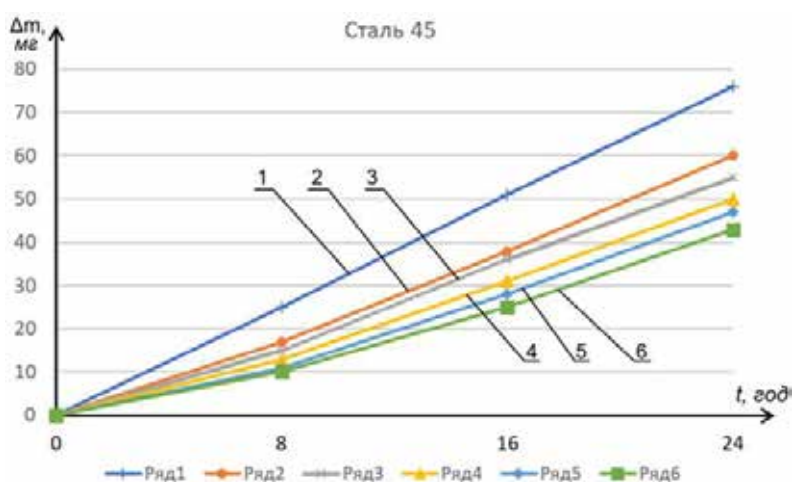


Рис. 1. Результати гідроабразивного зношення зразків зі сталі 45 з різними покриттями: № 1–6, згідно таблиці 2

Зразки № 6 з покриттям, сформованим в послідовності: ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+10%1М) → МПМ (80% ZrN), знос яких на 76,7% менше зразків без покриття, на 39,5% менше в порівнянні з прототипом (№ 2) і, відповідно, на 9,3 (№ 5) і на 16,3 (№ 4) %, менше сформованих в послідовності ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+10%1М) → МПМ (40%WC+40%ZrN) і ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+10%1М) → МПМ (80% WC).

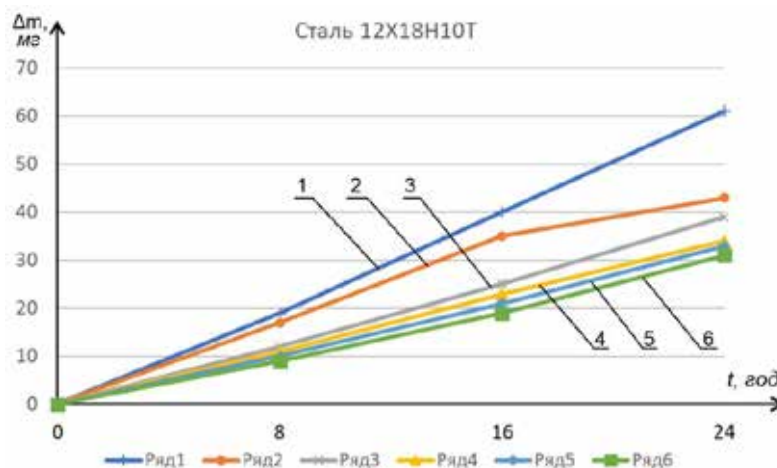
Таблиця 2

**Результати досліджень гідроабразивного зношування зразків зі сталі 45 з різними покриттями**

№ зразка	Вид покриття	Величина зносу, Δm, мг		
		8 год	16 год	24 год
1	Без покриття	25	51	76
2	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІТ15К6 → обкатка кулькою (ОК) → МПМ (ВК6) → (ПД)	17	38	60
3	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+ 10%1М)	15	36	55
4	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+ 10%1М) → МПМ (80% WC)	13	31	50
5	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+ 10%1М) → МПМ (40%WC+ 40%ZrN)	11	28	47
6	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+10%1М) → МПМ (80% ZrN)	10	25	43

*Оцінка гідроабразивної зносостійкості зразків із сталі 12Х18Н10Т*

При проведенні порівняльних досліджень зразків із сталі 12Х18Н10Т на гідроабразивний знос протягом 24 годин характер розподілу їх за ранжиrom, згідно з стійкістю проти гідроабразивного зносу співпадає зі зносом зразків зі сталі 45. Тут також найінтенсивніше зношуються зразки без покриття (рис. 2, табл. 3).



**Рис. 2. Результати гідроабразивного зношування зразків зі сталі 12Х18Н10Т з різними покриттями: № 1–6, згідно таблиці 3**

Таблиця 3

**Результати досліджень гідроабразивного зношування зразків зі сталі 12Х18Н10Т з різними покриттями**

№ зразка	Вид покриття	Величина зносу, Δm, мг		
		8 год	16 год	24 год
1	Без покриття	19	40	61
2	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІТ15К6 → обкатка кулькою (ОК) → МПМ (ВК6) → пластичне деформування (ПД)	17	35	43
3	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+ 10%1М)	12	25	39
4	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+ 10%1М) → МПМ (80% WC)	11	23	34
5	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+10%1М) → МПМ (40%WC+ 40%ZrN)	10	21	33
6	ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+10%1М) → МПМ (80% ZrN)	9	19	31

Для сталі 12Х18Н10Т найкращі результати з гідроабразивної зносостійкості показали зразки з покриттям, сформованим в послідовності: ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+ 10%1М) → МПМ (80% ZrN), знос яких на 96,7% менше зразків без покриття, на 38,7% менше в порівнянні з аналогом і, відповідно, на 6,5 і на 9,7%, менше сформованих в послідовності ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+10%1М) → МПМ (40%WC+40%ZrN) і сформованим в послідовності ЦЕЛІ → ЕЛІАІ → ЕЛІ (90%ВК6+10%1М) → МПМ (80% WC).

### Висновки

1. Для захисту сталених деталей від гідроабразивного зносу можна рекомендувати покриття, нанесені в послідовності ЦЕІЛ → ЕІІАІ → ЕІІ (90%ВК6+10%ІМ) → МПМ, армовані порошком карбиду вольфраму, або нітриду цирконію, або їх сумішшю. Запропонована технологія забезпечує підвищення здатності деталей чинити опір зношуванню, гарантує надійність і довговічність їх роботи в агресивних середовищах, екологічну безпеку і скорочення витрат на їх виготовлення.

2. Кращою стійкістю проти гідроабразивного зношування мають зразки з корозійностійкої нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, з покриттями сформованим в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІІАІ → ЕІІ (90%ВК6+ 10%ІМ) → МПМ (80% ZrN), знос яких на 96,7% менше зразків без покриття, на 38,7% менше в порівнянні з аналогом і, відповідно, на 6,5 і на 9,7%, менше покриттів, металополімерні матеріали яких, армовані сумішшю (40%WC+40%ZrN) і 80% WC).

3. Кращий спротив гідроабразивному зношуванню мають зразки з корозійностійкої нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, знос яких у порівнянні із зразками зі сталі 45 менший на 37,3%.

### Список використаної літератури

1. Тарельник В.Б., Саржанов Б.О., Гапон О.О. Новий спосіб відновлення і зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються в процесі експлуатації абразивному зносу. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2019. Вип. 1–2 (35–36). С. 18–24.

2. Tarelnik V.B., Gaponova O.P., Konoplyantschenko E.V., Yevtushenko N.S., Gerasimenko V.A., The Analysis of a Structural State of Surface Layer after Electroerosive Alloying. II. Features of Formation of Electroerosive Coatings on Special Steels and Alloys by Hard Wear-Resistant and Soft Antifriction Materials. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 2018, 40, No.6, 795.

3. Cementation of steel details by electrospark alloying Tarelnyk, V.B., Gaponova, O.P., Kirik, G.V., ... Tarelnyk, N.V., Mikulina, M.O. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 2020, 42(5), С. 655–667.

4. Пат. 104664 UA, МПК В23Н 5/00, В23Н 9/00, С23С 28/00 (2014.01) Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей / Марцинковський В. С., Тарельник В. Б., Павлов О. Г., Іщенко А. О. ; заявл. 14.08.2012 ; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4, 2014.

5. Tarelnyk V.B., Konoplianchenko I.V., Gaponova O.P., Sarzhanov O.A., Antoszewski B. Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2020, 58(11–12), С. 703–713.

6. Пат. на корисну модель 136895 UA, МПК В23Н 9/00, С23С 8/60 (2006.01), С23С 10/48 (2006.01) Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей / Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Конопляченко С. В., Тарельник Н. В., Саржанов О. А., Саржанов Б. О., Антошевський Б. ; заявл. 02.04.2019 ; опубл. 10.09.2019, Бюл. № 17, 2019.

7. Tarelnyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Sarzhanov B. Assessment of Hydroabrasive Wear Resistance of Construction Materials with Functional Coatings, which are Formed by Resource-Saving and Environmentally Friendly Technologies. *Key Engineering Materials*. 2020. vol 864, p. 265–277. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.265>

8. Tarelnik, V.B., Paustovskii, A.V., Tkachenko, Y.G. et al. Electric-spark coatings on a steel base and contact surface for optimizing the working characteristics of babbitt friction bearings. *Surf. Engin. Appl. Electrochem*. 2017. 53, С. 285–294. <https://doi.org/10.3103/S1068375517030140>

9. Саржанов Б.О. Розробка екологічно безпечних методів відновлення шнеків машин технологічного циклу утилізації гною. – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування. – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2021.

### References

1. Tarelnyk V.B., Sarzhanov B.O., Hapon O.O. (2019) Novyi sposib vidnovlennia i zmitsnennia detalei z lystovoi stali, shcho piddaiutsia v protsesi ekspluatatsii abrazyvnomu znosu. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*, vol. 1–2 (35–36), pp. 18–24.

2. Tarelnik V.B., Gaponova O.P., Konoplyantschenko E.V., Yevtushenko N.S., Gerasimenko V.A. (2018) The Analysis of a Structural State of Surface Layer after Electroerosive Alloying. II. Features of Formation of Electroerosive Coatings on Special Steels and Alloys by Hard Wear-Resistant and Soft Antifriction Materials. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, vol. 40, no. 6, p. 795.

3. Tarelnyk, V.B., Gaponova, O.P., Kirik, G.V., Tarelnyk, N.V., Mikulina, M.O. (2020) Cementation of steel details by electrospark alloying *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, vol. 42(5), pp. 655–667.

4. Martsynkovskiy V. S., Tarelyk V. B., Pavlov O. H., Ishchenko A. O. (2014). Sposib vidnovlennia znoshenykh poverkhon metalevykh detalei (Patent Ukrainy № 104664). Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=274106>
5. Tarelyk V.B., Konoplianchenko I.V., Gaponova O.P., Sarzhanov O.A., Antoszewski B. (2020) Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics.*, vol. 58(11–12), pp. 703–713.
6. Tarelyk V. B., Martsynkovskiy V. S., Haponova O. P., Konoplianchenko Ye. V., Tarelyk N. V., Sarzhanov O. A., Sarzhanov B. O., Antoshevskiy B. (2019). Sposib pidvyshchennia znosostiikosti stalevykh detalei. (Patent Ukrainy № 136895). Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=261777>
7. Tarelyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Sarzhanov B. (2020) Assessment of Hydroabrasive Wear Resistance of Construction Materials with Functional Coatings, which are Formed by Resource-Saving and Environmentally Friendly Technologies. *Key Engineering Materials.* vol 864, pp. 265–277. Retrieved from: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.265>
8. Tarel'nik, V.B., Paustovskii, A.V., Tkachenko, Y.G. et al. (2017) Electric-spark coatings on a steel base and contact surface for optimizing the working characteristics of babbitt friction bearings. *Surf. Engin. Appl. Electrochem.* vol 53, pp. 285–294. <https://doi.org/10.3103/S1068375517030140>
9. Sarzhanov B.O. (2021). Rozrobka ekolohichno bezpechnykh metodiv vidnovlennia shnekiv mashyn tekhnolohichnoho tsykladu utylizatsii hnoiu. – Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia doktora filosofii z haluzi znan 13 – Mekhanichna inzheneriia za spetsialnistiu 133 – Haluzeve mashynobuduvannia. – Sums'kyi natsionalnyi ahraryi universytet, Sumy [in Ukrainian].

## I. V. TREMBUS

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Ecology and Technology  
of Plant Polymers  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-7481-4144

## A. S. HONDOVSKA

Postgraduate Student at the Department of Ecology and Technology  
of Plant Polymers  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-9795-768X

## N. V. MYKHAILENKO

Master at the Department of Ecology and Technology of Plant Polymers  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0009-0004-8342-7540

**STUDY PROPERTIES OF POLYSULFONAMIDE MEMBRANE**

*In this work, the properties of the polysulfonamide membrane UPM-20 were studied for the purpose of further purification of contaminated water from suspended fine particles and dissolved impurities that cause turbidity and color of water. The influence of pressure from 1 to 5 atmospheres and filtration time from 20 to 100 minutes on specific productivity, selectivity and turbidity and color values of the permeate was shown. It was found that for all pressure values there are three periods in the filtration process of the model sodium humate solution: a sharp change, a slow decrease in parameters and no significant changes in permeate parameters. An increase in pressure and an increase in the duration of the sodium humate filtration leads to a decrease in the productivity index from 87 to  $2.7 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{h}) \cdot 10^2$ . The selectivity of the membrane in terms of color and turbidity was calculated. It is shown that the highest selectivity for color is in the range of 95.2 to 96 % for filtration at a pressure of 5 atmospheres and a duration of 80–100 minutes; respectively, for selectivity for turbidity, this indicator is 97.2 % for sodium humate filtration at a pressure of 5 atmospheres and a process duration of 90 minutes. A mathematical model of the filtration process of the model solution, sodium humate, was constructed using the Python programming language and the Matplotlib library for constructing mathematical dependencies. It was found that the purification of sodium humate on the UPM-20 membrane follows a non-linear dependence. Mathematical equations were obtained that adequately describe the dependence of the output variables on the selected technological factor of the filtration process. It is shown that these equations are in the form of a third-order polynomial, a cubic model, which can be used to describe the process of sodium humate filtration using the UPM-20 membrane at different pressures, from 1 to 5 atmospheres.*

**Key words:** UPM-20 membrane, humate solution, filtration, specific productivity, selectivity, permeate, turbidity, color, mathematical model

## I. В. ТРЕМБУС

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-7481-4144

## А. С. ГОНДОВСЬКА

аспірант кафедри екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-9795-768X

Н. В. МИХАЙЛЕНКО

магістр кафедри екології та технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0009-0004-8342-7540

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІСУЛЬФОНАМІДНОЇ МЕМБРАНИ

В роботі було проведено дослідження властивостей полісульфонамідної мембрани УПМ-20 з метою подальшого очищення забруднених вод від зважених дрібнодисперсних частинок та розчинених домішок, що обумовлюють каламутність і кольоровість води. Показано вплив тиску від 1 до 5 атмосфер та тривалості процесу фільтрування від 20 до 100 хвилин на показники питомої продуктивності, селективності та значення каламутності і кольоровості перміату. Встановлено, що для всіх значень тиску притаманна наявність трьох періодів проходження процесу фільтрації модельного розчину гумату натрію: різка зміна, повільне зниження параметрів та без значних змін в показниках перміату. Зростання тиску і збільшення тривалості фільтрування гумату натрію призводить до зниження показника продуктивності від 87 до 2,7 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·год)·10<sup>2</sup>. Розраховано показники селективності мембрани за кольоровістю і каламутністю. Показано, що найбільша селективність за кольоровістю знаходиться в межах від 95,2 до 96 % для фільтрування за тиску 5 атмосфер, тривалістю 80–100 хвилин, відповідно для селективності за каламутністю даний показник для фільтрації гумату натрію становить 97,2 % за тиску 5 атмосфер, тривалості процесу 90 хвилин. Було побудовано математичну модель процесу фільтрування модельного розчину – гумату натрію за допомогою мови програмування Python і бібліотеки Matplotlib для побудови математичних залежностей. Встановлено, що очищення гумату натрію на мембрані УПМ-20 відбувається за нелінійною залежністю. Отримано математичні рівняння, що адекватно описують залежності вихідних змінних від обраного технологічного чинника процесу фільтрування. Показано, що ці рівняння мають вигляд полінома третього порядку, це кубічна модель, що може бути використана для опису процесу фільтрування гумату натрію з використанням мембрани УПМ-20 за різного тиску – від 1 до 5 атмосфер.

**Ключові слова:** мембрана УПМ-20, розчин гумату, фільтрація, питома продуктивність, селективність, перміат, каламутність, кольоровість, математична модель.

### Formulation of the problem

More than 100 different materials for membrane production are known nowadays [1]. The main problem during purification with using membranes is to choose membrane which will be possible to work according tasks and conditions of separation method as much as possible. The progress of membrane separation usage is closely related to development various technologies which connected with production membranes with separate characteristics like porous structure and surface properties [2].

### Analysis of recent research and publications

New technologies of formation porous polymer membranes make possible to create various specialized membranes thereby expanding and deepening fields of membrane technologies application [3, 4]. Polymer membranes have high chemical and thermal stability, low specific resistance and high mechanical properties [5, 6]. It is worth noting that issue of membrane formation is closely related to patterns and features mass transfer studies through porous polymer membranes surfaces. Polysulfones (PSF), polyethersulfones (PES), polysulfonamides (PSA) are very important polymers for membrane production (Fig. 1) [2]. It should be noted that they have high chemical and thermal stability at their glass transition temperature (PSF – T = 190 °C; PES – T = 230 °C, PSA – T = 288 °C) [3, 4]. Therefore, these polymers are widely used as basic materials for ultrafiltration membranes manufacture as well as substrates for composite membranes. So, aromatic polysulfone usage is promising field for functional polymers and membranes production based on them due to high film-forming properties [7].

Polysulfonamide membranes for ultrafiltration purification UPM-20 type have become widely used. Polysulfonamide (PSA) is type of aromatic co-polyamide and an organic high-temperature resistant material which have special molecular structure. PSA have excellent properties in terms of heat resistance, dimensional stability, high temperature resistance and fire resistance [8].

UPM-20 membranes consist of three different layers of polymeric materials namely aromatic polysulfone and thermoplastic materials which provide their strength and durability. Mixture of polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP) are polymeric thermoplastic materials which used for UPM-20 membrane production Fig. 2. [8]. Average pore size in UPM-20 membrane is 20 nm and thickness is 150 μm. These material is very strong and resistant to various types of contaminants and chemicals.

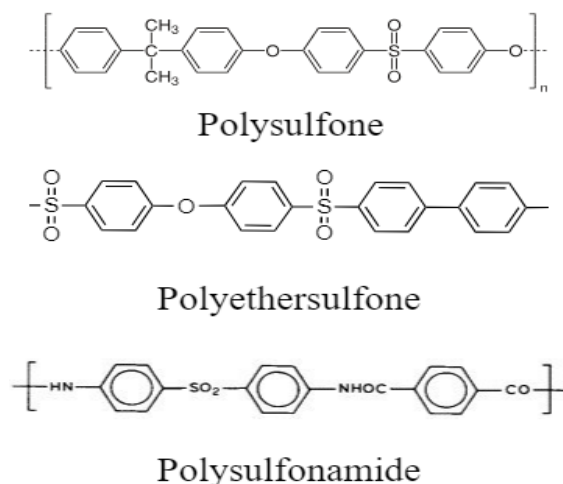


Fig. 1. Polymers structural formulas for membrane production

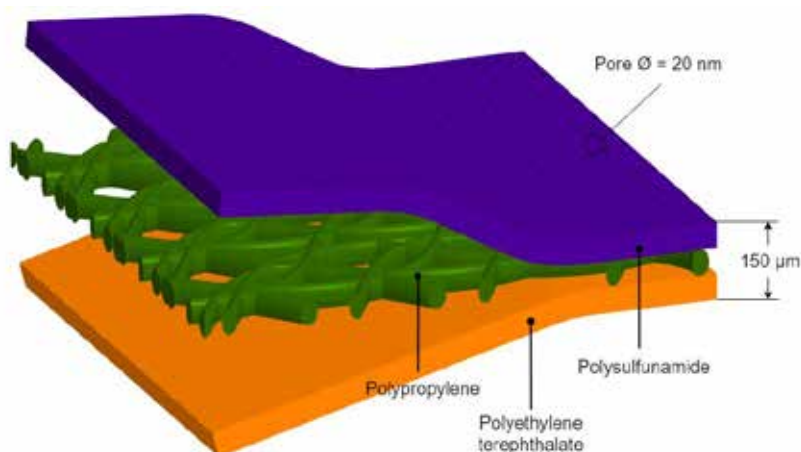


Fig. 2. UPM 20 polysulfonamide membrane model

Fillers and stabilizers can be used as additional substances for this type membrane production. Carbonate filler, namely calcium carbonate, is usually included in UPM-20 membranes. It gives mechanical strength and tear resistance for them [9].

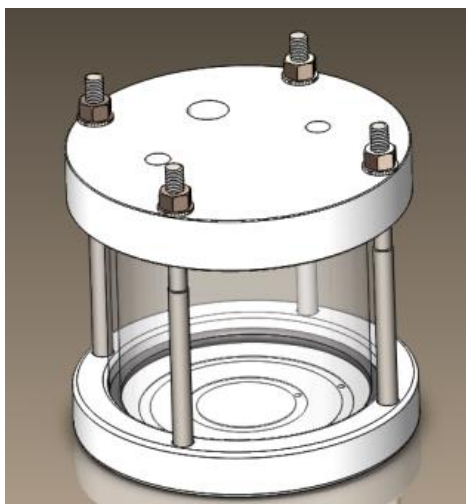
Stabilizers are added to UPM-20 composition to ensure their resistance to ultraviolet radiation and other factors that can cause material destruction over time. In general, UPM-20 membranes are very effective materials for water purification due to their complex structure [10]. They are used in filter systems where water is passed through a membrane which ensures the screening of impurities.

UPM-20 can be used both for cleaning drinking water and for cleaning water from industrial and chemical pollution. The usage of UPM-20 membranes in filter systems make possible to effectively purify water from various types of pollutants, including bacteria, viruses, chemical compounds and other substances [11].

The purpose of the work was to evaluate cleaning properties of UPM-20 membrane at pressures from 1 to 5 atm using simulation of cleaning process on example model solution of sodium humate.

#### Presenting main material

The research of membrane samples was carried out on laboratory setup in non-flow installation (Fig. 3) at different pressure and during experiment each membrane was changed to new one for research reliability. Working surface of membrane is  $11.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ . The efficiency of purification through membrane was evaluated by values of permeate turbidity, color, residual turbidity, concentrate color, selectivity variable and specific productivity.



**Fig. 3. Laboratory installation for studying operational membranes properties**

The turbidity of original solution was 170 mg/dm<sup>3</sup>; chroma 1940 degrees. Filtration was carried out under pressure from 1 to 5 atm. Permeate was sampled at regular intervals every 10 min. Filtration continued until stabilization of monitored parameters, namely the volume and specific productivity (transmembrane flow rate)  $\gamma$ , which was determined by formula, m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>•hour):

$$Y = \frac{\Delta V}{S \Delta t} \tag{1}$$

where  $\Delta V$  – permeate volume, m<sup>3</sup>;  
 $S$  – filtering area, m<sup>2</sup>;  
 $\Delta t$  – filtering time, hours.

Residual color and turbidity determination of permeate was carried out on KFK-2 calorimeter. Turbidity was determined at wavelength at 670 nm, chroma at 400 nm. The obtained values of optical density were translated into chroma and turbidity units using graduation graphs method.

The selectivity  $\phi$  according to turbidity (color) of UPM-20 membrane was determined by formula, %:

$$SL = \left[ 1 - \left( \frac{C_2}{C_1} \right) \right] 100, \% \tag{2}$$

where  $C_1, C_2$  – turbidity (color) of the original solution and permeate, mg/dm<sup>3</sup> (degree).

The mathematical model construction of filtering process was carried out using Python programming language using the sklearn library for calculation and Matplotlib for constructing relevant dependencies [12–15].

As a result of the research (Fig. 4) it can be seen that each pressure value is characterized by presence of three periods of filtration process. The first period is characterized by sharp change, the second one by slower decrease in membrane parameters. As for the third period, it is characterized by almost constant process without significant changes in permeate parameters. The sharpest decrease is observed in the first 20 minutes in permeate characteristics for all pressures. During this period the material structure is maximally compacted and pores in membrane are clogged under the action of pressure.

The filtration process have stabilized after 80 minutes which can be observed from membrane performance values. Sharp drop in this indicator which happened at the beginning of the process indicates that membrane structure is compacted under pressure, porosity of sample decreases, pores in membrane become clogged and productivity decreases accordingly. It can also be assumed that pressure increasing contributes to increasing content of bound water in pores which in such conditions has higher viscosity. This also leads to decreasing in permeability in membrane material.

Membrane selectivity is important aspect during investigating membrane filtering capabilities in terms to color and turbidity. The residual color and turbidity changes of permeate is shown in Fig. 5.

The lowest residual color of permeate for UPM-20 membrane is observed in pressure of 5 atm. Permeate color remains almost unchanged after entering constant filtration mode for all investigated pressures. Pressure and duration increasing during filtration process leads to decreasing in turbidity of permeate.



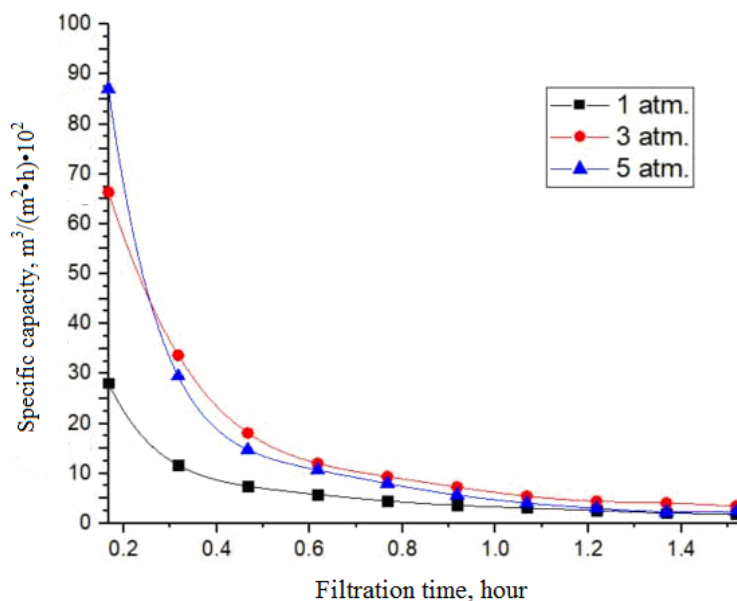


Fig. 4. Dependence of specific productivity on filtration duration of concentrate at different pressures

Pressure increasing leads to selectivity increases both in terms to color and turbidity (Fig. 6. (a) and (b)).

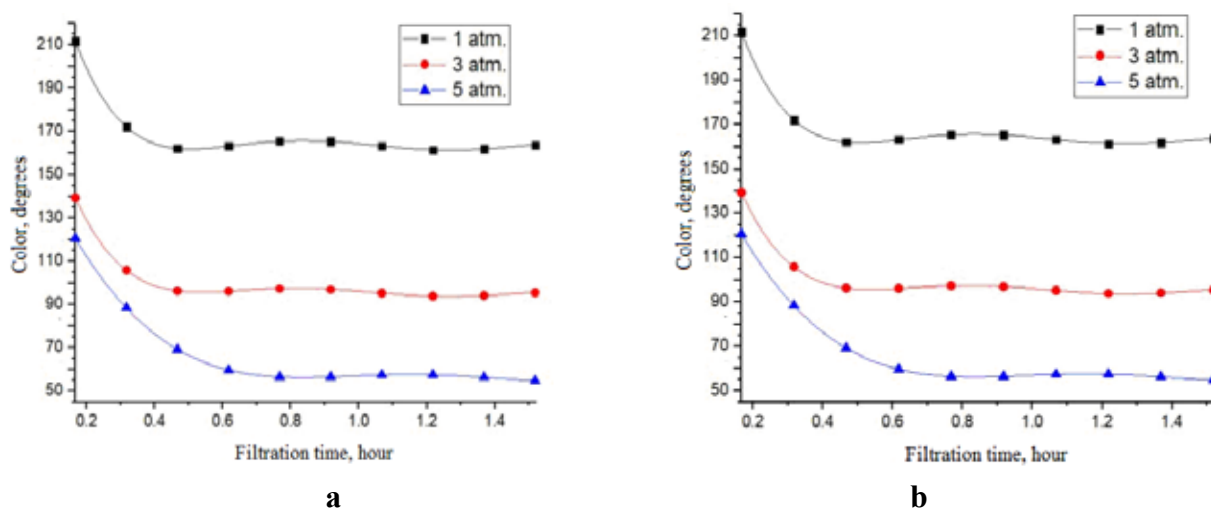
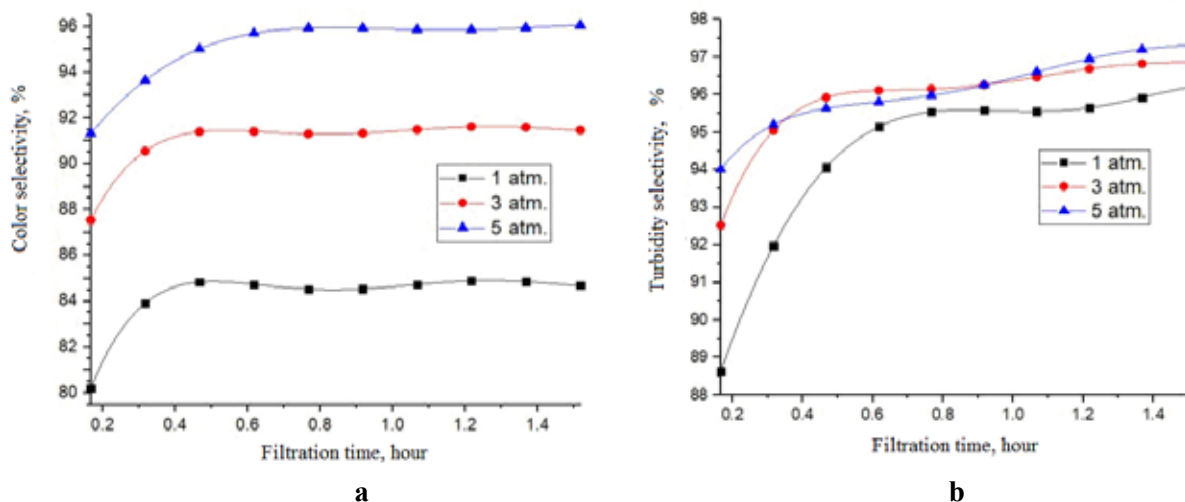


Fig. 5. Permeate color (a) and turbidity (b) dependence on filtration duration at different pressures

The best results of selectivity in terms to color were obtained for pressure 5 atm and was equal to values in range from 95.2 to 96% (filtration duration from 80 to 100 minutes). Selectivity in terms to turbidity has the highest indicators for sodium humate filtration at pressure 5 atm with duration 90 minutes and has value 97.2%.

Sampling every 10 minutes and permeate turbidity are important parameters for evaluating effectiveness of filtering process and for these parameters mathematical models were built (Fig. 7).

The dependence of experimental studies data and prediction values of mathematical model which were built using linear regression method were shown in Fig. 7 [16]. Humate purification on membrane occurs according to non-linear dependence. Non-linear equations were constructed for each studied parameter at different pressures ( $x$  – filtration duration, min.;  $Y1$  – filtration volume, ml;  $Y2$  – turbidity ml/l;  $R^2$  – approximation reliability) to confirm this model.



**Fig. 6. Selectivity dependence in terms to color (a) and turbidity (b) of permeate on filtration duration at different pressures**

Mathematical model of sodium humate filtration process:

$$Y(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 \tag{3}$$

This is curve equation of third degree or which has third degree polynomial form with respect to variable Y. This is typical cubic model example that can be used to describe sodium humate filtering process through UPM-20 membrane at pressure from 1 to 5 atm.

As a result of experimental data mathematical processing equations that describe dependence of output variables on selected technological filtering process factor were obtained:

a) Mathematical model based on volume indicator for filtering at 1 atm.

$$Y_1 = 61.583 - 1.219x + 0.0199x^2 - 0.000106x^3 \quad (R_2 = 0.9299)$$

Mathematical model based on the turbidity index for filtering at 1 atm.

$$Y_2 = 16.983 - 0.576x + 0.00955x^2 - 4.924 \cdot 10^{-5}x^3 \quad (R_2 = 0.9572)$$

b) Mathematical model based on volume indicator for filtering at 3 atm.

$$Y_1 = 168.952 - 3.371x + 0.0366x^2 - 0.000139x^3 \quad (R_2 = 0.9758)$$

Mathematical model based on the turbidity index for filtering at 3 atm.

$$Y_2 = 16.556 - 0.216x + 0.000985x^2 + 1.684 \cdot 10^{-6}x^3 \quad (R_2 = 0.9567)$$

c) Mathematical model based on volume indicator for filtering at 5 atm

$$Y_1 = 184.0476 - 3.833x + 0.0339x^2 - 9.596 \cdot 10^{-5}x^3 \quad (R_2 = 0.9852)$$

Mathematical model based on the turbidity index for filtering at 5 atm.

$$Y_2 = 15.212 - 0.405x + 0.00666x^2 - 3.636 \cdot 10^{-5}x^3 \quad (R_2 = 0.9933)$$

It can be concluded that in case of pressure increasing the volume at the initial point of filtration namely in first 10 minunes the biggest. This indicates that UPM-20 membrane pores are not blocked at the beginning of humate purification process. The coefficient  $a_1$  decreases in case of bigger pressure value which indicates decreasing in permeate volume during further filtering due to clogging pores in UPM-20 membrane with pollutants from concentrate. Filtering process continues with non-linear dependence, so pores in UPM-20 membrane become clogged with increasing filtration duration.

Similar dependence is observed during permeate turbidity index determining. Value of coefficient  $a_0$  shows that pressure increasing in filtration process has slight effect on permeate turbidity value. Coefficient  $a_1$  for 5 atm. has smaller value than at 1 and 3 atm which indicates filtering efficiency at high pressures and at the same time coefficients  $a_2$  and  $a_3$  have low values due to nonlinear dependence presence only at the beginning of sodium humate purification process.

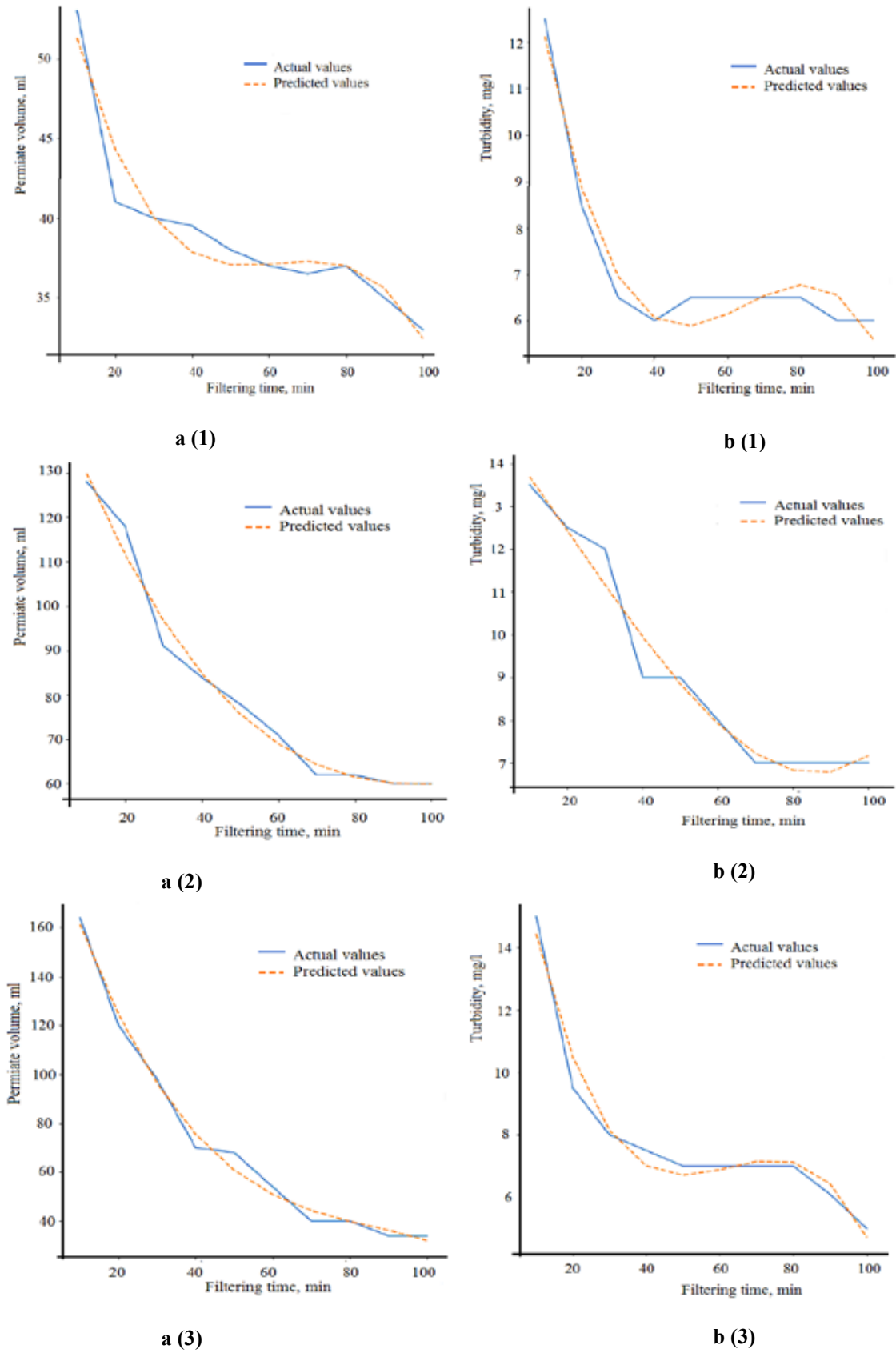


Fig. 7. Dependence of permeate volume (a) and turbidity (b) on duration filtering at different pressures: 1 – 1 atm; 2 – 3 atm; 3 – 5 atm

### Conclusions

Conducted studies of filtering properties polysulfonamide membrane UPM-20 using model solution of sodium humate showed that membrane performance decreases with increasing process pressure and duration. Membrane selectivity increases to 96.0 and 97.2% respectively in terms of permeate color and turbidity. The efficiency of removing contaminants through membrane stay better with pressure increasing but at the same time with decreasing in membrane performance.

The construction of mathematical model of filtration process was carried out. A nonlinear dependence of filtration process was obtained. Results indicates that effectiveness UPM-20 membrane under stable conditions, constant pressure have high degree of permeate purification.

### Bibliography

1. Hoffman C., Silau H., Pinelo M., Woodley J. M., Daugaard A. E. Surface modification of polysulfone membranes applied for a membrane reactor with immobilized alcohol dehydrogenase. *Separation and Purification Technology*, 2018. Vol. 14. P. 82–89. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.12.019>
2. Barth C. Asymmetric polysulfone and polyethersulfone membranes: effects of thermodynamic conditions during formation on their performance. *Membr. Science*, 2000. Vol. 169. P. 287–299. URL: [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(99\)00344-0](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(99)00344-0)
3. Gardi I., Mishael Y. G. Designing a regenerable stimuli-responsive grafted polymer-clay sorbent for filtration of water pollutants. *Science and Technology of Advanced Materials*, 2018. Vol. 19 (1). P. 588–598. URL: <https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1499381>
4. Medici S., Peana M., Grisponi G., Nourchi V. Silver coordination compounds: A new horizon in medicine. *Coordination Chemistry Reviews*, 2016. Vol. 327-32. P. 349–359. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2016.05.015>
5. Fionah A., McLarney K., Judd A., Escobar I. Effects of the Applied Potential on the Performance of Polysulfone Membranes Functionalized with Sulfonated Polyether Ether Ketone Polymers. *Membranes*, 2023. Vol. 13(7). P. 1–24. URL: <https://doi.org/10.3390/membranes13070675>
6. D. M. Warsinger, S. Chakraborty, E. W. Tow, D. Jassby. A review of polymeric membranes and processes for potable water reuse. *Progress in Polymer Science*, 2018. Vol. 81. P. 209–234.
7. Mou P., Jons S. D. Chemistry and fabrication of polymeric nanofiltration membranes. *Polymer*, 2016. Vol. 103. P. 417–456. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2016.07.085>
8. Templeman K., Casanova S., Benes N. E. The effect of hydrocarbon pollution on polysulfone-based membranes in aqueous separations. *Separation and Purification Technology*, 2019. Vol. 224. P. 348–355. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.013>
9. Kim I. C., Yun H. G., Lee K. H. Preparation of asymmetric polyacrylonitrile membrane with small pore size by phase inversion and post-treatment process. *Journal of Membrane Science*, 2002. Vol. 199. P. 75–84.
10. Tai-Horng Y., Jhi-Hsien H., Wen-Yuan C. Effect of evaporation temperature on the formation of particulate membranes from crystalline polymers by drycast process. *Eur. Polym. J.*, 2002. Vol. 38(1). P. 63–72. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0014-3057\(01\)00183-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0014-3057(01)00183-5)
11. Feng L., Jun Z., Xiaolin W., Jianfei C., Zhongzi X. Gaofenzi xuebao. *Acta. Polym. Sin.*, 2002. Vol. 5. P. 566–571.
12. He Y., Uehara S., Takana H., Nishiyama H. Numerical Modelling and Simulation of Chemical Reactions in a Nano-Pulse Discharged Bubble for Water Treatment. *Plasma Science and Technology*, 2016. Vol.18 (9). P. 924–932. URL: <http://dx.doi.org/10.1088/1009-0630/18/9/09>
13. Nadezhdin I., Papisidero D., Goryunov A., Manenti F. Optimisation of EDM process for water purification. *Chemical Engineering Transactions*, 2016. Vol. 52. P. 325–330. URL: <https://doi.org/10.3303/CET1652055>
14. Oleynik O., Airapetian T., Kurganska S. Evaluation of the performance of aerotanks due to add-on attached biocenosis. *Science and Transport Progress*, 2019. Vol. 4(82). P. 37–46. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2019/175883>
15. Rezakazemi M., Ghafarinazari A., Shirazian S., Hoshima A. Numerical Modeling and Optimization of Wastewater Treatment Using Porous Polymeric Membranes. *Polymer Engineering and Science*, 2013. Vol. 53(6). P. 1272–1278. URL: <http://dx.doi.org/10.1002/pen.23375>
16. Viccione G., Evangelista S. Experimental and numerical analysis of the hydraulic performance of filtering cartridges for water treatment. *HIC 2018. 13th International Conference on Hydroinformatics. EPiC Series in Engineering*. Palermo, Italy, July 1–6, 2018. P. 2187–2195. URL: <https://doi.org/10.29007/b26c>

### References

1. Hoffman C., Silau H., Pinelo M., Woodley J. M., Daugaard A. E. (2018). Surface modification of polysulfone membranes applied for a membrane reactor with immobilized alcohol dehydrogenase. *Separation and Purification Technology*, 14, 82–89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.12.019>

2. Barth C. (2000). Asymmetric polysulfone and polyethersulfone membranes: effects of thermodynamic conditions during formation on their performance. *Membr. Science*, 169, 287–299. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(99\)00344-0](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(99)00344-0)
3. Gardi I., Mishael Y. G. (2018). Designing a regenerable stimuli-responsive grafted polymer-clay sorbent for filtration of water pollutants. *Science and Technology of Advanced Materials*, 19(1), 588–598. <https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1499381>
4. Medici S., Peana M., Grisponi G., Nourchi V. (2016). Silver coordination compounds: A new horizon in medicine. *Coordination Chemistry Reviews*, 327-32, 349–359. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2016.05.015>
5. Fionah A., McLarney K., Judd A., Escobar I. (2023). Effects of the Applied Potential on the Performance of Polysulfone Membranes Functionalized with Sulfonated Polyether Ether Ketone Polymers. *Membranes*, 13(7), 1–24. <https://doi.org/10.3390/membranes13070675>
6. D. M. Warsinger, S. Chakraborty, E. W. Tow, D. Jassby. (2018). A review of polymeric membranes and processes for potable water reuse. *Progress in Polymer Science*, 81, 209–234.
7. Mou P., Jons S. D. (2016). Chemistry and fabrication of polymeric nanofiltration membranes. *Polymer*, 103, 417–456. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2016.07.085>
8. Templeman K., Casanova S., Benes N. E. (2019). The effect of hydrocarbon pollution on polysulfone-based membranes in aqueous separations. *Separation and Purification Technology*, 224, 348–355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.013>
9. Kim I. C., Yun H. G., Lee K. H. (2002). Preparation of asymmetric polyacrylonitrile membrane with small pore size by phase inversion and post-treatment process. *Journal of Membrane Science*, 199, 75–84.
10. Tai-Horng Y., Jhi-Hsien H., Wen-Yuan C. (2002). Effect of evaporation temperature on the formation of particulate membranes from crystalline polymers by drycast process. *Eur. Polym. J.*, 388(1), 63–72. [http://dx.doi.org/10.1016/S0014-3057\(01\)00183-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0014-3057(01)00183-5)
11. Feng L., Jun Z., Xiaolin W., Jianfei C., Zhongzi X. (2002) Gaofenzi xuebao. *Acta. Polym. Sin.*, 5, 566–571.
12. He Y., Uehara S., Takana H., Nishiyama H. (2016). Numerical Modelling and Simulation of Chemical Reactions in a Nano-Pulse Discharged Bubble for Water Treatment. *Plasma Science and Technology*, 18 (9), 924–932. <http://dx.doi.org/10.1088/1009-0630/18/9/09>
13. Nadezhdin I., Papisidero D., Goryunov A., Manenti F. (2016). Optimisation of EDM process for water purification. *Chemical Engineering Transactions*, 52, 325–330. <https://doi.org/10.3303/CET1652055>
14. Oleynik O., Airapetian T., Kurganska S. (2019). Evaluation of the performance of aerotanks due to add-on attached biocenosis. *Science and Transport Progress*, 4(82), 37–46. <https://doi.org/10.15802/stp2019/175883>
15. Rezakazemi M., Ghafarinazari A., Shirazian S., Hoshima A. (2013). Numerical Modeling and Optimization of Wastewater Treatment Using Porous Polymeric Membranes. *Polymer Engineering and Science*, 53(6), 1272–1278. <http://dx.doi.org/10.1002/pen.23375>
16. Viccione G., Evangelista S. (2018). Experimental and numerical analysis of the hydraulic performance of filtering cartridges for water treatment. *HIC 2018. 13th International Conference on Hydroinformatics. EPIc Series in Engineering*. Palermo, Italy, July 1–6, 2187–2195. <https://doi.org/10.29007/b26c>

**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

**В. В. СИНІЦЬКА**

бакалавр кафедри технології неорганічних речовин,  
водоочищення та загальної хімічної технології  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0009-0004-7272-0207

## ОСОБЛИВОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ВІД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ПРИКЛАДІ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМУ. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

*Гальваніка – галузь промисловості, яка займається нанесенням захисних і декоративних покриттів на металеві та неметалеві вироби. Гальваніка – електрохімічний процес. Електричний ланцюг містить електроліт, два аноди, підключені до джерела струму, і заготовку, що обробляється, яка виступає в ролі катода. Коли через нього проходить електричний струм, іони металу відновлюються на катоді в електроліті, утворюючи тонку плівку при осадженні на поверхні виробу.*

*Процес гальваніки відбувається в спеціалізованих ваннах (електролізерах). У ванну завантажують електроліт, до складу якого входять солі металу, що осідає на поверхні катода. Для очищення промислових стічних вод використовуються лужні та кислі промивні води. Концентрованими стічними водами, витрата яких визначається об'ємом ванни і складом розчину, є відпрацьований технологічний розчин у ванні або промивні води з іншої технологічної операції. 90–95% гальванічної води використовується на промивні операції. При цьому близько 80% маси всіх шкідливих речовин у стічних водах надходить зі стічними водами і розчинами електролітів.*

*Різні процеси, пов'язані з гальванікою, призводять до утворення стічних вод різного складу. Загалом, для кожної групи забруднювачів існують свої методи очищення.*

*Значної шкоди довкіллю завдають виробництва, які продукують стічні води, що містять хром. Якщо забруднені промислові стічні води скидати у водойму без попереднього очищення, це може призвести до серйозних порушень біологічного режиму водойми. Сполуки хрому є канцерогенними і мають шкідливий вплив на живі організми. У гальванічній промисловості стічні води, забруднені сполуками хрому, утворюються під час хромування, травлення та очищення виробів після пасивації поверхонь деталей. Через використання шестивалентного хрому ці стічні води необхідно відокремлювати і попередньо очищати в окремій системі.*

*Перевагою реагентного очищення стічних вод є його економічність і простота. Однак цей метод вимагає споживання великої кількості реагентів, громіздкого обладнання та утилізації великої кількості шламу.*

**Ключові слова:** гальванічний процес, електролізер, іони важких металів, хром, стічні води.

**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

**V. V. SYNITSKA**

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: 0009-0004-7272-0207

**PECULIARITIES OF WASTEWATER TREATMENT OF ELECTROPLATING INDUSTRIES  
FROM HEAVY METALS ON THE EXAMPLE OF HEXAVALENT CHROMIUM.  
ENVIRONMENTAL ASPECTS**

*Electroplating is an industrial sector that applies protective and decorative coatings to metal and non-metal products. Electroplating is an electrochemical process. An electrical circuit contains an electrolyte, two anodes connected to a current source, and the workpiece to be processed, which acts as a cathode. When an electric current is passed through, metal ions are reduced on the cathode in the electrolyte, forming a thin film when deposited on the surface of the product.*

*The electroplating process takes place in specialized baths (electrolyzers). An electrolyte is loaded into the bath, which includes salts of the metal deposited on the cathode surface. Alkaline and acidic wash water is used to treat industrial wastewater. Concentrated wastewater, the consumption of which is determined by the volume of the bath and the composition of the solution, is the spent process solution in the bath or rinsing water from another process operation. 90–95% of electroplating water is used for rinsing operations. At the same time, about 80% of the mass of all harmful substances in wastewater comes from wastewater and electrolyte solutions.*

*Various processes related to electroplating produce wastewater of different composition. In general, each group of pollutants has its own treatment methods.*

*Industries that produce chromium-containing wastewater cause significant environmental damage. If contaminated industrial wastewater is discharged into a water body without prior treatment, it can lead to serious disruption of the biological regime of the water body. Chromium compounds are carcinogenic and have a harmful effect on living organisms. In the electroplating industry, wastewater contaminated with chromium compounds is generated during chrome plating, pickling, and cleaning of products after passivation of component surfaces. Due to the use of hexavalent chromium, this wastewater must be separated and pretreated in a separate system.*

*The advantage of reagent wastewater treatment is its cost-effectiveness and simplicity. However, this method requires the consumption of large quantities of reagents, bulky equipment, and the disposal of large amounts of sludge.*

**Key words:** *electroplating process, electrolyzer, heavy metal ions, chromium, wastewater.*

### Introduction

Electroplating is an industrial sector that applies protective and decorative coatings to metal and non-metal products.

Electroplating is an electrochemical process. An electrical circuit contains an electrolyte, two anodes connected to a current source, and the workpiece to be processed, which acts as a cathode. When an electric current is passed through the electrolyte, metal ions are reduced at the cathode, forming a thin film when deposited on the surface of the product [1–3].

Electroplating is used to improve the protective properties and decorative characteristics of products. It is used if it is impossible to make a whole product from metal or if the cost of the product is too high. A good example is chrome. The production of parts and objects from chrome is impossible because this metal is hard, but also has a brittle property. Nevertheless, when chrome is applied to steel, it makes it harder and more resistant to corrosion. The most common processes are galvanizing, nickel plating, chrome plating, copper plating, silver plating, and gilding [4–7].

The electroplating process takes place in specialized baths (electrolyzers). An electrolyte is loaded into the bath, which includes salts of the metal that is deposited on the cathode surface. Electrodes are connected to the bath and the product to allow electric current to flow. The positive charge is connected to the anodes, and the negative charge is connected to the workpiece. When the galvanic system is started, an electric current pass through the electrolyte. The metal contained in the electrolyte is deposited on the workpiece in a uniform layer. Two anodes in the electrolysis tank are used to treat both surfaces simultaneously [8].

Each galvanic process consists of various operations that can be divided into three groups:

- Preparatory work. Before starting the main electroplating process, the components must be cleaned. At this stage, the parts are processed, degreased, etched, and polished.
- The main process is the application of a suitable metal coating using electroplating techniques.
- Finishing processes are necessary to maintain and improve the appearance of galvanic coatings. For this purpose, painting, polishing, and varnishing are commonly used [9–12].

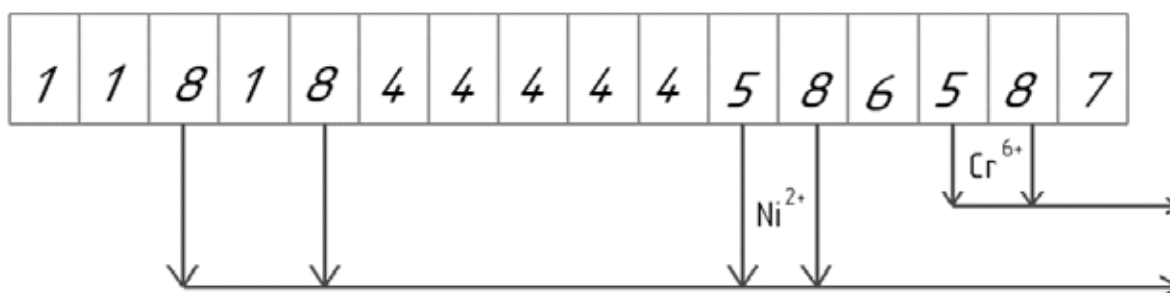
The purpose of degreasing is to remove organic oils, mineral oils, and various solids retained in the oil film from the surface of the film components. Alkaline degreasing agents should contain substances that neutralize fatty acids and emulsifiers. They should also not cause corrosion of metals and should be easily removed with water. These conditions are best met by silicates and phosphates of alkali metals. Surfactants with good emulsifying properties are also added. After degreasing, the solution is sent for refining [13].

Before painting, metal surfaces must be cleaned of scale, rust, and oxide films by pickling. The pickling process usually follows the degreasing process, and the quality of cleaning directly depends on the quality of the previous degreasing process. Pickling is carried out with solutions based on sulfuric, nitric, chloric, and phosphoric acids. Chloric acid mainly dissolves and removes oxides on the surface of the part. When sulfuric acid is used, oxides are removed mainly by etching the metal and mechanically removing a loose oxide film with the help of hydrogen released. The solution after pickling should be aimed at removing harmful contaminants [14].

Therefore, alkaline, and acidic wash water is used to treat industrial wastewater. Concentrated wastewater, the consumption of which is determined by the volume of the bath and the composition of the solution, is the spent process solution in the bath or rinsing water from another process operation. 90–95 % of electroplating water is used for rinsing operations. At the same time, about 80 % of the mass of all harmful substances in wastewater comes from wastewater and electrolyte solutions [15, 16].

The quantity, quantitative and qualitative composition of wastewater depends on the water consumption for washing, the cleaning method, and the composition of the technical solution.

For example, consider a galvanic line with a capacity of 26 m<sup>2</sup>/h of nickel and 2 m<sup>2</sup>/h of chromium with a decorative nickel-chromium coating and a stationary hand bath for one-stage purification (Fig. 1).



**Fig. 1. Galvanic lines for applying decorative coatings (nickel and chrome) with a nickel-plating capacity of 26 m<sup>2</sup>/h and a chrome plating capacity of 2 m<sup>2</sup>/h: 1 – degreasing, 4 – nickel plating, 5 – metal recovery, 6 – chrome plating, 7 – drying of components, 8 – cold rinsing**

In this method, the acid-base drainage consists of alkaline rinse water after degreasing 1, acid rinse water after nickel plating 4, and process fluids. Concentrate wastewater is represented by rinsing water and wastewater after chrome plating 6. The volume and composition of the wastewater of such a galvanic line are shown in Table 1 [17–19].

Table 1

**Composition of wastewater from the electroplating line [19]**

Component	Max. concentration of the component in the bath, g/L	Max. component outreach, g/h	Maximum concentration of components in wastewater, mg/L
NaOH	36	263	15
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	35	263	15
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	35	263	15
HCl	100	500	28
NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	320	1600	89
NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	60	300	17
H <sub>3</sub> BO <sub>4</sub>	40	200	11
Formalin	1.2	6	0.3
Chloramine B	2.5	13	0.7
CrO <sub>3</sub>	250	225	49
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.5	2.3	0.5
Chromoxane	0.2	0.2	0.04

The choice of equipment and flushing method determines the quantitative and qualitative composition of flushing and wastewater, which in turn determines the composition and efficiency of the treatment plant [20].

**Methods of wastewater treatment of electroplating production**

The various processes involved in electroplating produce wastewater of varying composition. Depending on the phase state of the substances in solution, all pollutants in wastewater can be divided into the following groups:

- Fine suspensions, emulsions.
- Polymeric compounds, colloids.
- Organic substances dissolved in water.
- Salts, acids, and alkalis dissolved in water.

In general, each of these groups of pollutants has its own treatment methods. For example, gravity, flotation, and adhesion are the most effective methods for treating water from fine suspensions and emulsions. For colloidal systems, coagulation methods are used. Dissolved organic substances are most effectively removed from water by adsorption methods



of purification, while salts, acids and alkalis dissolved in electrolytes are most effectively removed from water by reactive methods or desalination methods by converting ions into insoluble compounds [21].

If we classify purification methods by the dominant process (or main equipment), they can be divided into seven groups: mechanical, chemical, flocculation-suspension, electrochemical, sorption, membrane, and biological.

However, these methods alone cannot fully satisfy modern requirements, treatment in accordance with MPC standards (especially heavy metal ions), 90–95 % of water returns to the circulation cycle, lower treatment costs, and utilization of valuable resources (acids, alkalis, metals) [21].

**Treatment of hexavalent chromium waste with reagents**

Industries that produce chromium-containing wastewater cause significant environmental damage. If contaminated industrial wastewater is discharged into a water body without prior treatment, it can lead to serious disruption of the biological regime of the water body. Chromium compounds are carcinogenic and have a harmful effect on living organisms.

In the electroplating industry, wastewater contaminated with chromium compounds is generated during chrome plating, pickling, and cleaning of products after passivation of component surfaces. Due to the use of hexavalent chromium, this wastewater must be separated and pretreated in a separate system [22].

This wastewater is subjected to a two-stage hexavalent chromium recovery process:

- Conversion of hexavalent chromium to trivalent chromium.
- Precipitation as trivalent chromium hydroxide.

Waste metallic iron (iron powder) or iron (II) sulfate can be used as reducing agents. In the first case, the wastewater is acidified to pH 2 and filtered through a foam layer of iron powder with a continuous supply of air. In the second case, a solution of ferrous (II) sulfate (in the form of a 10 % aqueous solution) is added to the reactor receiving the wastewater. The reduction of Cr<sup>6+</sup> to Cr<sup>3+</sup> by iron salts occurs at a very high rate.

The advantage of this method is its cost-effectiveness: only a small amount of ferrous (II) sulfate is required to reduce Cr<sup>6+</sup> to Cr<sup>3+</sup>, regardless of the initial Cr<sup>6+</sup> concentration and pH value in the wastewater. The disadvantage of using ferrous (II) sulfate and ferrous metal as reducing agents is that a large amount of precipitate is generated during the neutralization process. In addition, when stored in unfavorable conditions, iron (II) is easily oxidized to iron (III), which makes it difficult to properly dose the salt solution into the wastewater [23].

The salts are added to the wastewater in the form of a 10% aqueous solution; the speed and completeness of the Cr<sup>6+</sup> to Cr<sup>3+</sup> reduction reaction strongly depends on the pH of the reaction mixture. The highest rate of the reduction reaction is achieved in an acidic environment with a pH of 2–2.5 and usually requires further acidification of the wastewater with a 10–15% sulfuric acid solution (solutions of other mineral acids can also be used). An overdose of the reagent, even at the level of 10%, is unacceptable, as complex salts of chromium (III) and sulfuric acid are formed, which are destroyed during further neutralization of the wastewater.

After the reduction of Cr<sup>6+</sup> in an acidic environment is completed, the wastewater is sent for neutralization, and the reaction results in the precipitation of Cr<sup>3+</sup> in the form of hydroxides.

The wastewater containing Cr<sup>3+</sup> is pre-mixed with acidic and basic wastewater from electroplating production and neutralized.

Table 2 shows the theoretical reagent consumption required to remove 1 kg of CrO<sub>3</sub> from wastewater. [23].

Thus, it can be concluded that the usage of NaHSO<sub>3</sub> as a reducing agent is the most suitable method for removing harmful Cr<sup>6+</sup>. The amount of precipitate formed after neutralization is almost the same in all cases, but the consumption of reagents is the lowest for the chosen method.

Table 2

**Stoichiometric flow rate of the reagent and mass of the precipitate formed during the neutralization of 1 kg of CrO<sub>3</sub>**

Reductant	Consumption of the reductant, kg	Consumption of H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , kg	Consumption of NaOH, kg	Mass of sludge, kg
FeSO <sub>4</sub>	8.340	2.940	4.800	4.230
NaHSO <sub>3</sub>	1.561	0.735	1.200	4.414
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1.891	1.470	1.200	5.576

The strong point of reagent wastewater treatment is its cost-effectiveness and simplicity. However, this method requires the consumption of large amounts of reagents, bulky equipment, and the disposal of large amounts of sludge. In addition, after the reactive removal of heavy metals in the form of hydroxides, small residual concentrations of these metals remain in the wastewater. The final treatment can be carried out by various methods, such as ion exchange, electrolocation, electrodialysis, reverse osmosis, and ultrafiltration [24].

## Bibliography

1. Tatarintseva E.A., Arefieva O.A., Olshanskaya L.N. Extraction of copper and zinc ions from wastewater by a sorbent based on chitosan. *Theoretical and Applied Technology*. 2023. Vol. 1. P. 148–153.
2. Favero B.M., Favero A.C., Da Silva D.C. Treatment of galvanic effluent through electrocoagulation process: Cr, Cu, Mn, Ni removal and reuse of sludge generated as inorganic pigment. *Environmental Technology (United Kingdom)*. 2022. Vol. 43, № 20. P. 3107–3120.
3. Kozodaev A.S., Shulzhenko A.D., Korpusova Y.V. Representation of the galvanic coagulation process using a mathematical model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 815. № 1. P. 271–274.
4. Youssef M., Moukhtar N., Hassan I. Recovery of Heavy Metals from Liquid Effluent by Galvanic Cementation. *Mining, Metallurgy and Exploration*. 2021. Vol. 38. № 1. P. 177–186.
5. Petrichenko S.V., Tsolin P.L., Yushchishina A.N. Electrospark Purification of Galvanic Effluents from Heavy Metal Ions in the Flow Reactor. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2021. Vol. 57. № 1. P. 148–153.
6. Petrov O., Petrichenko S., Yushchishina A. Electrospark method in galvanic wastewater treatment for heavy metal removal. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020. Vol. 10. № 15. P. 284–295.
7. Trus I., Gomelya M., Vorobyova V. Effectiveness of complexation-nanofiltration during water purification from copper ions. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2021. Vol. 56. № 5. P. 1008–1015.
8. Kardasz E., Kardasz P., Pohrebennyk V. Evaluation of the influence of machine-building plant on the state of environment. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019. Vol. 19. № 4.1. P. 193–201.
9. Sofinska-Chmiel W., Kolodynska D. Application of ion exchangers for the purification of galvanic wastewater from heavy metals. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*. 2018. Vol 53. № 7. P. 1097–1106.
10. Luz G., Sales V. Evaluation of technology potential of Aloe arborescens biopolymer in galvanic effluent treatment. *Water Science and Technology*. 2018. Vol. 2017. № 1. P. 48–57.
11. Wysokowsky M., Bartczak P., Chudzinska A. Adhesive Stalks of Diatom *Didymosphenia geminata* as a Novel Biological Adsorbent for Hazardous Metals Removal. *Clean – Soil, Air, Water*. 2017. Vol. 45. № 11. P. 28–43.
12. Abbas A., Hussain M., Sher M. Design, characterization, and evaluation of hydroxyethylcellulose based novel regenerable supersorbent for heavy metal ions uptake and competitive adsorption. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017. Vol. 102. P. 170–180.
13. Kvarntenko A., Orlov V., Pletuk O. Research into the biosorption process of heavy metal ions by the sediments from stations of biological iron removal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 4. № 10. P. 37–43.
14. Fu F., Cheng Z. Fe/Al bimetallic particles for the fast and highly efficient removal of Cr (VI) over a wide pH range: performance and mechanism. *Journal of Hazardous Materials*. 2015. Vol. 298. P. 261–269.
15. He Y., Wei Y., Wang H. Notice of retraction: study on disposal of groundwater containing Cr (VI) – the case of waste iron chippings-fly ash and Fe-fly ash. *5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, iCBBE 2011*. 2011. Vol. 1. P. 12–17.
16. Marquinez R., Pourcelly G., Bauer B. Chromic acid recycling from rinse water in galvanic plants by electro-dialysis (recy-chrom). *REWAS'04 – Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology*. 2005. Vol. 2005. P. 1039–1048.
17. Ковальчук І.А., Тобілко В.Ю., Бондарєва А.І. Очищення вод від іонів важких металів із використанням нанорозмірних FeO/каоолініт композитів. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2020. № 11. P. 96–103.
18. Grebenyuk V.D., Verbich V.D., Sorokin G.V. Regeneration of heavy metals from galvanic rinsing water. *Khimiya i Tekhnologiya Vody*. 1996. Vol. 18. № 4. P. 379–383.
19. Zoria O., Ternovtsev O., Kapanytsia Y. Resource-saving technology of industrial wastewater treatment from nickel compounds. *AIP Conference Proceedings*. 2021. Vol. 2534. P. 176–184.
20. Naser H. Assessment and management of heavy metal pollution in the marine environment of the Arabian Gulf: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2013. Vol. 72. № 1. P. 6–13.
21. Su R., Zolotarev A. Novel mixed matrix membranes based on polyelectrolyte complex modified with fullerene derivatives for enhanced pervaporation and nanofiltration. *Separation and purification technology*. 2022. Vol. 298. P. 124–132.
22. Yeh L., Yeh C., Kao Yu. Inactivation of *Escherichia coli* by dual-functional zerovalent Fe/Al composites in water. *Chemosphere*. 2022. Vol 299. P. 378–392.
23. Lupascu T., Sandu M. The road to environmental chemistry in republic of Moldova paved by the illustrious scientist and renowned ecologist Valeriu Ropot. *Chemistry Journal of Moldova*. 2022. Vol 17. № 2. P. 7–18.
24. Li M., Shang H., Li H. Kirkendall effect boosts phosphorylated nZVI for efficient heavy metal wastewater treatment. *Angewandte Chemie – International Edition*. 2021. Vol. 60. № 31. P. 17115–17122.

## References

1. Tatarintseva E. A., Arefieva O. A., Olshanskaya L. N. (2023) Extraction of copper and zinc ions from wastewater by a sorbent based on chitosan. *Theoretical and Applied Technology*, vol. 1, pp. 148–153.
2. Favero B. M., Favero A. C., Da Silva D. C. (2022) Treatment of galvanic effluent through electrocoagulation process: Cr, Cu, Mn, Ni removal and reuse of sludge generated as inorganic pigment. *Environmental Technology (United Kingdom)*, vol. 43, no. 20, pp. 3107–3120.
3. Kozodaev A. S., Shulzhenko A. D., Korpusova Y. V. (2021) Representation of the galvanic coagulation process using a mathematical model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 815, no. 1, pp. 271–274.
4. Youssef M., Moukhtar N., Hassan I. (2021) Recovery of Heavy Metals from Liquid Effluent by Galvanic Cementation. *Mining, Metallurgy and Exploration*, vol. 38, no. 1, pp. 177–186.
5. Petrichenko S. V., Tsolin P. L., Yushchishina A. N. (2021) Electrospark Purification of Galvanic Effluents from Heavy Metal Ions in the Flow Reactor. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, vol. 57, no. 1, pp. 148–153.
6. Petrov O., Petrichenko S., Yushchishina A. (2020) Electrospark method in galvanic wastewater treatment for heavy metal removal. *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 15, pp. 284–295.
7. Trus I., Gomelya M., Vorobyova V. (2021) Effectiveness of complexation-nanofiltration during water purification from copper ions. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, vol. 56, no. 5, pp. 1008–1015.
8. Kardasz E., Kardasz P., Pohrebennyk V. (2019) Evaluation of the influence of machine-building plant on the state of environment. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, vol. 19, no. 4.1, pp. 193–201.
9. Sofinska-Chmiel W., Kolodynska D. (2018) Application of ion exchangers for the purification of galvanic wastewater from heavy metals. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, vol. 53, no. 7, pp. 1097–1106.
10. Luz G., Sales V. (2018) Evaluation of technology potential of Aloe arborescens biopolymer in galvanic effluent treatment. *Water Science and Technology*, vol. 2017, no. 1, pp. 48–57.
11. Wysokowsky M., Bartzak P., Chudzinska A. (2017) Adhesive Stalks of Diatom *Didymosphenia geminata* as a Novel Biological Adsorbent for Hazardous Metals Removal. *Clean – Soil, Air, Water*, vol. 45, no. 11, pp. 28–43.
12. Abbas A., Hussain M., Sher M. (2017) Design, characterization, and evaluation of hydroxyethylcellulose based novel regenerable supersorbent for heavy metal ions uptake and competitive adsorption. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 102, pp. 170–180.
13. Kvarntenko A., Orlov V., Pletuk O. (2017) Research into the biosorption process of heavy metal ions by the sediments from stations of biological iron removal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 10, pp. 37–43.
14. Fu F., Cheng Z. (2015) Fe/Al bimetallic particles for the fast and highly efficient removal of Cr (VI) over a wide pH range: performance and mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 298, pp. 261–269.
15. He Y., Wei Y., Wang H. (2011) Notice of retraction: study on disposal of groundwater containing Cr (VI) – the case of waste iron chippings-fly ash and Fe-fly ash. *5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, iCBBE 2011*, vol. 1, pp. 12–17.
16. Marquinez R., Pourcelly G., Bauer B. (2005) Chromic acid recycling from rinse water in galvanic plants by electro-dialysis (recy-chrom). *REWAS'04 – Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology*, vol. 2005, pp. 1039–1048.
17. Kovalchuk I. A., Tobilko V. IU., Bondarieva A. I. (2020) Ochyshchennia vod vid ioniv vazhkykh metaliv iz vykorystanniam nanorozmirnykh Fe0/kaolinit kompozytiv. [Water purification from heavy metal ions using nanoscale Fe0/kaolinite composites]. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, no. 11, pp. 96–103.
18. Grebenyuk V. D., Verbich V. D., Sorokin G. V. (1996) Regeneration of heavy metals from galvanic rinsing water. *Khimiya i Tekhnologiya Vody*, vol. 18, no. 4, pp. 379–383.
19. Zoria O., Ternovtsev O., Kapanytsia Y. (2021) Resource-saving technology of industrial wastewater treatment from nickel compounds. *AIP Conference Proceedings*, vol. 2534, pp. 176–184.
20. Naser H. (2013) Assessment and management of heavy metal pollution in the marine environment of the Arabian Gulf: A review. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 72, no. 1, pp. 6–13.
21. Su R., Zolotarev A. (2022) Novel mixed matrix membranes based on polyelectrolyte complex modified with fullerene derivatives for enhanced pervaporation and nanofiltration. *Separation and purification technology*, vol. 298, pp. 124–132.
22. Yeh L., Yeh C., Kao Yu. (2022) Inactivation of *Escherichia coli* by dual-functional zerovalent Fe/Al composites in water. *Chemosphere*, vol. 299, pp. 378–392.
23. Lupascu T., Sandu M. (2022) The road to environmental chemistry in republic of Moldova paved by the illustrious scientist and renowned ecologist Valeriu Ropot. *Chemistry Journal of Moldova*, vol. 17, no. 2, pp. 7–18.
24. Li M., Shang H., Li H. (2021) Kirkendall effect boosts phosphorylated nZVI for efficient heavy metal wastewater treatment. *Angewandte Chemie – International Edition*, vol. 60, no. 31, pp. 17115–17122.

С. О. ЧУРСОВ

аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-6746-530X

## ПРОЦЕСИ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПОРУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

У даній роботі розглянута модель процесу деградації матеріалів пневматичних шин при накопиченні пошкоджень в залежності від хімічного, термічного та термомеханічного старіння. Запропоновано детально розглянути поведінку гумо-еластомерів через вивчення явища опору матеріалів до зміни характеристик та механічних властивостей пневматичних шин. Шини піддаються внутрішнім і зовнішнім впливам, які більшою чи меншою мірою можуть спричинити граничні стани, що призводять до процесів деградації. Під час експлуатації шина піддається комбінованому навантаженню як з механічної (статичної, динамічної), так і з температурної точки зору: точковий нагрів у підзонах, загальний критичний нагрів у зоні протектора шини, що виникає в шинах при розриві. Агресивне середовище (наприклад, дія солей взимку) активізує процес корозії на поверхні металокорду, що може призвести до зниження адгезії між армованими елементами та матрицею, що проявляється негативними змінами властивостей матеріалів так і шини в цілому. Причини утворення основних процесів, що супроводжують деградацію потребують узагальнення та систематизації, а також детального вивчення. Розглянуті зовнішні пошкоджуючі фактори - хімічна дифузія (морська сіль, відпрацьоване мастило). Морфологію поверхні, механічні та термічні властивості композиту, вплив гідротермічного старіння на властивості композиту виявлено шляхом дослідження мікроструктури, термічних і механічних властивостей. Показано, що зі зміною температури істотно змінюється опір матеріалів та процес окислення: так, якщо при кімнатній температурі більшість металів окислюється за логарифмічною залежністю, то зі зростанням температури змінюються захисні властивості оксидної плівки і відповідно змінюється і закон окислення: від логарифмічного до лінійного. Дані по окисленню та деградації матеріалів пневматичних шин, їхня стійкість до опору термічним напругам які призводять до розтріскування і накопичення пошкоджень в матеріалах пневматичних шин в різноматних агресивних експлуатаційних середовищах, в умовах які були зімітовані до реальної експлуатації детально досліджувались в даній роботі.

**Ключові слова:** деградація матеріалів, кінетика накопичення пошкоджень, термомеханічні впливи гума, еластомери, корд, композиції.

S. O. CHURSOV

Postgraduate Student at the Department of Automation, Robotics  
and Mechatronics  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-6746-530X

## PROCESSES OF DEGRADATION OF PNEUMATIC TIRE MATERIALS AND ENSURING THE RESISTANCE OF MECHANICAL PROPERTIES

In this work, a model of the process of degradation of pneumatic tire materials is created during the accumulation of damage depending on chemical, thermal and thermomechanical aging. It is proposed to consider in detail the behavior of rubber-elastomers through the study of the phenomenon of resistance of materials to changes in the characteristics and mechanical properties of pneumatic tires. Tires are exposed to internal and external influences, which to a greater or lesser extent can cause limit states leading to degradation processes. During operation, the tire is subjected to a combined load from both a mechanical (static, dynamic) and a temperature point of view: precise heating in the sub-zones, general critical heating in the tire tread area, which intensifies in the tires during rupture. An aggressive environment (for example, the action of salts in winter) activates the corrosion process on the surface of the metal cord, which can lead to a decrease in the adhesion between the reinforced elements and the matrix, which causes negative changes in the properties of the materials and the tire as a whole. The causes of the formation of the main processes that accompany degradation require generalization and systematization, as well as detailed study. Considered external damaging factors of chemical diffusion (sea force, used oil). The surface morphology, mechanical and thermal properties of the composition, the effect of hydrothermal aging on the properties of the composition were revealed by studying the microstructure, thermal and mechanical properties. It is shown that the resistance of materials and the oxidation process change significantly with a change in temperature: for example, if at room temperature large metals are oxidized according to a logarithmic dependence, then as the temperature increases, the protective properties of the oxide film change and the oxidation law changes accordingly: from logarithmic to linear. Data on oxidation and degradation of pneumatic tires, their resistance to

*resistive thermal stresses that lead to cracking and accumulation of damage in the materials of pneumatic tire materials in various aggressive operating environments, under conditions that have been evaluated to real, were investigated in detail in this work.*

**Key words:** hydraulic forging, hydrostatic extrusion, deformation, mould, modelling, strength, reliability, destruction.

### Постановка проблеми

При експлуатації пневматичних шин автомобільного транспорту діють зовнішні пошкоджуючі фактори, такі як: температура, хімічна взаємодія з агресивними середовищами, циклічні навантаження, механічні руйнуючі тіла, що призводять до розриву зв'язків матеріалів пневматичних шин, зниженню твердості, корозії металевого кордуну, ерозії гумо-еластичної матриці. Всі ці ефекти можна назвати деградацією гумо-композиції та конструкції шини в цілому. В цьому плані уточнення процесів деградації, що найбільше наближені до умов експлуатації є актуальним завданням.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вивченням збереження функціональних властивостей шин присвячено багато робіт [1–7]. Детально досліджувалось руйнування поверхневих шарів протектора [6, 16] при терті [8] та зношуванні [9, 10], стійкість до температурних перепадів [6, 11, 12], втомна міцність для довгострокової експлуатації [6, 13–15], хімічний опір [17] від впливу різноманітних рідких середовищ та сполук [6, 11, 12, 17, 18].

### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є визначення деградації механічних властивостей матеріалів пневматичних шин, зокрема падіння міцності та твердості під термічним, хіміко-термічним, термомеханічним впливом, які створено штучно в лабораторних умовах [1–7].

### Викладення основного матеріалу дослідження

В попередніх дослідженнях змін динамічних властивостей шин у якості дисипативної здатності поглинання енергії від подолання перешкод різної геометрії встановлено пряму взаємозалежність від виду та походження дефектів отриманих і під час експлуатації. Комплексним показником ступеню накопичення і характеру пошкодження є коефіцієнт демпфування  $\mu$  [17] гумо-кордної конструкції. Так, за рахунок статичної деформації пневматичної шини можна отримати розрахункові дані через експериментальні стендові випробування.

За рахунок накопиченого масиву даних бічної деформації, що має кореляцію із відповідним ступенем пошкоджуваності встановлюється, саме коефіцієнт демпфування матеріалу пневматичної шини. Враховуючи дану закономірність для випробувань подальшої деградації механічних показників досліджується матеріал з різноманітними значеннями. Очевидно, що геометричні утворення пошкодження різновимірні і можуть сприяти як джерела або концентратори розповсюдження інших впливів на матеріал, таких як температурні коливання, проникність поверхнево активних речовин, їх адсорбція, ерозія еластомерів та каучуків і ін.

Проникненість рідин, газів та розповсюдження тріщин в середині новоутворених пошкодження [17–18] напряму залежить від структурної будови армуючої кордної частини та її цілісності [6, 16]. Попередні механічні дефекти повинні посилювати кінетику деградації механічних та структурно-фізичних властивостей композитів і каучуків з армуючими волокнами. Саме здатність утримати розповсюдження комплексу негативних зовнішніх факторів є основне призначення та критерій якості матеріалів шин та зокрема протектора, що знаходиться в надзвичайно важких динамічно навантажених умовах в контакт з дорогою.

У роботі встановлювали зв'язок втрати твердості за Шором протектора з варіацією температури і дії олійних сумішей різного складу, як поверхнево активних речовин, що контактують з поверхнею протектора в дорожніх умовах та при знаходженні автотранспорту на транспортних підприємствах. Зразки вирізані з протектора та різних частин бокової поверхні пневматичної шини піддавали термічному навантаженню 80°C, 100°C, 120°C.

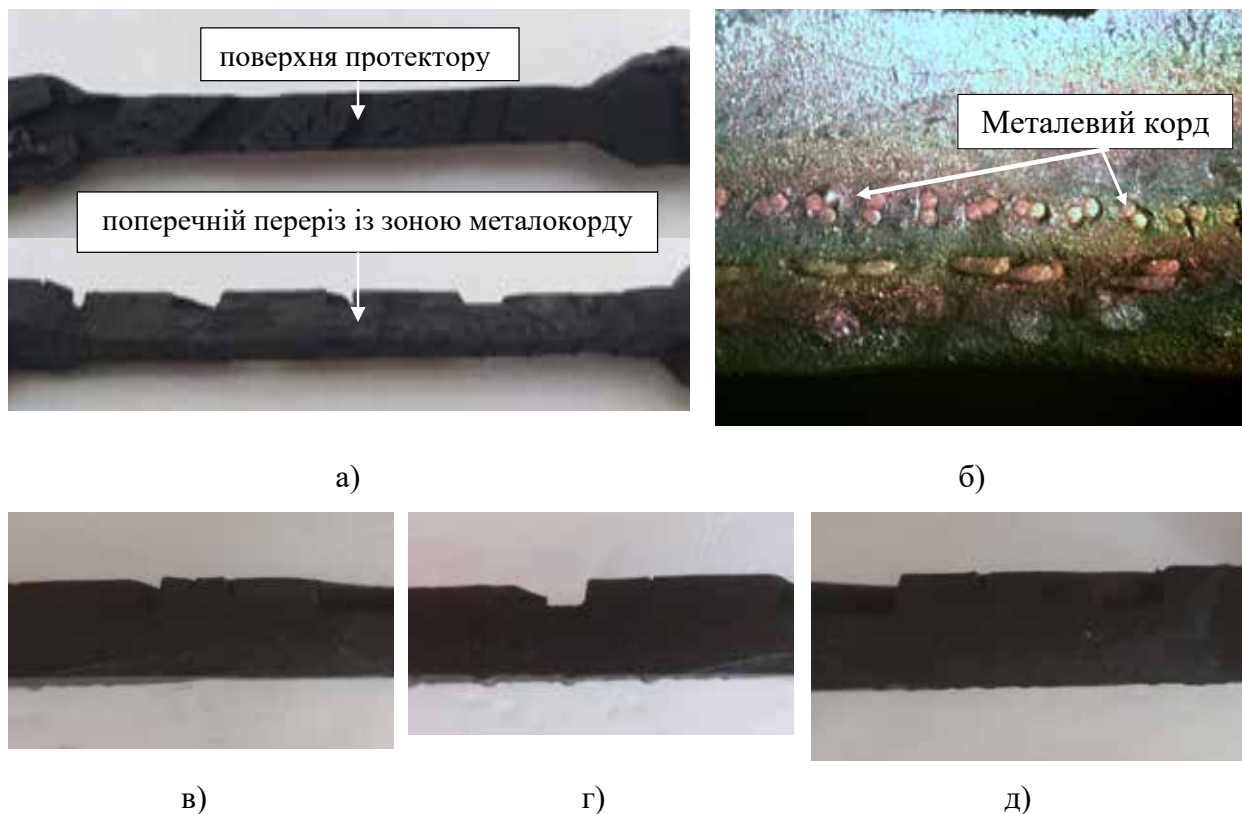
В якості агресивних середовищ для розчину 1 використовувалось мастило різного походження, таких як: суміш відпрацьованого моторного, трансмісійного мастила, миючий засіб (ПАР) та морська сіль. Початкове значення твердості для усіх трьох зразків виготовлених з однієї пневматичної шини складала 12,5 HD. Отримані дані в таблиці 1 та таблиці 2.

Таблиця 1

Витримка зразка у відпрацьованому мастилі при кімнатній температурі

Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD
0	12,5	9	12	30	12	54	12
1	12	12	12	36	12	60	12
3	12	18	12	42	12	66	12
6	12	24	12	48	12	72	12

В результаті проведених випробувань, а саме витримка зразку у відпрацьованому мастилі протягом 72 год. (табл. 1) твердість зразка на знизилася 0,5 HD від початкового показника 12,5 HD. Відсутність суттєвих змін можна пояснити тим, що дослідний зразок протягом часу випробування насичувався вказаним агресивним матеріалом і вказаний дослідний зразок змінив колір (рис. 1), через активне поглинання від речовини-агресивного середовища.



**Рис. 1.** Зразок пневматичної шини насичений речовиною-агресивним середовищем «мастило»: а) – загальний вигляд зразку; б) – мікроповерхня поперечного перерізу пневматичної шини із металокорду після випробувань; в), г), д) – вплив агресивного середовища на зони поперечного перерізу пневматичної шини після насичення агресивним розчином 1, під час випробувань

Таблиця 2

**Витримка сухого зразка в гарячій камері (мастило)**

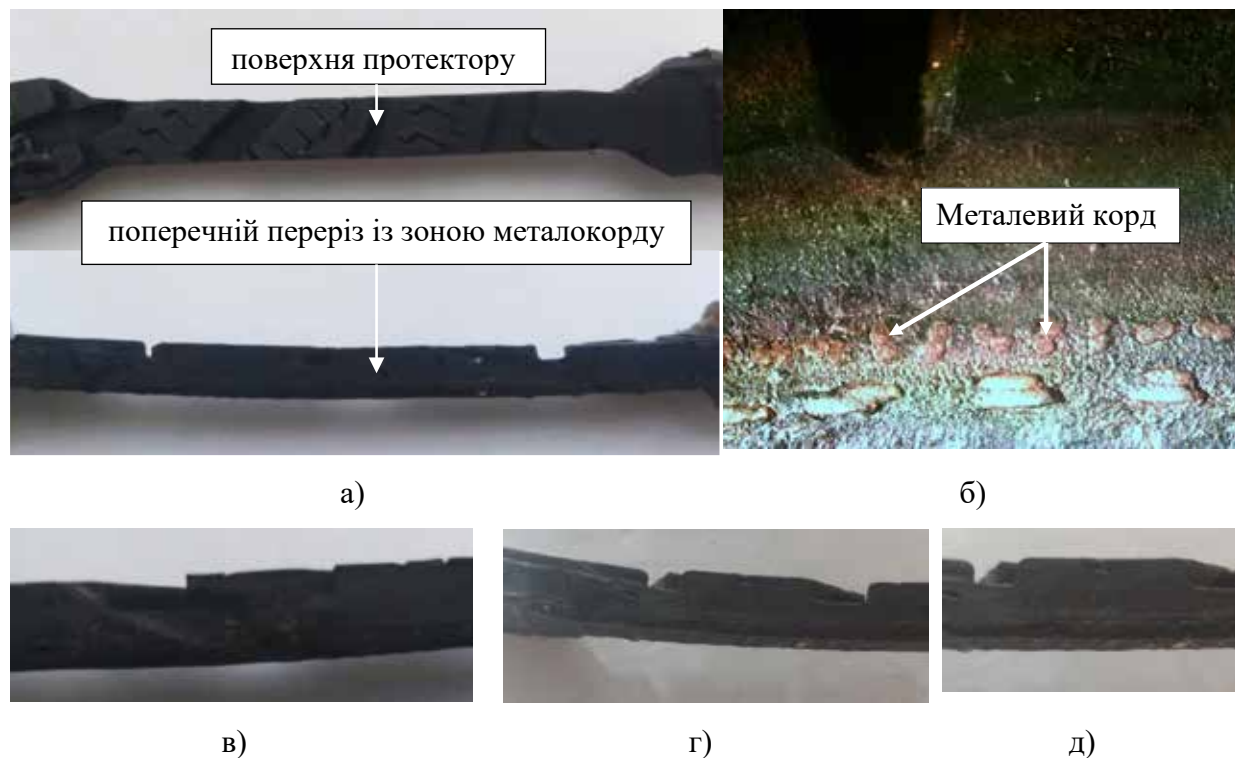
Час витримки, години		Твердість HD
Початкове значення		12,5
Час витримки при 100 °С, години		12
Час витримки при 200 °С, години	6	11
	9	10,1
	12	9,5

Таблиця 3

**Попередня витримка зразка в ПАВ при кімнатній температурі**

Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD
0	12,5	9	12	30	12	54	12
1	12	12	12	36	12	60	12
3	12	18	12	42	12	66	12
6	12	24	12	48	12	72	12

В результаті проведених випробувань, а саме витримка зразку в агресивному середовищі розчин 2 мильний миючий засіб, а саме ПАР протягом 72 год суттєвих змін твердості не встановлено, дані наведено в таблиці 3, зміна склала 0,5 HD від початкового показника 12,5 HD. Відсутність суттєвих змін можна пояснити тим, що дослідний зразок протягом часу випробування насичувався вказаним агресивним матеріалом, також зміни кольору зафіксовано не було. Це можна пояснити тим, що зразок не зазнавав істотного впливу від речовини-агресивного середовища.



**Рис. 2.** Зразок пневматичної шини насичений агресивним середовищем ПАР: а) – загальний вигляд зразку; б) – мікроповерхня поперечного перерізу пневматичної шини із металокорду після випробувань; в), г), д) – вплив агресивного середовища на зони поперечного перерізу пневматичної шини після насичення агресивним розчином 2 під час випробувань

Таблиця 4

**Витримка сухого зразка в гарячій камері (миючий засіб)**

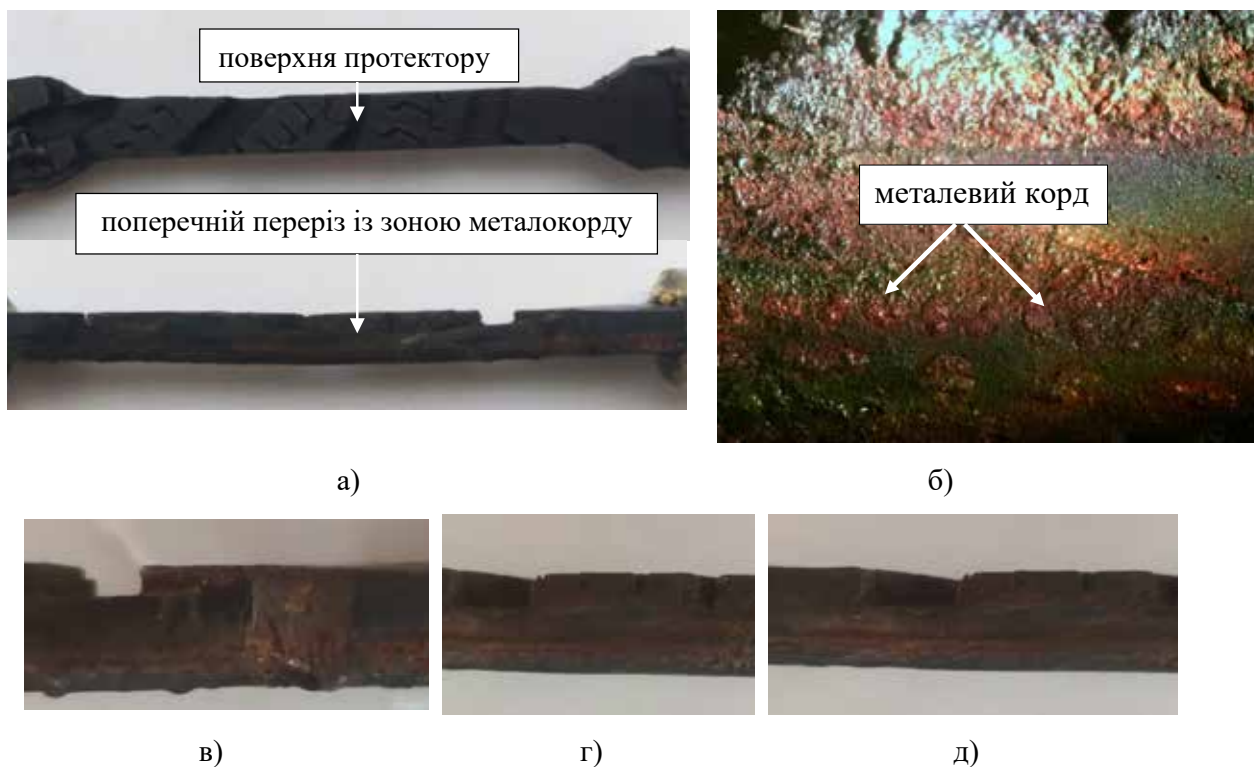
Час витримки, години		Твердість HD
Початкове значення	0	12,5
Час витримки при 100 °С, години	1	12
Час витримки при 200 °С, години	6	11
	9	10,5
	12	10

Таблиця 5

**Попередня витримка зразка в розчині «засоби технічні очищення дорожнього покриття» при кімнатній температурі**

Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD
0	12,5	9	12	30	12	54	12
1	12	12	12	36	12	60	12
3	12	18	12	42	12	66	12
6	12	24	12	48	12	72	12

В результаті проведених випробувань, а саме витримка зразку в агресивному середовищі морська сіль з водою 72 год суттєвих змін твердості не встановлено, яке наведено в таблиці 3 зміна склала 0,5 від початкового показника 12,5 HD. Відсутність суттєвих змін можна пояснити тим, що дослідний зразок протягом часу випробування насичувався вказаним агресивним матеріалом.



**Рис. 3. Зразок пневматичної шини насичений агресивним середовищем «засоби технічні очищення дорожнього покриття» а) – загальний вигляд зразку; б) – мікроповерхня пневматичної шини з металокордом після випробувань; в), г), д) – вплив агресивного середовища на зони поперечного перерізу пневматичної шини після насичення агресивним Розчином 3 під час випробувань**

Під час випробувань зразок 3, змінював колір металокорду від сірого до помаранчевого через зародження, утворення та виникнення явища корозії, це можна пояснити тим що зразок перебував в найбільш несприятливих умовах. Корозія частіше зустрічається в зоні контакту гума-метал або прилеглий до неї зоні. Контактна напруга та локальне насичення агресивного середовища рідини також істотно впливають на процес корозії.

Таблиця 6

**Витримка сухого зразка в гарячій камері**

Час витримки, години	Твердість HD	
Початкове значення	0	12,5
Час витримки при 200 °С, години	1	12
	6	11,2
	9	9,5
	12	8,5

Загальні результати випробувань проведених у сушильній камері для трьох вказаних зразків, а саме витримка 72 год у комплексі олійний та миючих засобів а також розчин технічні засоби очищення наведено в таблиці 7.

Таблиця 7

**Загальні результати вимірювань**

Години	HD		
	Зразок 1 в розчині комплексу олійно-мастильних сумішей	Зразок 2 в комплексі мильно-миючих емульсій	Зразок розчин 3 засоби технічні очищення дорожнього покриття
0	12,5	12,5	12,5
1	12	12	12
6	11	11,5	11,2
9	10,1	10,5	9,5
12	9,5	10	8,5



Експеримент проводився імітуючи реальні умови експлуатації шин та спираючись на досвід і результати досліджень і публікацій по темі [4, 5].

Зразки витримувались в розчині № 1 послідовно через інтервал часу 6 годин після чого висушувались при кімнатній температурі протягом 2 годин з наступним вимірюванням твердості (рис. 4). Низка зразків піддавалася градуйованому нагріванню в розчині з агресивним середовищем та відповідному хімічному складі.

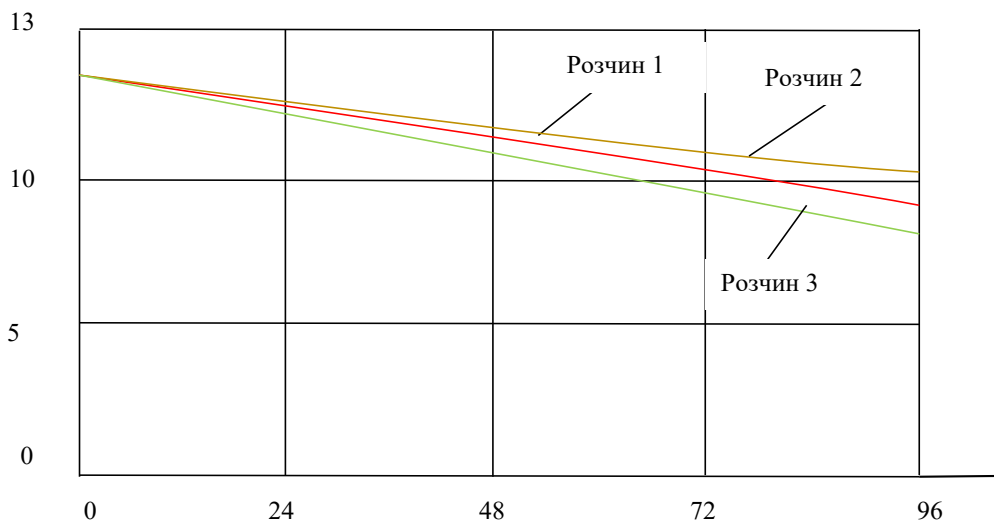
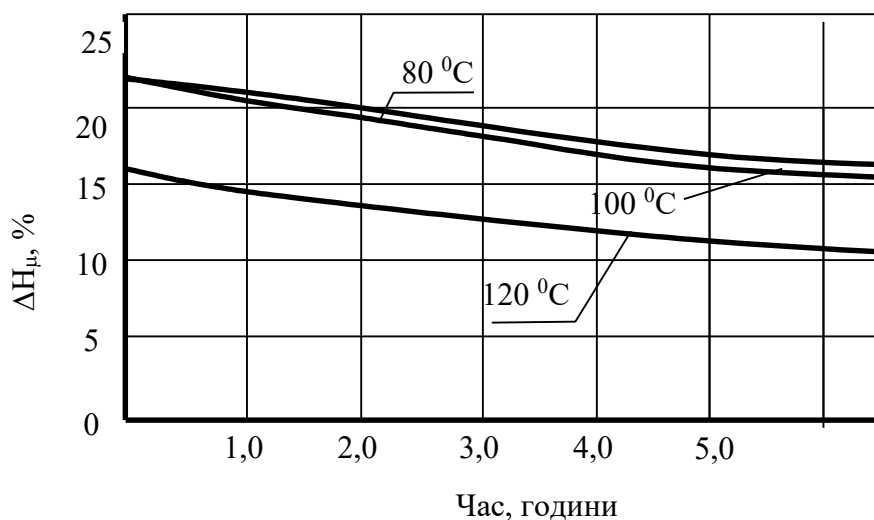


Рис. 4. Термомеханічні впливи та втомна міцність матеріалів в об'ємах матеріалу протектору

При термічному старінні гумо-кордної композиції автомобільної шини спостерігалася майже лінійна залежність механічних властивостей, за певний проміжок часу твердості за Шором (рис. 5), при початковому показнику 22,5 HD, орієнтовна середня швидкість втрати твердості складає 2,5 HD за год. Так, зразки що витримувались при 80 °C втрачають за 5 годин термічного пошкодження 8 одиниць HD від початкового значення. Подібна тенденція спостерігається і для зразків, що витримувались при 100 °C і 120 °C, що не суперечить даним авторів при термічному старінні [23].



а)

б)

Рис. 5. Експериментальні термоциклічні навантаження на втому матеріалу пневматичної шини в залежності від часу а) – діаграма; б) – обладнання шафа сушильна ШС-3

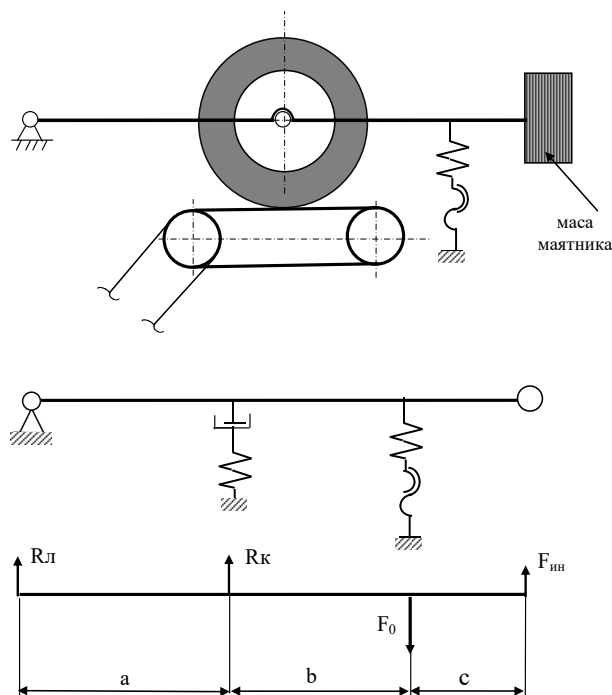
Дослідження проводилося на використаних шинах, що мали сукупний шлях експлуатації 50000 км, та 25000 км, та в окремих умовах, а саме робота на асфальтному покритті в містах, робота на асфальтному покритті

міжміські, переважна робота на ґрунтах. Дані впливи прийняті як механічні впливи до фіксації хімічної і термохімічної деградації.

Зроблено припущення, що ступінь накопичення пошкоджень та кінетика їх експлуатації та кінетика їх утворення при попередній експлуатації містять втомні, наслідки для металевих кордів еластомерної матриці.

Згідно класифікації наданих авторами видів пошкоджень можна припустити кількісні показники проникності ерозії від дії агресивних середовищ та накопиченої втоми складової кордів.

Ці дані корегувалися з формою пружної деформації шин з внутрішнім різним тиском 1, 1,5, 2, Атм. отриманих на стенді (рис. 6).



Кінематична схема



Спеціальний дослідний зразок

**Рис. 6. Схема традиційного і спеціального чотирикоординатного стенду для випробування шин**

Так бічні деформації у межах від 2 до 6 мм в середньому радіусі автомобільної шини з тиском одна атмосфера можуть бути відповідними зміні пошкоджень у бік деградації на рівні 1,5 млн циклів навантаження.

Деформація бічної частини під тиском 1 Атм., 1,5 Атм., 2 Атм. на вісь автомобіля 250 кг на рівні 6–10 мм, відповідає критичними умовам експлуатації на рівні 1 млн циклів навантаження.

#### Висновки

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що окремий термоциклічний вплив на матеріал протектора без змін армуючих волокон спостерігається при температурі 200 °С. Швидкість втрати твердості фіксується на рівні 2,5 та 3,5 одиниць із застосуванням агресивних середовищ, у вигляді агресивних та мастильно-миючих сумішей. Термоциклічний випробування у комплексі із зануренням зразків протектора пневматичної шини в середовищі мастильні суміші показали ефект пришвидшення деградації міцнісних характеристик на 24% від початкових даних твердості 12,5 HD, для миючих сумішей показник склав 20%, а для агресивних середовищ становить 32%. При початковому показникові 22,5 HD, орієнтовна середня швидкість втрати твердості складає 2,5 HD за год. Так, зразки що витримувались при 80 °С втрачають за 5 годин термічного пошкодження 8 одиниць HD від початкового значення.

Зроблено припущення, що ступінь накопичення пошкоджень та кінетика їх експлуатації та кінетика їх утворення при попередній експлуатації містять втомні, наслідки для металевих кордів еластомерної матриці.

#### Список використаної літератури

1. Gent A. N., Walter J. D. Pneumatic Tire / Mechanical Engineering Faculty Research. 2006. URL: [https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical\\_ideas/854/](https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical_ideas/854/) (Last accessed: 05.09.2023).
2. Механіка шини: монографія / В.А. Перегон, В.А. Карпенко, Л.П. Гречко та ін. Харків: ХНАДУ, 2011. 404 с.

3. Ларін О.О. Комп'ютерне та математичне моделювання в задачах прогнозування надійності при поступових відмовах: монографія/ Ларін О.О., Водка О.О., Потопальська К.Є. Харків : НТУ «ХПІ», Юрайт 2020. 232 с. DOI: 10.20998/978-617-7450-20-6.
4. Ларін О.О. Експериментальні дослідження параметрів пружності та статичної міцності гумового композиту, що посиленний текстильним кордом / О. О. Ларін // Наукові нотатки. 2015. Вип. 52. С. 41–47. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2015\\_52\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2015_52_10).
5. Ларін О. О. (2016). Експериментальна оцінка опору втомі гумокордного композиту за ортогональної до арматури деформації до та після штучного старіння. Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Динаміка та міцність машин, (26), 63–68. <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2016.26.79931>
6. Kotial, P., Krmela, J., Frydrek, K., & Ruiak, I. (2012). The Chosen Aspects of Materials and Construction Influence on the Tire Safety. In Composites and Their Properties. InTech. <https://doi.org/10.5772/48181>.
7. Baranowski, P., Bogusz, P., Gotowicki P., Malachowski J. (2012). Assessment of mechanical properties of offroad vehicle tire: Coupons testing and FE model development. *Acta Mechanica et Automatica*. 6(2) 17–22.
8. Niu, Y., Zhang, S., Tian, G., Zhu, H., & Zhou, W. (2020). “Estimation for Runway Friction Coefficient Based on Multi-Sensor Information Fusion and Model Correlation”. *Sensors* 20(14):3886, 1–22. <https://doi.org/10.3390/s20143886>
9. Gong, Y., Chen, X., Yi, J., & Wang, H. (2023). Hydrodynamics and Friction Estimation for Wet Tire/Ground Interactions. In 2023 American Control Conference (ACC). IEEE. <https://doi.org/10.23919/acc55779.2023.10156130>
10. Rahman, M. M., Khan, F., Kaiser, M. S., & Ahmed, S. R. (2018). Effect of thermal ageing on mechanical behavior of synthetic and natural rubber dominated short flat bars. In DISRUPTIVE INNOVATION IN MECHANICAL ENGINEERING FOR INDUSTRY COMPETITIVENESS: Proceedings of the 3rd International Conference on Mechanical Engineering (ICOME 2017). Author(s). <https://doi.org/10.1063/1.5044300>
11. Staszczak, M., Pieczyska, E. A., Maj, M., Urbański, L., Odriozola, I., & Martin, R. (2015). Thermomechanical Properties of Vulcanized Rubber investigated by Testing Machine and Infrared Camera. *Measurement Automation Monitoring*, 4, 206–209.
12. Kaiser, S., Rabbani, R., Ahmed, R., & Kaiser, S. (2021). Temperature Dependent Mechanical Properties of Natural and Synthetic Rubber in Practical Structures. *Acta Mechanica Slovaca*, 25(3), 6–14. <https://doi.org/10.21496/ams.2021.031>
13. Song, J. (2004). Fatigue of cord-rubber composites for tires. The Pennsylvania State University The Graduate School College of Engineering. (Original work published 2004).
14. Behroozinia, P., Mirzaeifar, R., & Taheri, S. (2017). A review of fatigue and fracture mechanics with a focus on rubber-based materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233(5), 1005–1019. <https://doi.org/10.1177/1464420717719739>
15. Qiu, X., Yin, H., & Xing, Q. (2022). Research Progress on Fatigue Life of Rubber Materials. *Polymers*, 14(21), 4592. <https://doi.org/10.3390/polym14214592>
16. Krmela, J., & Krmelova, V. (2017). Tire casings and their material characteristics for computational modeling of tires. In 16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Latvia University of Agriculture. <https://doi.org/10.22616/erdev2017.16.n043>
17. Kaiser, S., Kaiser, M. S., & Ahmed, S. R. (2020). Wear Behavior of Commercial Tire Rubber against Mild Steel in Dry, Wet and 3.5% NaCl Corrosive Environment. *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.22219/jemmm.v5i1.10428>
18. Jiang, N., Zhang, R., Li, Y., Li, N., Dong, L., Chen, C., & Tan, C. (2022). Hydrothermal Aging Mechanisms of All-Steel Radial Tire Composites. *Polymers*, 14(15), 3098. <https://doi.org/10.3390/polym14153098>.

### References

1. Gent A. N., Walter J. D. (2006) Pneumatic Tire / Mechanical Engineering Faculty Research. URL: [https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical\\_ideas/854/](https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical_ideas/854/) (Last accessed: 05.09.2023).
2. Perehon V.A., Karpenko V.A., Hrechko L.P. ta in. (2011) Mekhanika shyny: monohrafiya. Kharkiv: KHNADU, 404 s.
3. Larin O.O. (2020) Komp'yuterne ta matematychnye modelyuvannya v zadachakh prohnouzuvannya nadiynosti pry postupovykh vidmovakh: monohrafiya/ Larin O.O., Vodka O.O., Potopal's'ka K.YE. Kharkiv : NTU «KHPI», Yurayt. 232 s. DOI: 10.20998/978-617-7450-20-6.
4. Larin O.O. (2015) Eksperymental'ni doslidzhennya parametriv pruzhnosti ta statychnoyi mitsnosti humovoho kompozytu, shcho posylyuye tekstyl'nym kordom / O.O. O. Larin // Naukovi notatky. Vyp. 52. S. 41–47. Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2015\\_52\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2015_52_10).
5. Larin O. O. (2016). Eksperymental'na otsinka opory vtomi humokordnoho kompozytu za ortohonal'noyi do armatury deformatsiyi do ta pislya shtuchnoho starinnya. Visnyk NTU «KHPI» Seriya: Dynamika ta mitsnist' mashyn, (26), 63–68. <https://doi.org/10.20998/2078-9130.2016.26.79931>.

6. Kotial P., Krmela Dzh., Fridrek K. ta Ruyak I. (2012). Vybrani aspekty vplyvu materialiv i konstruktsiyi na bezpeku shyn. V Kompozyty ta yikh vlastyvoli. InTech. <https://doi.org/10.5772/48181>.
7. Baranovs'kyi, P., Bohush, P., Hotovits'kyi P., Malakhovs'kyi YA. (2012). Otsinka mekhanichnykh vlastyvolostey shyn pozashlyakhovykiv: vyprobuvannya zrazkiv ta rozrobka modeli FE. Acta Mechanica et Automatica. 6(2) 17–22.
8. Niu YU., Chzhan S., Tyan' H., Chzhu KH. ta Chzhou V. (2020). «Otsinka koefitsiyenta tertya na zlitno-posadkoviy smuzi na osnovi mul'tysensornoho ob'yednannya informatsiyi ta korelyatsiyi modeli». Datchyky 20(14):3886, 1–22. <https://doi.org/10.3390/s20143886>.
9. Hun, YU., Chen, X., YI, Dzh., i Van, KH. (2023). Hidrodynamika ta otsinka tertya dlya vzayemodiyi mokroyi shyny z zemleyu. U 2023 rotsi Amerykans'ka kontrol'na konferentsiya (ACC). IEEE. <https://doi.org/10.23919/acc55779.2023.10156130>.
10. Rakhman M. M., Khan F., Kayzer M. S. ta Akhmed S. R. (2018). Vplyv termichnogo starinnya na mekhanichnu povedinku syntetychno ta natural'noho kauchuku, de perevazhayut' korotki ploski stryzhni. V RIVNIVNI INNOVATSIYI V MASHYNOBUDUVANNI DLYA KONKURENTOBUDUVANNYA PROMYSLOVOSTI: Materialy 3-yi Mizhnarodnoyi konferentsiyi z mashynobuduvannya (ICOME 2017). Avtor(y). <https://doi.org/10.1063/1.5044300>
11. Stashchak, M., Pyechys'ka, E. A., May, M., Urbans'kyi, L., Odiozola, I., i Martin, R. (2015). Termomekhanichni vlastyvoli vulkanizovanoho kauchuku, doslidzheni testovoyu mashynoyu ta infrachervonoyu kameroyu. Monitorynh avtomatyzatsiyi vymiryuvan', 4, 206–209.
12. Kayzer S., Rabbani R., Akhmed R. ta Kayzer S. (2021). Temperaturno-zalezni mekhanichni vlastyvoli natural'noho ta syntetychno kauchuku v praktychnykh konstruktsiyakh. Acta Mechanica Slovaca, 25(3), 6–14. <https://doi.org/10.21496/ams.2021.031>.
13. Sonh, Dzh. (2004). Vtoma kordno-humovykh kompozytiv dlya shyn. Universytet shtatu Pensil'vaniya Vyscha shkola inzhenerneho koledzhu. (Oryhinal'na robota opublikovana 2004 r.).
14. Behroozinia, P., Mirzaeifar, R., & Taheri, S. (2017). Ohlyad mekhaniky vtomy ta ruynuvannya z aktsentom na materialakh na osnovi humy. Pratsi Instytutu inzheneriv-mekhanikiv, chastyna L: Zhurnal materialiv: proektuvannya ta zastosuvannya, 233(5), 1005–1019. <https://doi.org/10.1177/1464420717719739>.
15. Tsyu, X., In', H., i Xing, Q. (2022). Prohres doslidzhen' vtomnoyi dovhovichnosti humovykh materialiv. Polimery, 14(21), 4592. <https://doi.org/10.3390/polym14214592>.
16. Krmela, Dzh., i Krmelova, V. (2017). Pokryshky ta kharakterystyky yikh materialiv dlya komp'yuternoho modelyuvannya shyn. U 16-y Mizhnarodniy naukovo-praktychniy konferentsiyi Inzheneriya dlya sil's'koho rozvytku. Latviys'kyi universytet sil's'koho hospodarstva. <https://doi.org/10.22616/erdev2017.16.n043>.
17. Kayzer S., Kayzer M. S. ta Akhmed S. R. (2020). Znoshuvanist' humy promyslovykh shyn proty m'yakoyi stali v sukhomu, volohomu ta koroziynomu seredovyshchi 3,5% NaCl. Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering, 5(1), 1. <https://doi.org/10.22219/jemmmme.v5i1.10428>.
18. Tszyan, N., Chzhan, R., Li, YU., Li, N., Donh, L., Chen, K., i Tan, K. (2022). Hidrotermichni mekhanizmy starinnya kompozytiv iz sutsil'nostalevykh radial'nykh shyn. Polimery, 14(15), 3098. <https://doi.org/10.3390/polym14153098>.

В. П. ПЛІС

старший викладач кафедри електропостачання  
та енергетичного менеджменту  
Національний університет «Одеська політехніка»  
ORCID: 0000-0002-0675-4407

## ТЕСТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ТЕРМІНАЛІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В РОЗРАХУНКОВИХ РЕЖИМАХ

*Цифровізація у електроенергетиці є невід'ємною частиною цифрової економіки. Не менш важливим завданням при підготовці фахівців електротехнічних спеціальностей є цифровізація освітнього процесу. Для її вирішення потрібне впровадження програмних комплексів, із застосуванням яких майбутні фахівці зможуть моделювати об'єкти електроенергетичної системи, але на більшій комфортній та безпечній платформі. Необхідно проведення дослідження функціональних можливостей мікропроцесорних терміналів релейного захисту та автоматизації шляхом їх комп'ютерного моделювання з урахуванням поведінки захистів у характерних для елемента, що захищається режимах роботи. У роботі розглянуто питання моделювання цифрового пристрою релейного захисту на прикладі струмої відсічки для асинхронного електродвигуна напругою 6 кВ при трифазному короткому замиканні з можливістю перегляду результатів моделювання. Синтезовані: імітаційна модель схеми струмової відсічки асинхронного двигуна; підсистема, що дозволяє моделювати коротке замикання асинхронного двигуна при регульованих уставках струму і часу. У ході проведення експерименту на моделі є можливість розрахувати параметри спрацьовування захистів мікропроцесорного терміналу і перевірити правильність роботи захистів, а також вивчення нормальних та аварійних режимів роботи об'єкта, що захищається. Оцінка результатів моделювання дозволяє забезпечити налаштування мікропроцесорного захисту. Спільне використання розробленої моделі та експериментального стенду дозволяють досягти найповнішого дослідження функціональних можливостей мікропроцесорних пристроїв релейного захисту. Порівняння результатів експериментів з моделями дозволяє стверджувати, що розбіжності між розрахунковими та експериментальними даними не перевищують 4–6 %, в статичних режимах, та 12–14 %, в динамічних режимах.*

**Ключові слова:** цифровий релейний захист, мікропроцесорний термінал захисту, моделювання, експериментальний стенд, асинхронний двигун.

V. P. PLIS

Senior Lecturer at the Department of Power Supply and Energy Management  
Odesa National Polytechnic University  
ORCID: 0000-0002-0675-4407

## TESTING OF MICROPROCESSOR TERMINALS OF RELAY PROTECTION IN CALCULATION MODES

*Digitalization in the electric power industry is an integral part of the digital economy. An equally important task when training specialists in electrical engineering specialties is the digitalization of the educational process. To solve it, it is necessary to introduce software systems, with the use of which future specialists will be able to model objects of the electric power system, but on a more comfortable and safer platform. It is necessary to study the functionality of microprocessor terminals for relay protection and automation by means of their computer modeling, taking into account the behavior of protection in operating modes characteristic of the protected element. The paper discusses the issues of modeling a digital relay protection device using the example of a current cut-off for a 6 kV asynchronous electric motor with a three-phase short circuit with the ability to view the modeling results. Synthesized: a simulation model of the current cut-off circuit of an asynchronous motor; a subsystem that allows you to simulate a short circuit of an asynchronous motor with adjustable current and time settings. During the experiment on the model, it is possible to calculate the operation parameters of the microprocessor terminal protections and check the correct operation of the protections, as well as study the normal and emergency operating modes of the protected object. Evaluation of the simulation results allows for adjustment of the microprocessor-based protection device. The combined use of the developed model and experiment allows us to achieve the most complete study of the functionality of microprocessor relay protection devices.*

**Key words:** digital relay protection, microprocessor protection terminal, simulation, experimental stand, induction motor.

### Постановка проблеми

Забезпечення надійного та безвідмовного функціонування електроустановок тісно пов'язане з підвищенням технічного рівня релейного захисту та автоматизації (РЗА), впровадженням комплексної автоматизації для управління нормальними, аварійними та післяаварійними режимами роботи, що зумовлено безперервністю процесів виробництва, розподілу та споживання електроенергії. Мікропроцесорні (МП) пристрої заміняють традиційний релейний захист (РЗ), поєднуючи функції захисту, автоматики, керування та сигналізації. Їх використання підвищує чутливість захисту та зменшує час спрацьовування, що знижує збитки від перерв в електропостачанні. Також можливе створення автоматизованих систем керування підстанціями та їх інтеграція з автоматизованою системою керування технологічним процесом верхнього рівня. Це відкриває перспективи використання МП терміналів як основних пристроїв РЗА в електричних мережах для подальшого просування в напрямку ідеальної моделі Smart Grid. Широке використання РЗ на МП основі та його переваги потребують додаткових досліджень для визначення, які функціональні можливості МП терміналів слід використовувати.

Сучасні технічні та програмні засоби дозволяють створювати дуже складні та детальні динамічні моделі реальних систем. Нині метод математичного моделювання є найпоширенішим методом дослідження засобів РЗА. Завдяки високій точності та практично необмеженим можливостям з урахування нелінійностей будь-якого характеру дослідження, проведене за допомогою математичної моделі, нерідко називають експериментом на моделі. Дослідження та моделювання принципу роботи МП пристроїв РЗА, наприклад, у програмному середовищі «Matlab Simulink», є гарною практикою для розуміння реальних процесів, що відбуваються в мережі, при виникненні аварійного режиму, тобто, режиму короткого замикання (КЗ). У ході проведення експерименту на моделі є можливість розрахувати параметри спрацьовування захистів мікропроцесорного терміналу і перевірити правильність роботи захистів, а також вивчення нормальних та аварійних режимів роботи об'єкта, що захищається. Оцінка результатів моделювання дозволяє забезпечити налаштування МП пристрою захисту.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні автоматизовані системи РЗА використовують багатофункціональні МП пристрої, що поєднують різні види захисту та засоби запобігання аваріям [1].

Використання нової елементної бази змінює не самі принципи роботи РЗА, лише розширює її функціональні можливості, що робить експлуатацію зручнішою. Саме з цих причин застарілі електромеханічні та мікроелектронні реле замінюються МП пристроями [2]. Несправність, що виникає в об'єкті захисту – асинхронному двигуні, може призвести до матеріальних збитків, втрат часу та нещасних випадків на робочому місці, знижуючи загальну надійність системи [3, 4]. Важливою характеристикою сучасних систем релейного захисту є можливість інтеграції в інформаційні мережі, що підтримує ідеї «Цифрової підстанції» та «Розумної мережі» (Smart Grid). [5, 6]. Оскільки потік електроенергії в розподілених генеруючих мережах стає двоспрямованим, що призводить до мережевих проблем, інтелектуальні мережі допомагають у виробництві, передачі, підстанціях, розподілі та споживанні електроенергії для створення чистої, безпечної, захищеної, надійної, ефективної та стійкої системи. [7].

Особливістю сучасних мікропроцесорних систем РЗА є використання відкритої логіки. Дана технологія є мовою програмування візуально-символічного типу, засновану на логічних схемах, яка дозволяє згодом змінювати алгоритми програмного забезпечення пристрою. Користувач має можливість налаштувати програмні параметри пристрою під конкретні завдання [8, 9]. Завдання релейного захисту – швидко виявити та відключити пошкодження, мінімізувати шкоду, а якщо йдеться про роботу електродвигуна у ненормальних режимах роботи – запобігти аваріям та збільшити термін служби електродвигунів. Для виконання цього необхідно вибрати оптимальні характеристики та параметри спрацьовування (уставки) захисту. Оптимальне налаштування захисту можливе, тільки за наявності повної інформації про двигун, що захищається: його важливості в технологічному процесі, характері навантаження, можливості забезпечення самозапуску, умовах експлуатації [10, 11].

### Формування мети дослідження

**Метою роботи** є розробка віртуальних моделей релейних захистів, інтегрованих із схемами енергетичних систем. Завдання дослідження полягало в детальному аналізі процесів, що протікають як первинних силових ланцюгах енергосистем, так і в ланцюгах релейних захисту. Аналіз параметрів спрацьовування захистів мікропроцесорного терміналу та вивчення нормальних та аварійних режимів роботи об'єкта, що захищається, дозволяє забезпечити налаштування мікропроцесорного терміналу.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Віртуальні моделі мають як переваги, так і недоліки в порівнянні з випробувальними стендами [12]. Їхня позитивна властивість – завдяки блочному принципу побудови можна легко змінювати не лише параметри, а й конфігурацію первинної мережі, тоді як на стенді конфігурація мережі, як правило, задана жорстко. Недолік – налаштування віртуальних захистів відрізняється від налаштування їх прототипів – реальних реле та терміналів.

Сучасні технічні та програмні засоби дозволяють створювати дуже складні та детальні динамічні моделі реальних систем, з застосуванням програмного середовища «Matlab Simulink». Широкого поширення це середовище набуло завдяки універсальності, наявності великої кількості розширень та бібліотек. Силова частина електричної системи виконана за допомогою блоків бібліотеки SimPowerSystems, а релейний захист стандартними блоками Simulink, що відображають логіку та алгоритм роботи [13, 14].

Спрощена схема фрагмента електричної системи та розроблена імітаційна модель схеми релейного захисту асинхронного короткозамкненого двигуна в середовищі «Matlab Simulink» представлена на рис. 1. Ця модель складається з наступних основних елементів: джерело напруги, силовий трансформатор, блок лінії електропередачі, вимикач навантаження, блок мікропроцесорного захисту, блок навантаження, блок імітатора короткого замикання, 3-фазні перетворювачі (датчики) струму та напруги, а також вимірвальні прилади.

Вплив мережі враховувався введенням у моделі передвключених активно-індуктивних опорів, що являють собою результуючі опори живлячих мереж енергосистеми, трансформаторів головної понижувальної підстанції, кабельних ліній. Механічна характеристика агрегату С-5А, при пуску та вибігу на холостому ході апроксимувалась квадратичною залежністю

$$M_c = 0,007 + (0,2 - 0,007) \cdot \omega_r^2, \quad (1)$$

а при роботі під навантаженням прийнята незалежною від швидкості, відповідно до рекомендацій для моделювання навантаження поршневого компресора [15].

При моделюванні прийнято значення моменту опору  $M_c = 0,663$ . Зазначений момент опору відповідає тривалому режиму роботи компресора, що спостерігався протягом кількох останніх років.

Синтезовано блок «Protection terminal», що відповідає властивостям реального МП терміналу РЗА. Зовнішній вигляд блоку наведено на рис. 2.

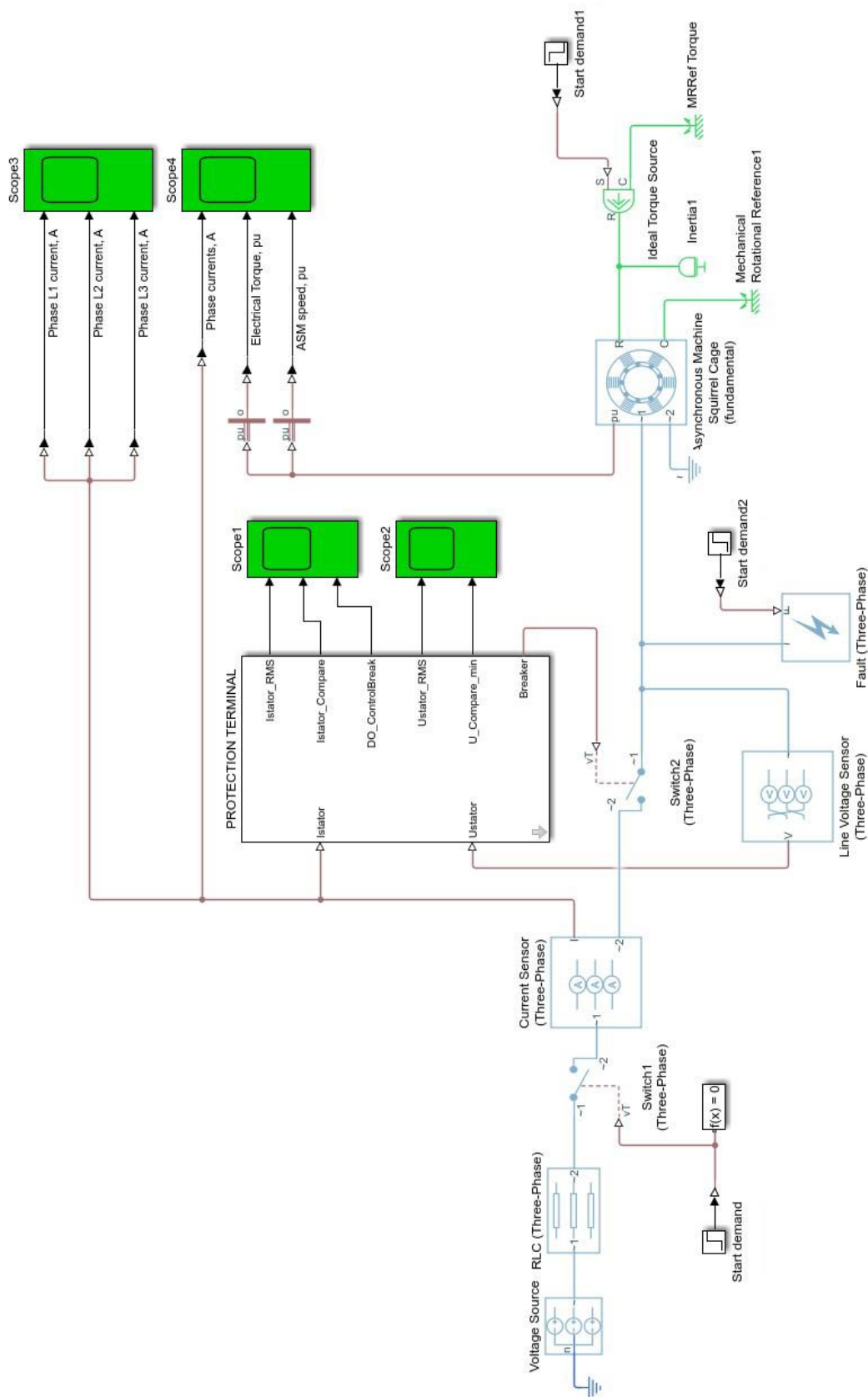


Рис. 1. Спрощена схема фрагмента електричної системи та релейний захист електродвигуна



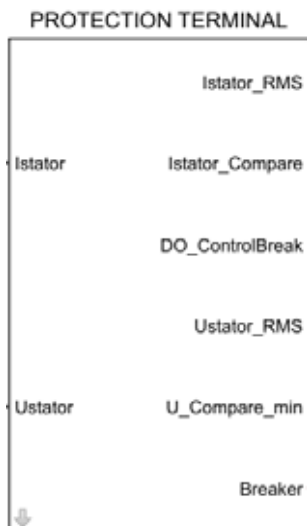


Рис. 2. Зовнішній вигляд блоку «Protection terminal»

Фрагмент вмісту блоку «Protection terminal» наведено на рис. 3.

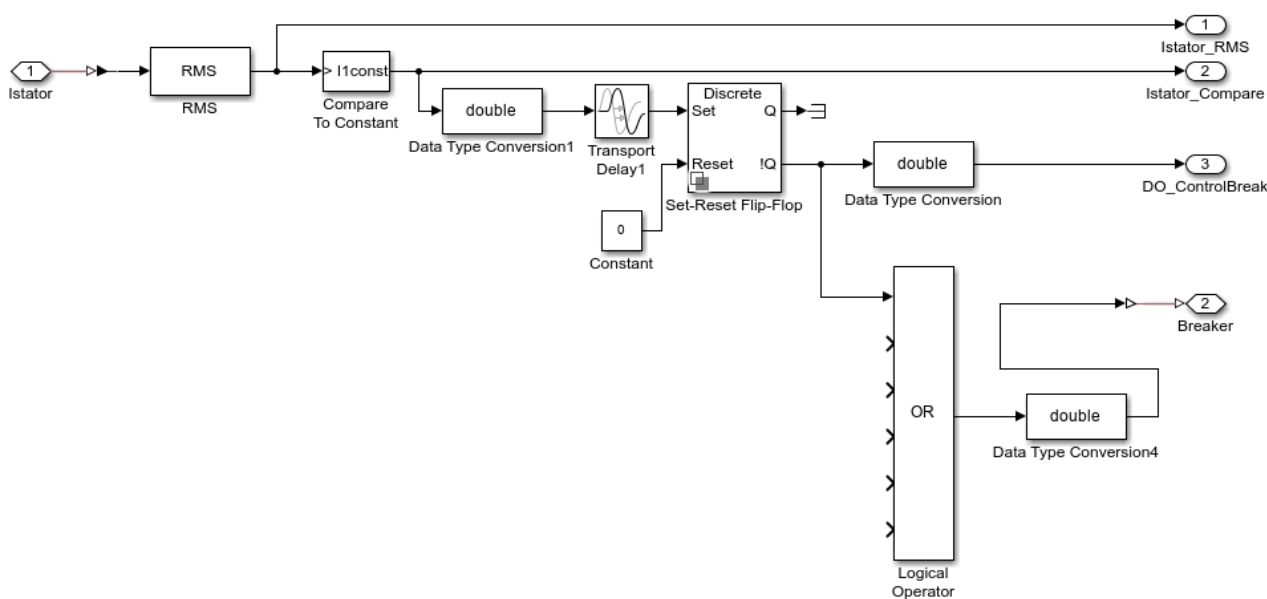


Рис. 3. Фрагмент схеми реалізації струмової відсічки в блоці «Protection terminal»

Було здійснено розрахунок значень уставок (табл. 1). Після розрахування значень уставок (табл. 1) [16, 17], вони були введені у відповідні графи діалогового вікна блоку «Protection terminal». Приклад введених значень уставок приведений на рис. 4.

Алгоритм дії віртуального блоку захисту наступний: при перевищенні (применшенні) струму вище (нижче) заданої величини надходить сигнал відключення вимикача.

Таблиця 1

Розрахунок уставок терміналу релейного захисту

№ п/п	Назва захисту	Формули розрахунку	Розрахунок	Уставка
1.	Захист від багатофазних замикань (струмова відсічка, СВ)	$I_{CB\ c.з.} = k_{відб.} \cdot k_{опер.} \cdot I_{макс.}$ $I_{макс.} = k_{пуск.} \cdot I_{ном.}$ $t_{c.з.} = 0,01\ c.$	$I_{макс.} = 5,7 \cdot 55,6 = 316,9\ A,$ $I_{CB\ c.з.} = 1,14 \cdot 1,3 \cdot 316,9 = 469,6\ A.$	470 А 0,01 с
2.	Захист від мінімальної напруги (ЗМН)	$U_{c.з.з.мн1} = (0,6 \div 0,7) U_{ном.дв.}$ $t_{з.мн1} = 0,5 \div 0,9\ c,$ $U_{c.з.з.мн2} = (0,4 \div 0,5) U_{ном.дв.}$ $t_{з.мн2} = 3 \div 9\ c.$	$U_{c.з.з.мн1} = 0,65 \cdot 6000 = 3900\ B.$ $t_{з.мн1} = 0,7\ c.$ $U_{c.з.з.мн2} = 0,45 \cdot 6000 = 2700\ B.$ $t_{з.мн2} = 7\ c.$	3900 В 0,7 с 2700 В 7 с
3.	Мінімальний струмовий захист	$I_{c.з.} = (0,2 \div 0,6) \cdot I_{ном.дв.}$ $t_{c.з.} = 2 \div 5\ c.$	$I_{c.з.} = 0,2 \cdot 55,6 = 11,2\ A,$ $t_{c.з.} = 4\ c.$	11,2 А 4 с
4.	Захист від блокування ротора	$I_{c.з.БП} = \frac{k_{пуск.} \cdot I_{ном.дв.}}{1,2 \cdot k_{поверн.}}$ $t_{c.з.БП} \approx (0,2 \div 0,4) \cdot t_{пуску}$	$I_{c.з.БП} = \frac{5,7 \cdot 55,6}{1,2 \cdot 0,95} = 278\ A,$ $t_{c.з.БП} \approx 0,3 \cdot 1,86 = 0,558\ c.$	278 А 0,558 с
5.	Захист від затягнутого пуску двигуна	$I_{c.з.ЗП} = \frac{k_{пуск.} \cdot I_{ном.дв.}}{1,2 \cdot k_{поверн.}}$ $t_{c.з.ЗП} \geq (1,5 \div 2) \cdot t_{пуску}$	$I_{c.з.ЗП} = \frac{5,7 \cdot 55,6}{1,2 \cdot 0,95} = 278\ A,$ $t_{c.з.ЗП} \geq 1,77 \cdot 1,86 = 3,29\ c.$	278 А 3,3 с



Рис. 4. Приклад введених параметрів блоку «Protection terminal»

Перевірка адекватності розроблених математичних моделей та програм здійснювалася порівнянням отриманих результатів моделювання та параметрів реального об'єкту:

- в середовищі «Matlab Simulink»;
- за допомогою комп'ютерної програми авторської розробки на мові програмування загального призначення «C++» у середовищі розробки «Qt Creator»;
- в результаті експериментів перехідних процесів при пусках та вибігах вхолосту асинхронного двигуна поршневого компресора С-5А потужністю 447,6 кВт цеху перевантаження аміаку АТ «Одеський припортовий завод».

На рис. 5–7 наведені розрахункові осцилограми миттєвих значень струму статора АД, отримані в результаті моделювання в середовищі «Matlab Simulink».

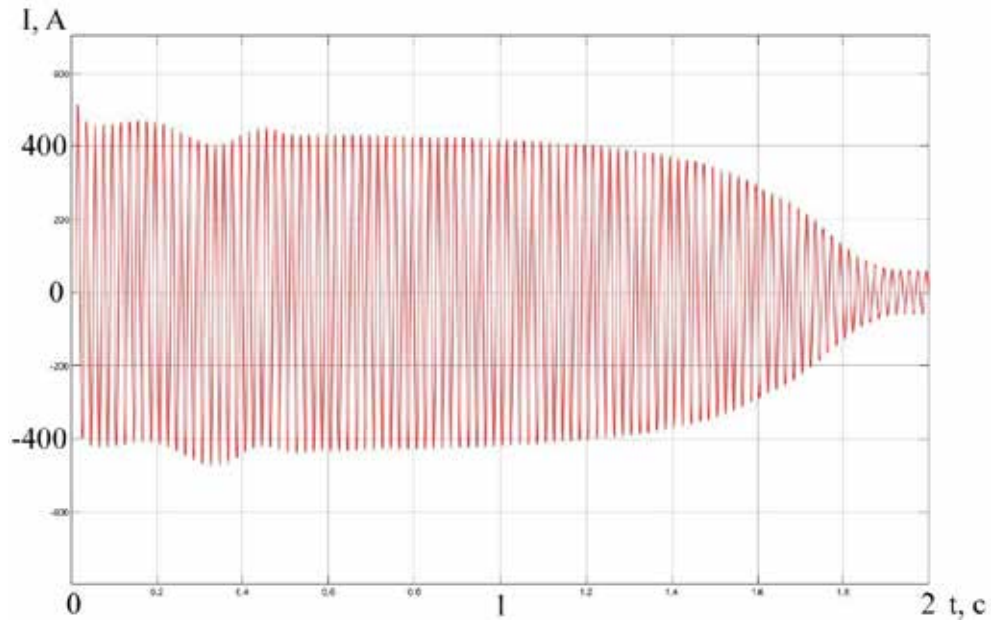


Рис. 5. Розрахункова крива (Matlab) зміни миттєвого значення струму статора АД компресора С-5А потужністю 447 кВт напругою 6 кВ при пуску вхолосту

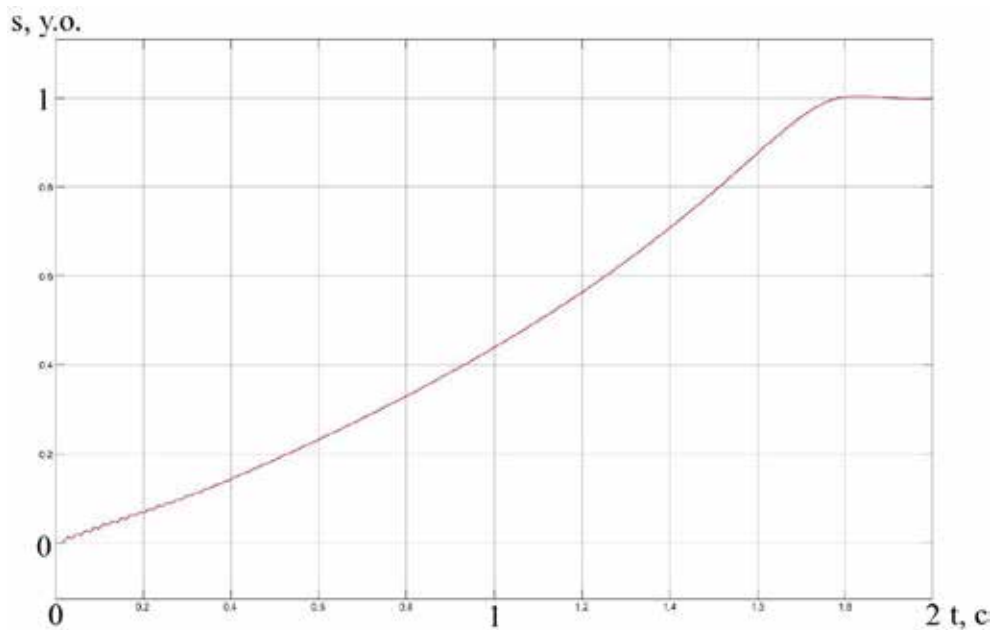
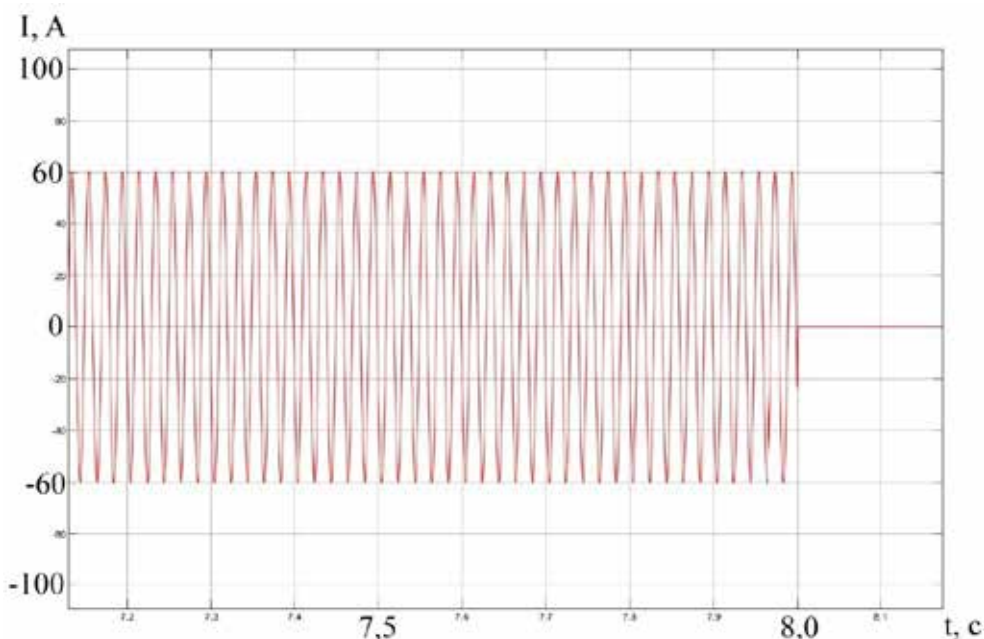


Рис. 6. Розрахункова крива (Matlab) зміни ковзання АД компресора С-5А потужністю 447 кВт напругою 6 кВ при пуску вхолосту



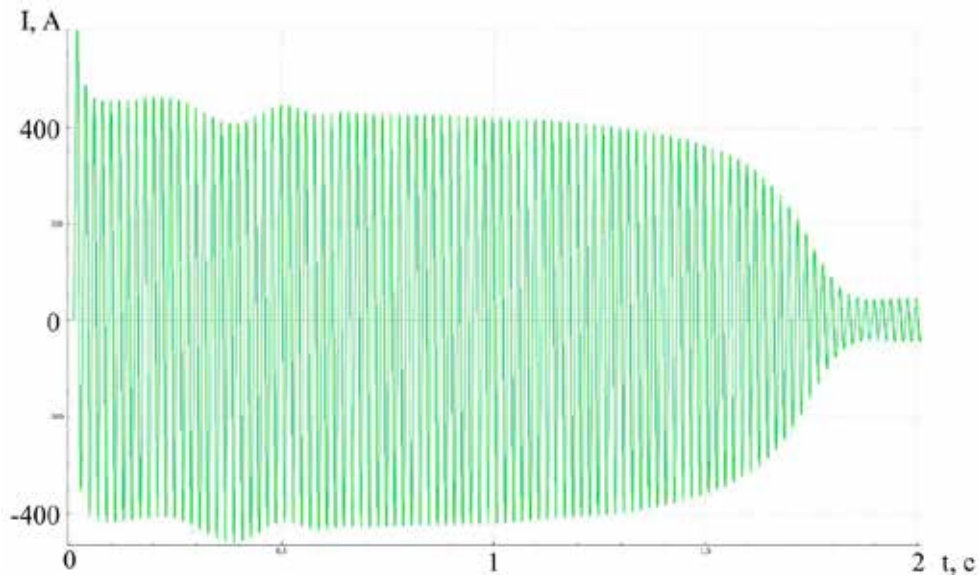
**Рис. 7. Розрахункова крива (Matlab) зміни струму статора АД компресора С-5А потужністю 447 кВт напругою 6 кВ при роботі вхолосту та подальшому відключенні**

Під час проведення досліджень використовувалася комп’ютерна програма власної розробки з урахуванням диференціальних рівнянь АД на базі узагальненої машини, записаної в нерухомій системі координат  $\alpha, \beta$  і системі координат, що обертається з синхронною швидкістю [18]:

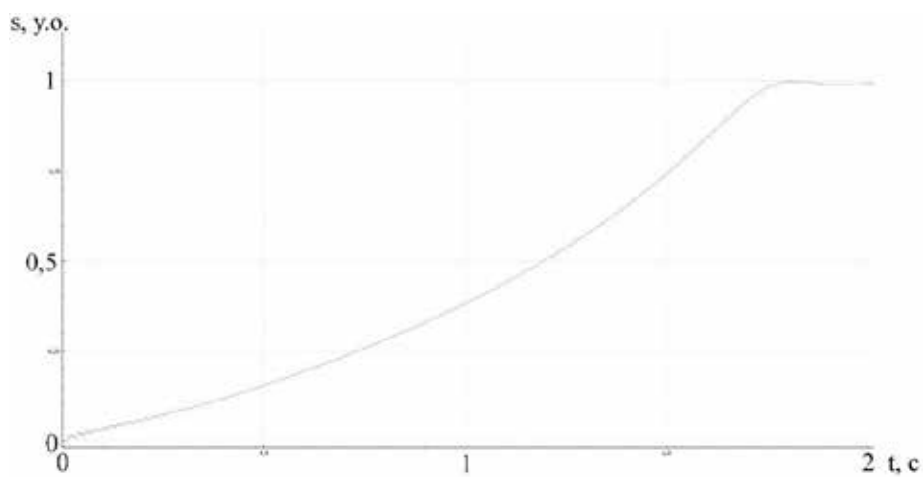
$$\left. \begin{aligned} d\Psi_{s\alpha}/dt &= U_{s\alpha} - i_{s\alpha} R_{s\alpha}; \\ d\Psi_{s\beta}/dt &= U_{s\beta} - i_{s\beta} R_{s\beta}; \\ d\Psi_{r\alpha}/dt &= U_{r\alpha} - i_{r\alpha} R_{r\alpha} - \omega_r \Psi_{r\beta}; \\ d\Psi_{r\beta}/dt &= U_{r\beta} - i_{r\beta} R_{r\beta} - \omega_r \Psi_{r\alpha}; \\ d\omega_r/dt &= (M_{em} - M_c)/J; \\ M_{em} &= \frac{mp}{2} L_m (i_{s\beta} i_{r\alpha} - i_{s\alpha} i_{r\beta}). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $d\Psi_{s\alpha}, d\Psi_{s\beta}, d\Psi_{r\alpha}, d\Psi_{r\beta}$  – потокозчеплення статора і ротора в координатах  $\alpha, \beta, 0$ ;  $U_{s\alpha}, U_{s\beta}, U_{r\alpha}, U_{r\beta}$  – проекції напруг статора і ротора на осі координат;  $\alpha, \beta, 0$ ;  $i_{s\alpha}, i_{s\beta}, i_{r\alpha}, i_{r\beta}$  – струми в обмотках статора і ротора;  $R_{s\alpha}, R_{s\beta}, R_{r\alpha}, R_{r\beta}$  – активні опори статора і ротора;  $\omega_r$  – кутова швидкість обертання ротора;  $M_{em}$  – електромагнітний момент АД;  $M_c$  – момент опору на валу;  $J$  – момент інерції ротора;  $m$  – кількість фаз;  $p$  – кількість пар полюсів;  $L_m$  – взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора.

В результаті моделювання у середовищі розробки «Qt Creator» отримані осцилограми, що наведені на рис. 8 та 9.



**Рис. 8.** Розрахункова крива (Qt Creator) зміни миттєвого значення струму статора АД компресора С-5А потужністю 447 кВт напругою 6 кВ при пуску вхолосту



**Рис. 9.** Розрахункова крива (Qt Creator) зміни ковзання АД компресора С-5А потужністю 447 кВт напругою 6 кВ при пуску вхолосту

Експериментальні осцилограми зміни фазних струмів, фазних напруг та ковзання АД компресора С-5А потужністю 447,6 кВт під час пуску та вибігу на холостому ході наведено на рис. 10–12.

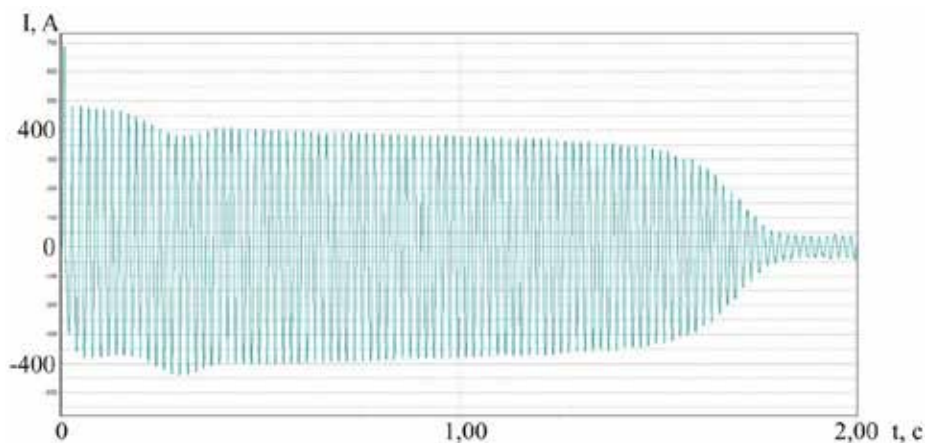


Рис. 10. Експериментальна крива зміни миттєвих значень струму статора АД компресора С-5А потужністю 447 кВт напругою 6 кВ при пуску вхолосту

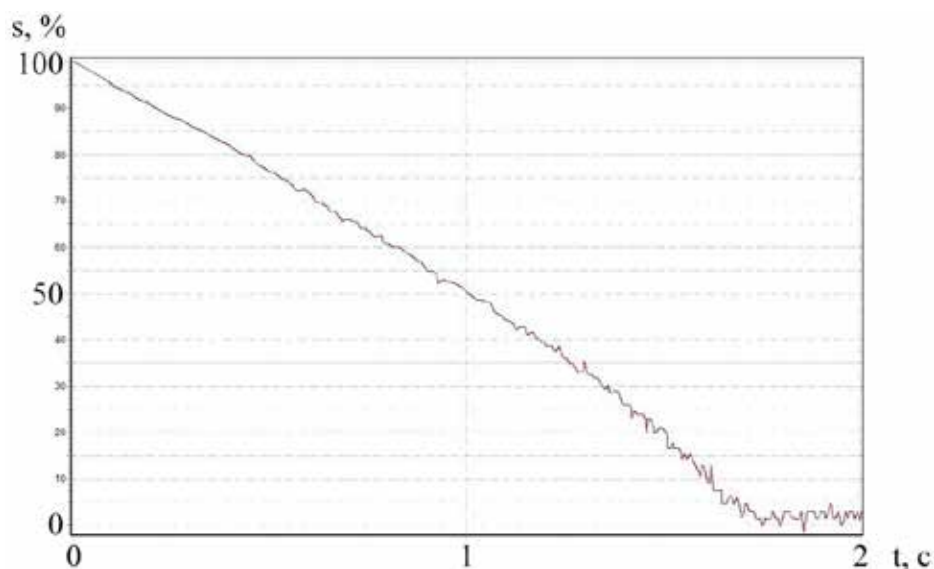
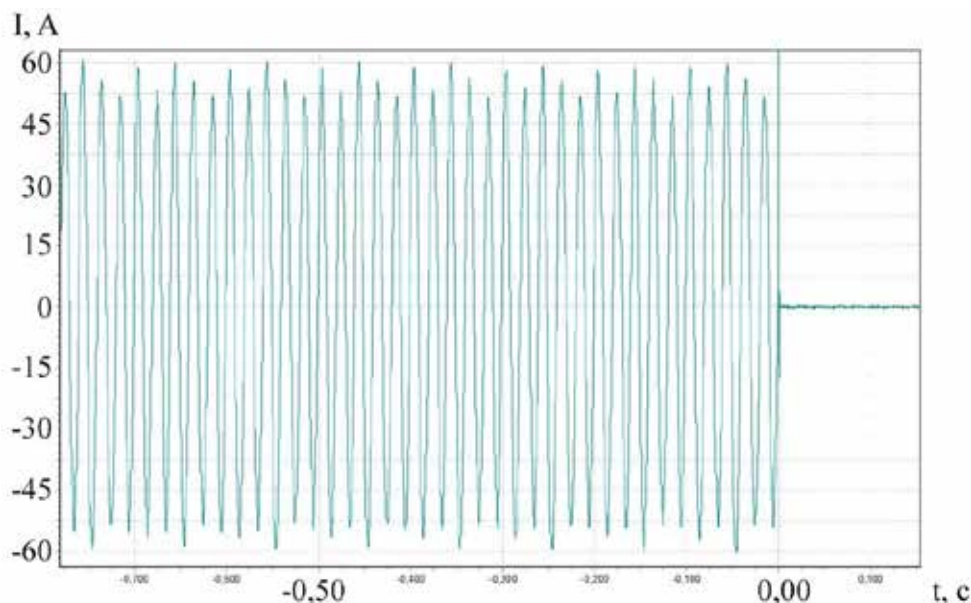


Рис. 11. Експериментальна крива зміни ковзання АД компресора С-5А потужністю 447 кВт напругою 6 кВ при пуску вхолосту

Порівняння результатів експериментів з моделями дозволяє стверджувати, що розбіжності між розрахунковими та експериментальними даними не перевищують 4–6 %, в статичних режимах, та 12–14 %, в динамічних режимах.

#### Висновки

Розроблені моделі дозволяють досліджувати мікропроцесорні термінали релейного захисту, перевіряти реакцію їх захистів на зміну значень струмів та напруги. За допомогою моделей можливо програмно формувати характерні режими роботи об'єкта, що захищається, контролювати вихідні сигнали відключення та сигналізації, розраховувати і виставляти уставки ступенів захисту, візуалізувати динаміку роботи захисту двигуна при КЗ, а також використовувати принцип блокування захисту для налаштування. Багаторазові випробування захисту дозволяють судити про коректність алгоритмів його роботи та правильність розрахунку уставок. Спільне використання розробленої моделі та експериментального стенду дозволяють досягти найповнішого дослідження функціональних можливостей мікропроцесорних пристроїв релейного захисту.



**Рис. 12. Експериментальна крива зміни струму статора АД компресора С-5А потужністю 447 кВт напругою 6 кВ при роботі вхолосту та подальшому відключенні**

#### Список використаної літератури

1. Adefarati T., Bansal R. An overview of smart grid in protection perspective. *Power system protection in smart grid environment*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2019. P. 3–31. URL: <https://doi.org/10.1201/9780429401756-1>.
2. Radimov S. M., Plis V. P. Relay protection devices functionality comparative analysis. *Herald of advanced information technology*. 2023. Vol. 6, no. 3. P. 227–239. URL: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.15>.
3. A comprehensive review of conventional and intelligence-based approaches for the fault diagnosis and condition monitoring of induction motors / R. R. Kumar et al. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 23. P. 8938. URL: <https://doi.org/10.3390/en15238938>.
4. Broken rotor bar fault diagnosis techniques based on motor current signature analysis for induction motor – a review / S. Halder et al. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 22. P. 8569. URL: <https://doi.org/10.3390/en15228569>.
5. Wang J., Wang Z. Research and implementation of virtual circuit test tool for smart substations. *Procedia computer science*. 2021. Vol. 183. P. 197–204. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.02.050>.
6. IOT integrated smart grid management system for effective energy management / N. S. Madhuri et al. *Measurement: sensors*. 2022. P. 100488. URL: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100488>.
7. Impact of distributed generation on protection and voltage regulation of distribution systems: a review / S.-E. Razavi et al. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2019. Vol. 105. P. 157–167. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.050>.
8. Memon A. A., Kauhaniemi K. An adaptive protection for radial AC microgrid using IEC 61850 communication standard: algorithm proposal using offline simulations. *Energies*. 2020. Vol. 13, no. 20. P. 5316. URL: <https://doi.org/10.3390/en13205316>.
9. Adaptive protection combined with machine learning for microgrids / H. Lin et al. *IET Generation, transmission & distribution*. 2019. Vol. 13, no. 6. P. 770–779. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.6230>.
10. Development of an intelligent system for distance relay protection with adaptive algorithms for determining the operation setpoints / O. Akhmedova et al. *Energies*. 2021. Vol. 14, no. 4. P. 973. URL: <https://doi.org/10.3390/en14040973>.
11. Induction motor condition monitoring for sustainable manufacturing / J. Zhang et al. *Procedia manufacturing*. 2019. Vol. 33. P. 802–809. URL: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.101>.
12. Shabovta M., Besarab O., Plis V. Development of the experimental stand for studying and testing digital protection terminals. *Problems of the regional energetics*. 2023. No. 1(57). P. 17–27. URL: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.1-57.02>.
13. Eshkabilov S. Beginning MATLAB and Simulink. Berkeley, CA: Apress, 2022. 605 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8748-4>.
14. Ashok Kumar L., Indragandhi V., Uma Maheswari Y. MATLAB®/Simulink. *Software tools for the simulation of electrical systems*. 2020. P. 1–35. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819416-4.00001-6>.

15. Bibik O. V., Mazurenko L. I., Shykhnenko M. O. Formation of characteristics of operating modes of switched reluctance motors with periodic load. *Electrical engineering & electromechanics*. 2019. No. 4. P. 12–16. URL: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2019.4.02>.
16. Релейний захист і автоматика / С. В. Панченко та ін.; ред. В. М. Баженов. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Т. 1. 250 с.
17. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем. Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2015. 504 с.
18. Кухарчук В. В., Ведміцький Ю. Г., Граняк В. Ф. Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідних режимах роботи: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2019. 152 с.

#### References

1. Adefarati, T., & Bansal, R. (2019). An overview of smart grid in protection perspective. *Power system protection in smart grid environment* (p. 3–31). CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429401756-1>.
2. Radimov, S. M., & Plis, V. P. (2023). Relay protection devices functionality comparative analysis. *Herald of Advanced Information Technology*, 6(3), 227–239. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.15>.
3. Kumar, R. R., Andriollo, M., Cirrincione, G., Cirrincione, M., & Tortella, A. (2022). A comprehensive review of conventional and intelligence-based approaches for the fault diagnosis and condition monitoring of induction motors. *Energies*, 15(23), 8938. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15238938>.
4. Halder, S., Bhat, S., Zychma, D., & Sowa, P. (2022). Broken rotor bar fault diagnosis techniques based on motor current signature analysis for induction motor – a review. *Energies*, 15(22), 8569. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15228569>.
5. Wang, J., & Wang, Z. (2021). Research and implementation of virtual circuit test tool for smart substations. *Procedia Computer Science*, 183, 197–204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.02.050>.
6. Madhuri, N. S., Shailaja, K., Saha, D., P, R., Glory, K. B., & Sumithra, M. (2022). IOT integrated smart grid management system for effective energy management. *Measurement: Sensors*, 100488. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100488>.
7. Razavi, S.-E., Rahimi, E., Javadi, M. S., Nezhad, A. E., Lotfi, M., Shafie-khah, M., & Catalão, J. P. S. (2019). Impact of distributed generation on protection and voltage regulation of distribution systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 157–167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.050>.
8. Memon, A. A., & Kauhaniemi, K. (2020). An adaptive protection for radial AC microgrid using IEC 61850 communication standard: Algorithm proposal using offline simulations. *Energies*, 13(20), 5316. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13205316>.
9. Lin, H., Sun, K., Tan, Z.-H., Liu, C., Guerrero, J. M., & Vasquez, J. C. (2019). Adaptive protection combined with machine learning for microgrids. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 13(6), 770–779. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.6230>.
10. Akhmedova, O., Soshinov, A., Gazizov, F., & Ilyashenko, S. (2021). Development of an intelligent system for distance relay protection with adaptive algorithms for determining the operation setpoints. *Energies*, 14(4), 973. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14040973>.
11. Zhang, J., Wang, P., Gao, R. X., Sun, C., & Yan, R. (2019). Induction motor condition monitoring for sustainable manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 33, 802–809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.101>.
12. Shabovta, M., Besarab, O., & Plis, V. (2023). Development of the experimental stand for studying and testing digital protection terminals. *Problems of the Regional Energetics*, (1(57)), 17–27. DOI: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2023.1-57.02>.
13. Eshkabilov, S. (2022). *Beginning MATLAB and Simulink*. Apress. 605 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8748-4>.
14. Ashok Kumar L., Indragandhi V., & Uma Maheswari Y. (2020). MATLAB®/Simulink. *Software tools for the simulation of electrical systems* (p. 1–35). Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819416-4.00001-6>.
15. Bibik, O. V., Mazurenko, L. I., & Shykhnenko, M. O. (2019). Formation of characteristics of operating modes of switched reluctance motors with periodic load. *Electrical Engineering & Electromechanics*, (4), 12–16. DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2019.4.02>.
16. Panchenko, S. V., Blyndiuk, V. S., Bazhenov, V. M., Odiehov, M., & Semenenko, Yu. (2020). Releinyi zakhyst i avtomatyka (V. M. Bazhenov, Red.; T. 1). UkrDUZT.
17. Kidyba, V. P. (2015). Releinyi zakhyst elektroenerhetychnykh system. Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika».
18. Kukharchuk, V. V., Vedmitskiy, Yu. H., & Hraniak, V. F. (2019). Vymiriuvannia parametriv obertalnoho rukhu elektromekhanichnykh peretvoriuvachiv enerhii v perekhidnykh rezhymakh roboty. VNTU.



## ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 637.3.07

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.24>**Г. А. ЄВЕНКО**

студент кафедри хімічних технологій,  
експертизи та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0007-7141-3776

**О. М. КУНИК**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри хімічних технологій,  
експертизи та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-6291-931X

**Т. А. ЮРОВА**

старший викладач кафедри хімічних технологій,  
експертизи та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8147-7024

**О. М. МОРОЗОВА**

асистент кафедри хімічних технологій,  
експертизи та безпеки харчової продукції  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0008-8978-2278

**ІДЕНТИФІКАЦІЙНА ЕКСПЕРТИЗА РОЗСІЛЬНИХ СИРІВ ТИПУ ФЕТА**

*Ідентифікаційна експертиза спрямована на встановлення відповідності товару певним вимогам. У міжнародних нормативних документах термін «відповідність» трактується як «дотримання всіх встановлених вимог до продукції». В Україні особливо швидко зростає інтерес до розсільних сирів. На сьогодні це один із сегментів, який найбільш динамічно розвивається і займає особливу нішу в сироробній галузі. Зокрема, популярним в Україні стає сир типу фета, який за технологією виробництва близький до більш звичної для українських споживачів бринзи.*

*Мета дослідження полягала в проведенні експертизи та встановленні визначальних ознак для ідентифікації зразків м'яких розсільних сирів типу фета різних торгових марок, які реалізуються в Україні.*

*У якості об'єктів дослідження було обрано 2 зразки м'яких розсільних сирів типу фета: зразки вітчизняного оператора ринку – ТОВ «ТЕРРАФУД» (торгова марка «Premialle») та ТОВ «Сиророб» (торгова марка «КОМО»). Також для порівняльної характеристики в роботі досліджувався розсільний продукт французької фірми «Flechar SAS Laiterie Du Pont Morin» (торгова марка «Vach de Paris» («Паризька корівка»)).*

*Вибір критеріїв ідентифікації та експертизи розсільних сирів здійснювався на основі аналізу упаковки товару, маркування, органолептичних показників згідно чинної нормативної документації.*

*За результатами проведеної експертизи маркування встановлено, що обсяг зазначеної інформації на всіх зразках, серед яких сири ТМ «Premille», ТМ «КОМО» та розсільний продукт ТМ «Vach de Paris» відповідає встановленим вимогам, оскільки містять повну інформацію, яка визначена Законом України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів». Як недолік відмічено відсутність інформації про ГМО в таких продуктах, як ТМ «КОМО» та ТМ «Vach de Paris».*

*При проведенні порівняльної органолептичної оцінки за 5-бальною шкалою комплексним методом розраховано рівень якості продукції. Крайцями органолептичними характеристиками володіють вітчизняні зразки сиру – сир м'який «Фелата» ТМ «Premialle» та сир м'який «InSalata» ТМ «КОМО».*

**Ключові слова:** розсільні сири, ідентифікація, експертиза, маркування, органолептичні показники.

H. A. YEVENKO

Student at the Department of Chemical Technologies,  
Expertise and Food Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0007-7141-3776

O. M. KUNYK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Chemical Technologies,  
Expertise and Food Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-6291-931X

T. A. YUROVA

Senior Lecturer at the Department of Chemical Technologies,  
Expertise and Food Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8147-7024

O. M. MOROZOVA

Assistant at the Department of Chemical Technologies,  
Expertise and Food Safety  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0008-8978-2278

## IDENTIFICATION EXPERTISE OF FETA-TYPE BRINE CHEESES

*Identification expertise is aimed at establishing the conformity of goods to certain requirements. In international regulatory documents, the term “conformity” is interpreted as “compliance with all established product requirements”. In Ukraine, interest in feta-type cheese is growing particularly fast. Today, it is one of the fastest growing segments in the cheese industry and occupies a special niche. In particular, feta cheese is becoming popular in Ukraine, as its production technology is similar to that of brynza, which is more familiar to Ukrainian consumers.*

*The purpose of the study was to conduct an examination and establish the defining features for identifying samples of feta-type cheese of different brands sold in Ukraine.*

*As the objects of study, 2 samples of feta-type cheese were selected: samples of the domestic market operator – TERRAFOOD LLC (Premialle trademark) and Syrorob LLC (KOMO trademark). For comparative purposes, the study also examined the brine product of the French company Flechard SAS Laiterie Du Pont Morin (trademark “Vach de Paris” (“Parisian Cow”)).*

*The selection of criteria for identification and examination of feta-type cheese was based on the analysis of product packaging, labelling, organoleptic characteristics in accordance with the current regulatory documents.*

*According to the results of the labelling examination, it was found that the amount of the specified information on all samples, including cheeses of TM Premille, TM KOMO and brine product of TM Vach de Paris, meets the established requirements, as they contain complete information as defined by the Law of Ukraine “On Information for Consumers on Food Products”. The lack of information on GMOs in such products as KOMO and Vach de Paris was noted as a defect.*

*The comparative organoleptic assessment was based on a 5-point scale and the level of product quality was calculated using a comprehensive method. The best organoleptic characteristics are provided by domestic samples of cheese – feta-type cheese “Felata” of TM “Premialle” and feta-type cheese “InSalata” of TM “KOMO”.*

**Key words:** *feta-type cheeses, identification, examination, labelling, organoleptic characteristics.*

### Постановка проблеми

Виробництво і реалізація неякісної фальсифікованої та контрафактної продукції поряд з навмисним введенням споживача в оману щодо властивостей і походження продуктів може завдавати прямої шкоди здоров'ю населення і сприяє недобросовісній конкуренції на продовольчому ринку [1]. Зацікавленість споживачів у продуктах з високою біологічною та харчовою цінністю, розповсюдження фальсифікованих молочних продуктів – актуалізують детальне вивчення питань щодо вимог до їх якості та безпечності [2, 3]. Зокрема популярними в Україні є розсільні сири типу фета [4].

Розсільний сир виник на прилавках Східного Середземномор'я приблизно 8000–9000 років тому [5]. У всьому світі виробляють більше 1000 сортів розсільного сиру. Його можна вважати попередником різних видів сиру відомих сьогодні. У різних країнах розсільні сири виробляються під різними назвами: Feta (Греція); Telemea або Telemes (Румунія, Греція); Bjalo salamureno sirene (Болгарія); Mohant (Словенія); Sjenicki, Homoljski, Zlatarski (Сербія); Pljevaljski, Polimsko-Vasojevaski, Ulcinjski (Чорногорія); Travnicki (Боснія-Герцеговина); Beyaz peynir

(Туреччина); Liqvan, Iranian white (Іран); Akawi (Ліван); Domiati (Єгипет), Бринза (Україна); Halloumi (Кіпр) і доповнення до багатьох інших назв [4, 5]. Завдяки специфіці виробництва і відсутності термічної обробки основних інгредієнтів, користь молочної основи в розсільних сирах зберігається практично в первісному вигляді [6].

За ДСТУ 7996:2015 «Сири розсільні. Загальні технічні умови», сир розсільний – це сир, отриманий унаслідок зсідання молочної сировини під дією молокозсідальних ферментів, заквасок або заквашувальних препаратів, який частково або повністю визріває у розсолі [7].

Вимоги до якості розсільних сирів викладені в національних стандартах ДСТУ 7996:2015 «Сири розсільні. Загальні технічні умови» та ДСТУ 7065:2009 «Бринза. Загальні технічні умови» [7, 8].

Підприємства можуть виготовляти продукцію у відповідності з цими нормативними документами. Також, згідно з чинним законодавством, суб'єкти господарювання мають право добровільного вибору нормативного документу, на відповідність якому будуть випускати продукцію, в тому числі – розроблення власного нормативного документу (технічних умов).

Головним завданням ідентифікаційної експертизи є визначення та підтвердження достовірності конкретного виду і назви продукту, а також відповідність його складу нормативній документації. Вибір критеріїв ідентифікаційної експертизи розсільних сирів здійснюється на першому етапі шляхом аналізу товаросупровідних документів, маркування, упаковки товару, а також нормативних документів.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як свідчить проведений аналіз науково-технічної літератури, основну увагу вітчизняних дослідників зосереджено на особливостях технології виробництва сирів та сирих продуктів, виявленні їх фальсифікації, вимогах до якості та безпечності сировини та готової продукції. Різні аспекти зазначеної проблеми висвітлюються в роботах І.Г. Власенко, Г.М. Ножечкіної, Г.Є. Поліщук, Г.Б. Рудавської, Н.О. Рябенко, Т.В. Семко та ін. [9, 10]. Проте дослідження споживчих властивостей сиру, встановлення простих та доступних критеріїв їх ідентифікації, які можуть бути використані пересічним споживачем на момент придбання товару, й досі не вичерпало своєї актуальності.

#### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є експертиза та встановлення визначальних ознак для ідентифікації зразків м'яких розсільних сирів типу фета різних торгових марок, які реалізуються в Україні.




#### Викладення основного матеріалу дослідження

Об'єктом дослідження було обрано 2 зразки м'яких розсільних сирів типу фета різних торгових марок, які реалізуються в Україні: зразки вітчизняного оператора ринку – ТОВ «ТЕРРАФУД» (торгова марка «Premiale») та ТОВ «Сиророб» (торгова марка «КОМО»). Також для порівняльної характеристики в роботі досліджувався розсільний продукт французької фірми «Flechar SAS Laiterie Du Pont Morin» (торгова марка «Vach de Paris» («Паризька корівка»)).

Загальна характеристика обраних для проведення дослідження зразків розсільних сирів та розсільного продукту типу фета різних виробників наведена в табл. 1.

Таблиця 1

#### Загальна характеристика об'єктів експертизи

№	Назва та торгова марка	Виробник	Загальний вигляд	Маса, роздрібна ціна, пакування
1.	Сир м'який «Фелата» ТМ «Premiale»	Країна виробник: Україна Виробник: ТОВ «ТЕРРАФУД» Адреса потужностей виробництва: вул. Узинська, 2, с. Томилівка, Білоцерківський р-н., Київська обл., Україна, 09172		Маса нетто: 230 г Ціна: 69,90 грн. Упаковка: PS короб
2.	Сир м'який «InSalata» ТМ «КОМО»	Країна виробник: Україна Виробник: ТОВ «Сиророб» Адреса потужностей виробництва: пр. Заводський, 4, с. Мала Калигірка, Звенигородський р-н., Черкаська обл., 20540		Маса нетто: 200 г Ціна: 55,60 грн. Упаковка: «Тетра брік асептік»
3	Продукт розсолений «Vach de Paris» («Паризька Корівка»)	Країна виробник: Франція Виробник: Flechar SAS Laiterie Du Pont Morin 61140 la Chapelle D'andaine, France		Маса нетто: 200 г Ціна: 50,00 грн. Упаковка: «Тетра брік асептік»

Для ідентифікаційної експертизи розсільних сирів на першому етапі визначається коло апробованих методик, які дають змогу провести випробування без руйнування – органолептичних, експрес-методів, на другому – більш складні вимірвальні методи.

Нормативна база, критерії та засоби для здійснення ідентифікаційної експертизи розсільних сирів надано в табл. 2 [7, 8, 11, 12].

Таблиця 2

## Нормативна база, критерії та засоби для здійснення експертизи розсільних сирів

Критерії та показники	Методи	Нормативна база
Маркування	аналітичний	Закон України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів». ДСТУ 4518:208 «Продукти харчові. Маркування для споживачів. Загальні правила». Технічний регламент щодо правил маркування харчових продуктів
Зовнішній вигляд та форма	органолептичний	ДСТУ 7996:2015 «Сири розсільні. Загальні технічні умови»
Смак і запах	органолептичний	ДСТУ 7996:2015
Консистенція	органолептичний	ДСТУ 7996:2015
Рисунок на розрізі	органолептичний	ДСТУ 7996:2015
Колір	органолептичний	ДСТУ 7996:2015
Форма головки сиру	органолептичний	ДСТУ 7996:2015
Масова частка жиру в сухій речовині, %, не менше ніж	вимірювальний	ДСТУ 8396:2015 «Визначення масової частки жиру, білка, лактози, сухої речовини методом інфрачервоної спектроскопії (експрес-метод)»
Масова частка вологи, %	вимірювальний	ДСТУ 8552:2015 «Молоко та молочні продукти. Методи визначення вологи та сухої речовини»
Масова частка солі, %	вимірювальний	ГОСТ 3627-81 «Молоко і молочні продукти. Методи визначення хлориду натрію»

Важливим засобом експертизи продуктів харчування є маркування, що містить інформацію, яку можна використати з метою ідентифікації (назва, вид, сорт товару, основний хімічний склад, сировина, тощо). Маркування також повинно відображати важливу інформацію щодо безпечності харчових продуктів: термін та умови зберігання, приготування, споживання. Маркування може містити інформацію, яка є суттєвою для здоров'я та безпечності споживання деяких вразливих груп споживачів, а її повнота, зрозумілість та однозначність дозволяє не вводити в оману споживача та робити свідомий вибір.

Засобами експертизи розсільних сирів є також товаросупровідні документи (ТСД), які містять необхідну та достатню інформацію для ідентифікації. Окрім розмірних характеристик у них обов'язково містяться відомості, що ідентифікують товар (найменування, сорт, марка).

На другому етапі роботи проводилося визначення правильності маркування досліджуваних зразків розсільних сирів згідно Закону України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» (введення в дію від 06.08.2019 р.) [11].

Результати експертизи розсільних сирів типу фета за маркувальними даними надано в табл. 3.

За результатами проведеної експертизи маркування встановлено, що обсяг зазначеної інформації на всіх зразках, серед яких сири ТМ «Premille», ТМ «КОМО» та розсільний продукт ТМ «Vach de Paris» відповідає встановленим вимогам, оскільки містить повну інформацію, яка визначена ДСТУ 4518:2008 [12]. Як недолік слід відмітити відсутність інформації про ГМО в таких продуктах, як ТМ «КОМО» та ТМ «Vach de Paris».

При експертизі маркування досліджуваних розсільних сирів та розсільного продукту було визначено, що жоден із зразків не був вироблений за ДСТУ 7996:2015 «Сири розсільні. Загальні технічні умови». Зразки № 1 ТМ «Premialle» та № 2 ТМ «КОМО» були виготовлені згідно із розробленими на підприємстві технічними умовами (зразок № 1 ТМ «Premialle», ТУ У 15.5-31984307-011:2007, зразок № 2 ТМ «КОМО» – ТУ У 10.5-2125212619-006:2019).

Зразок № 3 Продукт розсільний «Vach de Paris» виготовлено за кордоном, має відповідний сертифікат якості і може бути допущений до реалізації.

Результати експертизи засвідчили, що досліджувані зразки сиру відносяться до розсільних сирів типу фета і виготовлені з коров'ячого молока, хоча класичний фета виготовляється з овечого молока, інколи додається козине молоко (5–10%).

Зразок № 1 Сир м'який «Фелата» ТМ «Premialle» виготовлено без додавання до його складу харчових добавок.

У складі зразка № 2 Сир м'який «InSalata» ТМ «КОМО» міститься регулятор кислотності E575 – глюконодельта-лактон, або внутрішній ефір глюконової кислоти. Дана речовина відноситься до харчових добавок з широким застосуванням, яка має здатність покращувати зовнішній вигляд продуктів, продовжує термін придатності. Також до складу продукту входить ароматизатор «Вершковий сир» та емульгатор E471. Зазначені харчові добавки входять до переліку затверджених Євросоюзом харчових добавок і не заборонені до використання.




У складі зразка № 3 Продукт розсільний «Vach de Paris» було виявлено регулятор кислотності E575 – глюконодельта-лактон, регулятор кислотності E339 (ii), консервант E202 – сорбат калію. Дані добавки дозволені до використання в Україні.

За вимогами ДСТУ 7996:2015, сири зберігаються за температури від 0°C до 6°C та відносній вологості повітря від 80% до 85%. За таких умов сир розсільний визрілий у вакуумній упаковці та у полімерній тарі з розсоллом

зберігається 30 діб. Можемо зробити висновок, що розроблені на виробництві ТУ дозволили отримати розсільний сир з більш тривалим терміном зберігання – до 12 місяців. Аналогічний результат продемонстрував продукт розсільний закордонного виробництва (зразок № 3).

Таблиця 3

## Результати експертизи зразків розсільних сирів типу фета за маркувальними даними

Маркування на зразках	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
	Сир м'який «Фелата»	Сир м'який «InSalata»	Продукт розсільний «Паризька Корівка»
			
Торгова марка	ТМ «Premialle»	ТМ «КОМО»	ТМ «Vach de Paris»
Країна-виробник	Україна	Україна	Франція
Виробник	ТОВ «ТЕРРАФУД»	ТОВ «Сиророб»	Flechar SAS Laiterie Du Pont Morin
Пакування	PS короб	«Тетра брік асептик»	«Тетра брік асептик»
Маса, г	230	200	200
Позначення стандарту	ТУ У 15.5- 31984307- 011:2007	ТУ У 10.5- 2125212619- 006:2019	-
Термін та умови зберігання	Не більше 120 днів за температури 4±2°C в герметично закритій тарі	12 місяців. При температурі 0...8°C	Зберігати слід при температурі від +2°C +4°C. Термін придатності: 12 місяців
Склад	Молоко коров'яче нормалізоване, сіль кухонна, закваска чистих культур молочнокислих бактерій, молокозсідальний фермент (ферментативно виготовлений хімозин)	Молоко коров'яче знежирене, масло вершкове, регулятор кислотності E575, сіль кухонна, ароматизатор «Вершковий сир», емульгатор E471, молокозсідальний ферментний препарат	Молоко коров'яче знежирене, сироватка, рослинний жир (пальмова олія 22%), сіль, окислювач E575, мікробіальний сичужний фермент, регулятор кислотності E339 (ii), консервант E202
Номер партії виробництва	+	+	+
Харчова цінність на 100 г продукту:			
- жири, г	16,4 (з них насичені – 11,7)	20,0 (з них насичені – 11,1)	22,0 (з них насичені – 11,2)
- вуглеводи, г	4,5 (з них цукри – 4,5)	2,9 (з них цукри – 2,9)	6,0 (з них цукри – 3,5)
- білки, г	14,0	8,0	7,2
- сіль, г	2,5	2,5	2,5
Енергетична цінність на 100 г, кДж/ккал	921/222	925,3/223,6	1048/251
Інформація про ГМО	Без ГМО	-	-

Порівняльну органолептичну оцінку проведено за 5-бальною шкалою. Комплексним методом розраховано рівень якості продукції з визначенням коефіцієнтів вагомості (метод переваг): смак і запах – 0,45; консистенція – 0,25; колір – 0,15; пакування – 0,15. Установлено такі градації при рівні якості:

- 1,0–0,90 – відмінна якість (за смак і запах оцінка має бути не нижче 4,5 бали);
- 0,89–0,80 – добра (за смак і запах – не нижче 4,0 бали);
- 0,79–0,70 – задовільна (за смак і запах – не нижче 3,0 бали);
- нижче 0,70 – незадовільна.

Шкалу бальної оцінки за органолептичними показниками наведено в табл. 4.

Результати дослідження якості м'яких розсільних сирів різних торгових марок за органолептичними показниками наведено табл. 5.

В результаті органолептичного дослідження найвищі оцінки за всіма показниками отримав зразок № 1 сир м'який «Фелата» ТМ «Premialle» – 4,9 бали при рівні якості 0,99. Сир м'який «InSalata» ТМ «КОМО» також відрізняється високими оцінками (4,0 бали при рівні якості 0,85), особливо за смаком, запахом та консистенцією. Смак його був менш виразним, а консистенція більш крихкою порівняно з попереднім зразком.

Слід зазначити надмірно солоний смак третього зразка (продукт розсільний «Vach de Paris»), а також надто крихку консистенцію, що може бути пов'язано з наявністю рослинного жиру, що не дозволило цьому зразку за якістю піднятися вище задовільної межі.

Таким чином, можна зробити висновок, що кращими органолептичними характеристиками володіють вітчизняні зразки сиру – сир м'який «Фелата» ТМ «Premialle» та сир м'який «InSalata» ТМ «КОМО».




Таблиця 4

## Шкала бальної оцінки за органолептичними показниками

Показник	Характеристика	Оцінка, бали
Смак і запах	Чисті, кисломолочні, без сторонніх присмаків і запахів, смак у міру солоний	5
	Добрий смак, слабо виражений аромат	4
	Занадто солоний смак, слабо виражений аромат	3
	Незадовільний, гіркий, кислий, сторонній запах та смак	2 або 1
Консистенція	В міру щільна, злегка ламка, але не крихка; тісто ніжне	5
	Злегка щільна, не крихка	4
	Крихка, дуже щільна	3
	Груба, пухка, крихка	2 або 1
Колір	Від білого до жовтуватого, однорідний по всій масі	5
	Від білого до жовтуватого, однорідний	4
	Однорідний, із поодинокими вкрапленнями іншого кольору	3
	Нерівномірний по всій масі	2 або 1
Упаковка та маркування	Легко відкривається, сир не деформується під час відкриття; відповідне маркування	5
	Відкривається з невеликими зусиллями; сир не деформується; відповідне маркування	4
	Задовільна, сир злегка деформується під час відкриття; відповідне маркування	3
	Незадовільна, сир значно деформується під час відкриття; неповне маркування	2 або 1

Таблиця 5

## Результати експертизи зразків розсільних сирів типу фета за органолептичними показниками

Показник/оцінка в балах	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
	Сир м'який «Фелата» ТМ «Premialle»	Сир м'який «InSalata» ТМ «КОМО»	Продукт розсільний «Паризька Корівка» ТМ «Vach de Paris»
Зовнішній вигляд зразків без упаковки			
Смак і запах	Чисті, кисломолочні, без сторонніх присмаків і запахів, смак у міру солоний – 4,9	Добрий смак, слабо виражений аромат – 4,2	Занадто солоний смак, слабо виражений аромат – 3,0
Консистенція	В міру щільна, злегка ламка, але не крихка; тісто ніжне – 5,0	В міру щільна, занадто ламка; тісто ніжне – 4,0	В міру щільна, занадто ламка; тісто ніжне – 3,0
Колір	Білий, однорідний по всій масі – 4,8	Білий, однорідний по всій масі – 4,8	Білий, однорідний по всій масі – 3,8
Упаковка та маркування	Легко відкривається, сир не деформується під час відкриття; відповідне маркування – 5,0	Задовільна, сир злегка деформується під час відкриття; відповідне маркування – 3,0	Задовільна, сир злегка деформується під час відкриття; відповідне маркування – 3,0
Середня оцінка	4,9	4,0	3,2
Рівень якості	0,99	0,85	0,73

## Висновки

1. Вибір критеріїв ідентифікації та експертизи розсільних сирів здійснюється на першому етапі шляхом аналізу товаросупровідних документів, маркування, упаковки товару, а також нормативних документів.

2. Основним критерієм ідентифікації сиру та сирних продуктів, які можуть бути використані споживачем на момент придбання товару, є інформація, зазначена на маркуванні щодо складу продукту.

3. За результатами проведеної експертизи маркування встановлено, що обсяг зазначеної інформації на всіх зразках, серед яких сири ТМ «Premille», ТМ «КОМО» та розсільний продукт ТМ «Vach de Paris» відповідає встановленим вимогам, оскільки містять повну інформацію, яка визначена Законом України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів».

4. При проведенні порівняльної органолептичної оцінки за 5-бальною шкалою комплексним методом розраховано рівень якості продукції. Кращими органолептичними характеристиками володіють вітчизняні зразки сиру – сир м'який «Фелата» ТМ «Premialle» та сир м'який «InSalata» ТМ «КОМО».

## Список використаної літератури

1. Гавриляк М.Я., Грисьо Х.Й. Способи фальсифікації та ідентифікації кисломолочних продуктів / URL: <https://konfemc.ukraine7.com/t101-topic> (дата звернення: 06.12.2023).
2. Куник О.М., Нагребельна А.С., Сарібекова Д.Г. Технологічна експертиза вершкового масла. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 6. С. 180–185. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2020-291-6-180-184>.
3. Семешко О.Я., Сарібекова Д.Г., Яловенко К.А. Технологічна експертиза сметани жирністю 15%. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2021. № 3(78). С. 109–116. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.3.11>
4. Ленський В. Чим корисний сир фета URL: <https://treba-solutions.com/chym-korysnyj-syr-feta/> (дата звернення: 06.12.2023).
5. Soda M. El, Awad S., Abd El-Salam M.H. Cheese. Cheeses Matured in Brine, Editor(s): John W. Fuquay, Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition), Academic Press, 2011. P. 790–794. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00092-3>
6. Що треба знати про бринзу, моцареллу та сулугуні URL: <https://khsms.com/chto-nado-znat-o-brynze-mozzarelle-i-suluguni/> (дата звернення: 06.12.2023).
7. ДСТУ 7996:2015: Сири розсільні. Загальні технічні умови [Текст]. Чинний від 2017-01-01. К.: УкрНДНЦ, 2016. III, 15 с.: табл. (Національний стандарт України).
8. ДСТУ 7065:2009: Бринза. Загальні технічні умови [Текст]. На заміну РСТ УРСР 1602-82 ; Чинний від 2010-04-01. К.: Держспоживстандарт України, 2010. III, 12 с. (Національний стандарт України).
9. Головка М.П., Власенко І.Г., Головка Т.М., Семко Т.В. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР: навч. посібник / Харків: Світ Книг, 2021. 290 с.
10. Ножечкіна Г.М. Вдосконалення технології і розробка нормативної документації на виробництво м'яких сирів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 1. С. 67–71.
11. Закон України. Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів. Відомості Верховної Ради (ВВР), № 7. 2019, ст. 41.
12. ДСТУ 4518:2008: Продукти харчові. Маркування для споживачів. Загальні правила: [Текст]. [Чинний від 2009-04-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 52 с. (Національний стандарт України).

## References

1. Havryliak M.Ia., Hryso Kh.I. Sposoby falsyfikatsii ta identyfikatsii kyslomolochnykh produktiv [Methods of falsification and identification of dairy products]. [in Ukrainian]. URL: <https://konfemc.ukraine7.com/t101-topic> (Accessed: 06.12.2023).
2. Kunyk O.M., Nahrebelna A.S., Saribiekova D.H. (2023). Tekhnolohichna ekspertyza vershkovoho masla [Technological expertise of butter]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, № 6, P. 180–185. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2020-291-6-180-184>
3. Semeshko O.Ia., Saribiekova D.H., Yalovenko K.A. (2021). Tekhnolohichna ekspertyza smetany zhyrnistiu 15% [Technological expertise of sour cream with 15% fat content] *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*. № 3(78), P. 109–116. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.3.11>
4. Lenskyi V. Chym korysnyy syr feta [Why feta cheese is good for you] [in Ukrainian]. URL: <https://treba-solutions.com/chym-korysnyj-syr-feta/> (Accessed: 06.12.2023).
5. Soda M. El, Awad S., Abd El-Salam M.H. Cheese. Cheeses Matured in Brine, Editor(s): John W. Fuquay, Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition), Academic Press, 2011. P. 790–794. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00092-3>
6. Shcho treba znaty pro brynzu, motsarellu ta suluhuni [in Ukrainian]. URL: <https://khsms.com/chto-nado-znat-o-brynze-mozzarelle-i-suluguni/> (Accessed: 06.12.2023).
7. DSTU 7996:2015 (2016). Syry rozsil'ni. Zahal'ni tekhnichni umovy [Chynnyy vid 2017-01-01] [DSTU 7996:2015: Salted cheeses. General technical conditions [Valid from 2017-01-01]. Kyiv: UkrNDNC. [in Ukrainian].
8. DSTU 7065:2009 (2010). Brynza. Zahal'ni tekhnichni umovy [Tekst]. – Na zaminu RST URSR 1602-82 [Chynnyy vid 2010-04-01] [Brynza. General technical conditions] [Valid from 2010-04-01]. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny. III, 12 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny). [in Ukrainian].
9. Golovko M.P., Vlasenko I.G., Golovko T.M., Semko T.V. (2021) Tekhnolohiya moloka ta molochnykh produktiv z elementamy NAССР: navch. posibnyk [Technology of milk and dairy products with elements of HACCP: teaching manual]. Kharkiv: Svit Knyg. [in Ukrainian].
10. Nozhechkina G. (2010) Vdoskonalennya tekhnolohiyi i rozrobka normatyvnoyi dokumentatsiyi na vyrobnytstvo m'yakyykh syriv [Improvement of technology and development of regulatory documentation for the production of soft

cheeses]. Visnyk Poltav'skoyi derzhavnoyi ahromoyi akademiyi [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy], no. 1, pp. 67–71. [in Ukrainian].

11. Zakon Ukrainy. Pro informatsiiu dlia spozhyvachiv shchodo kharchovykh produktiv / Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR), № 7. 2019, p. 41. [in Ukrainian].

12. DSTU 4518:2008: Produkty kharchovi. Markuvannya dlya spozhyvachiv. Zahal'ni pravyla: [Tekst]. [Chynnyy vid 2009-04-01] [DSTU 4518:2008:Food products. Labelling for consumers. General rules] [Valid from 2009-04-01]. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2008. 52 p. (Natsional'nyy standart Ukrayiny. [in Ukrainian].



## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

UDC 004.8

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.25>

Y. O. ALBREKHT

Postgraduate Student at the Department of Information Systems and Technologies  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0003-0093-6397

A. V. PYSARENKO

PhD, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Information Systems and Technologies  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-7947-218X

## DECISION-MAKING HETEROGENEOUS UAV SWARM SYSTEM WITH NEURAL NETWORK-ENHANCED REINFORCEMENT LEARNING

*This article explores how artificial intelligence and automation are significantly impacting unmanned aerial vehicles (UAVs), moving from traditional roles to versatile applications.*

*The paper addresses the problem of optimizing the composition of a UAV swarm for efficient task execution by proposing an expert decision-making system that integrates neural networks and reinforcement learning. This system dynamically selects the optimal configuration for heterogeneous UAV swarms, in particular, for searching for objects in unfamiliar terrain. In the experimental phase, an advanced level of system was implemented by combining neural networks and reinforcement learning, based on role-based and MADDPG algorithms for heterogeneous UAV swarms. Decentralized information fusion-based swarm decision making algorithm (IFDSDA) is presented to overcome communication obstacles.*

*The experiment presents a concept for improving heterogeneous UAV swarms using a neural decision network based on reinforcement learning. The environment is represented by a three-dimensional space with objects to be searched in random locations. The neural network evolves its decision-making strategy during training episodes, having an architecture with an input layer that processes information about the UAV's state, hidden layers, and an output layer that influences the swarm's behavior. The paper describes the process of direct propagation, reward-based weight adjustment, and the role of the output layer in determining collective actions.*

*The results demonstrate the effective distribution of UAV types by the swarm based on a neural network, reducing redundancy and resource waste, thereby increasing overall efficiency. The article highlights the optimal solution obtained during the experiment, accompanied by a visual representation of the reward results.*

**Key words:** swarm of UAVs, heterogeneous swarm, reinforcement learning, decision-making system, heterogeneous swarm of UAVs.

Й. О. АЛЬБРЕХТ

аспірант кафедри інформаційних систем та технологій  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0003-0093-6397

А. В. ПИСАРЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних систем та технологій  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-7947-218X

## СИСТЕМА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ГЕТЕРОГЕННИМИ РОЯМИ БПЛА

*У статті досліджується, як штучний інтелект і автоматизація суттєво впливають на безпілотні літальні апарати (БПЛА), переходячи від традиційних ролей до універсальних застосувань.*

*У статті вирішується проблема оптимізації складу рою БПЛА для ефективного виконання завдань, пропонуючи систему прийняття рішень, яка інтегрує нейронні мережі та навчання з підкріпленням. Ця система*

динамічно обирає конфігурацію гетерогенних роїв БПЛА, зокрема, для пошуку об'єктів на незнайомій місцевості. На експериментальній фазі було впроваджено вдосконалений рівень системи шляхом поєднання нейронних мереж і навчання з підкріпленням, на основі рольових алгоритмів та алгоритму MADDPG. Для подолання перешкод зв'язку представлений децентралізований алгоритм прийняття рішень роєм на основі інформаційного злиття (IFDSDA).

Експеримент демонструє покращення роботи системи гетерогенних роїв БПЛА з нейронною мережею для прийняття рішень на основі навчання з підкріпленням. Навколишнє середовище представлено тривимірним простором де знаходяться об'єкти для пошуку у випадкових місцях. Нейронна мережа розвиває свою стратегію прийняття рішень протягом навчальних епізодів, маючи архітектуру з вхідним шаром, що обробляє інформацію про стан БПЛА, прихованими шарами, і вихідним шаром, що впливає на поведінку рою. У статті описано процес прямого поширення, коригування ваг на основі винагороди та роль вихідного шару у визначенні колективних дій.

Результати демонструють ефективний розподіл роєм типів БПЛА на основі нейронної мережі, зменшення надмірності та втрат ресурсів, тим самим підвищуючи загальну ефективність. У статті висвітлено рішення, отримане в ході експериментів, що супроводжується візуальним представленням результатів.

**Ключові слова:** рій БПЛА, гетерогенний рій, навчання з підкріпленням, система прийняття рішень, гетерогенний рій БПЛА.

### Introduction

In the field of robotics, the convergence of AI and automation has catalyzed remarkable transformations in the capabilities of UAVs. Originally confined to roles such as remote sensing and surveillance, UAVs have evolved into multifaceted platforms with applications spanning diverse industries [1]. This evolution has been characterized by breakthroughs that have shattered traditional limitations and paved the way for innovation.

Among these advancements, the emergence of UAV swarms has been particularly intriguing. A departure from single-UAV approaches, swarm technology harnesses the collective power of multiple drones operating harmoniously to accomplish tasks previously deemed infeasible. Drawing inspiration from nature's collective behaviors, such as bird flocks and insect colonies, UAV swarms exemplify the strength in unity [2]. But the question arises if the system would work better with some decision-making tool to select the best setup of the consisting elements of the heterogeneous UAV swarm.

### Description of the problem

In the usage of heterogeneous UAV swarms, a common issue appears to be solved. There is a need to find the optimal number of each type of available UAV to perform the task the most efficient way. Solving this problem can be difficult and making calculations every time can be time-consuming. The solution would be to create a decision-making expert system over the neural network that is controlling the UAVs that would be able to find the optimal set of UAVs for a given task. In this article there was an attempt of finding a proof of concept of having this expert system on a simple but common task on searching objects in unknown area by heterogeneous UAV swarms.

### Elevating Swarm Efficiency via Neural Networks and Reinforcement Learning

In a bid to optimize the potential of UAV swarms, the experiment in the article uses an additional layer of sophistication. This method has been already used in other experiments [3], but not yet in UAV swarms. Building upon the foundation of heterogeneous UAV swarms, an advanced layer is injected into the equation: the fusion of neural networks and reinforcement learning. The goal is clear – to construct a system capable of intelligently distributing distinct UAV types within the swarm, orchestrating their collaboration to achieve optimal performance for specific tasks.

### Heterogeneous UAV swarms

There are already researches on the topic of heterogeneous UAV swarms [4]. The proposed role-based MADDPG algorithm is the base of this research. It not only enables the tracking of multiple targets but also fosters exploration for undiscovered targets via a Voronoi-based rewarding policy. The algorithm's effectiveness is demonstrated through comprehensive implementation, testing, and validation in a simulation environment. Following this, the approach is assessed using a real-world multi-robot system featuring micro drones.

For the experiment the Python gym library was used. This library was created by OpenAI Company. And it has one advancement in comparison between the other methods – it has the possibility to add custom environments [5].

### Decentralized decision-making algorithm

The study [6] introduces the Information-Fusion based Decentralized Swarm Decision Algorithm (IFDSDA) for coordinating UAV swarms in situations of communication interference or failure. Each UAV uses a monocular camera to perceive the area ahead, and the IFDSDA employs an information fusion strategy to integrate communication and visual perception data. This enables UAVs to effectively utilize different information in the absence of communication. The decentralized swarm decision module, controlling each UAV, generates heading orientation based on the fused information and basic action rules. Weight parameters for the combination are optimized using a heuristic genetic algorithm offline. Simulations demonstrate the proposed method's effectiveness, scalability, and robustness compared to the ISOA method and its variant. The study [6] aims to reduce swarm dependence on network communication and enhance adaptability in complex battlefield environments.

Large-scale UAV swarms have diverse applications, including express logistics, agricultural plant protection, emergency relief, and reconnaissance. Collaborative decision-making is vital for autonomous UAV swarms, often relying on centralized or decentralized control with wireless communication. However, these approaches face limitations due to interference or unreliable data links. Decentralized swarm decision models assume ideal communication, but they become inefficient during communication outages. The study [6] addresses this issue by proposing the IFDSDA, focusing on decentralized swarm decision-making under communication interference.

The research landscape involves improving communication network invulnerability, exploring novel swarm decision-making mechanisms, and compensating for UAV perception in failure cases. The IFDSDA contributes by presenting:

- a decentralized algorithm composed of information fusion and decision-making processes, enhancing swarm scalability without global information dependence;
- an information fusion strategy integrating communication and visual perception data, increasing swarm reliability and adaptability;
- macro-level swarm behaviors generated through basic action rules, allowing flexibility and optimization through a genetic algorithm;
- simulation validation of IFDSDA's effectiveness, scalability, and adaptability in collision/obstacle avoidance and area search missions.

### Experiment Setup

This experiment introduces an elevated setup, augmenting the conventional heterogeneous UAV swarm with a decision-making neural network with reinforcement learning. This neural network acts as the conductor, directing the swarm's synergy and evolution based on acquired knowledge.

#### *Environment Formation.*

An environment is designed to challenge the swarm's abilities in a search for object groups within an unknown area. This controlled environment mirrors real-world complexities, providing a testing ground for the enhanced swarm. During the experiment, the environment consists of a number of objects the agents have to first find, and then continue following until the time of the experiment ends.

The environment consists of a 3 dimensional field in 100x100x100 area and N objects in random placement, where N – the number of UAVs used in the experiment.

#### *Heterogeneous UAV Compositions.*

This diversity empowers the swarm with a versatile skill set that can tackle multifaceted challenges. The system consists of two different types of agents with one of them being slower (slower max speed) but with the ability to detect objects faster (from a bigger radius) and the second with these parameters reversed.

#### *Neural Network Architecture.*

To steer the swarm's actions intelligently, a neural network was added. Guided by reinforcement learning algorithms, the network takes into account each UAV's state and steers the swarm towards actions that maximize rewards within the environment. Over time, the network evolves, adapting its decision-making strategy to optimize outcomes. The decision-making strategy is also built as another layer of a neural network to determine which setup of UAV agents would be the best solution for the given scenario.

### Algorithm Structure

The algorithm governing the training of the heterogeneous UAV swarm, empowered by neural networks and reinforcement learning, can be outlined as follows:

```

begin
  init_state = initialize the UAV environment
  params = define reinforcement learning parameters
  decision_params = define reinforcement learning parameters of the decision making layer
  model = define neural network model, including the values that state the type of
  objects in the swarm
  metrics = define metrics
  N = number of episodes
  T = number of timesteps
  S = number of UAVs in the swarm
  for training_episode = 0 to N do:
    environment = init_state
    reward = 0
    for time_step = 0 to T do:
      for i = 0 to S do:
        observe_current_state(UAV[i])
        set_next_decision(UAV[i])

```

```

endfor
environment = next_step(model, environment)
reward = calculate_reward(environment)
update_network(model, params, reward)
endfor
record_metrics_for_episode(reward, training_episode, metrics)
update_decision_layer(model, decision_params, reward)
endfor
create_diagram(metrics)
end

```

### Neural Network Architecture

The neural network that drives the decision-making process within enhanced UAV swarm is structured to extract and process relevant information from each UAV's state. This information is used to determine the most suitable action for the swarm as a collective entity.

Let's look at the neural network architecture in more detail.

*Input Layer:*

The input layer of the neural network accepts the state information of each UAV as input. Let  $s_i$  denote the state of UAV  $i$ , which includes attributes such as the UAV's position ( $p_i$ ), sensor data ( $sd_i$ ), communication status ( $cs_i$ ), and task-specific cues ( $tc_i$ ). Mathematically, the input to the neural network's input layer can be represented as:

$$Input_i = [p_i, sd_i, cs_i, tc_i].$$

*Hidden Layers.*

The neural network consists of multiple hidden layers that process the input data, extracting features and patterns that influence decision-making [7]. Each hidden layer contains neurons interconnected through weighted connections. The activation of a neuron  $j$  in layer  $l$  ( $a_j^{(l)}$ ) is computed using the weighted sum of inputs ( $z_j^{(l)}$ ) and an activation function ( $\sigma$ ). For a given neuron  $j$  in hidden layer  $l$ , the calculation is:

$$z_j^{(l)} = \sum_{i=1}^{n^{(l-1)}} \omega_{ji}^{(l)} * a_i^{(l-1)} + b_j^{(l)},$$

where  $a_j^{(l)} = \sigma(z_j^{(l)})$ ,

$\omega_{ji}^{(l)}$  – weight parameter of a given layer,

$b_j^{(l)}$  – bias parameter for the given hidden layer [8].

*Forward Propagation.*

Moving forward the system adjusts the weights of the network's connections based on the collected rewards ( $r_i$ ) and experiences, facilitating learning. The adjustment process, guided by reinforcement learning algorithms, aims to maximize cumulative rewards over time. The reward is based on the number of UAVs that are near the searchable object and is decremented based on the UAVs that are not near any object. The weight update rule for a connection between neuron  $j$  in layer  $l$  and neuron  $k$  in layer  $l+1$  can be expressed as:

$$\Delta\omega_{jk}^{(l)} = \alpha * a_j^{(l)} * \delta_k^{(l+1)},$$

where  $\delta_k^{(l+1)} = \frac{\partial L}{\partial z_k^{(l+1)}}$ ,

$L$  – loss function,

$z_k^{(l+1)}$  – intermediate neuron value, on neuron  $k$  in layer  $(l+1)$ . It is calculated from the weight, bias and neuron value of the previous layer.

The weight and bias parameters are updated by subtracting the partial derivation of the loss function with respect to those parameters [9].

*Output Layer:*

The final layer of the neural network produces the output action for the swarm. This action guides the collaborative behavior of the UAVs, directing them toward the most beneficial actions within the environment. Let  $a_i$  represent the output action for UAV  $i$ , which influences the swarm's collective behavior.

The neural network evolves through training episodes as the swarm engages in tasks. The adaptation of its decision-making strategy occurs as the network learns from experiences and refines its approach, culminating in optimal performance based on the task's requirements.

### Insights from Results

The neural network-fueled swarm aptly distributes different UAV types based on the task's demands. This dynamic allocation enhances the swarm's effectiveness, facilitating efficient task completion in diverse scenarios.

The neural network-orchestrated swarm demonstrates heightened efficiency in task execution. Its ability to make intelligent decisions on optimal UAV selection curtails redundancy and resource wastage, thus amplifying overall efficiency.

The results of the experiment showed that the best solution for the given scenario was the one with 2 slow types of agents and 3 faster ones. To prove the concept a new experiment was conducted, where all the different possible scenarios were tested with the combination of 5 drones consisting of different types. The results of the reward are in the picture below (Fig. 1) proving the best solution with 2 slower agents (called planes in the picture).

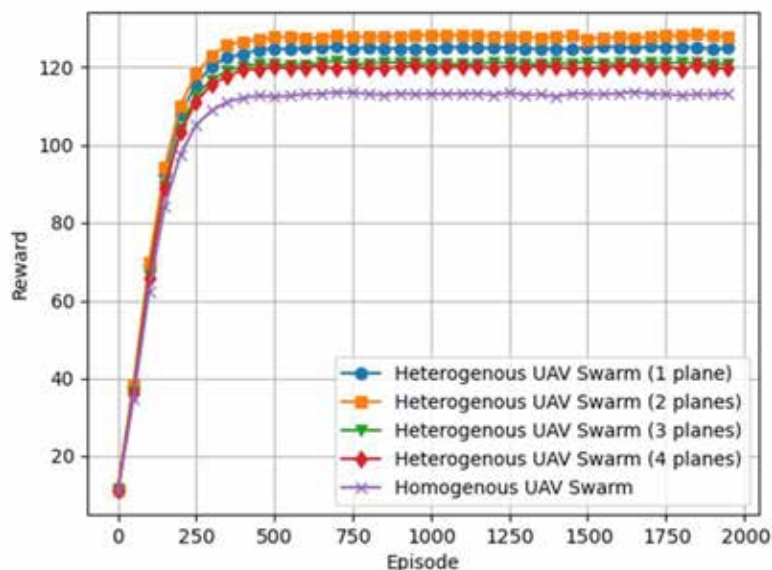


Fig. 1. Rewards of the system for different setup of the swarm

### Conclusion

The dynamic environment of UAV swarms evolves further as neural networks and reinforcement learning converge. The outcomes of the experiment reverberate with practical implications, as it gives the proof of concept of a system that would be able to choose the best approach of existing UAVs to maintain the fastest and most efficient result. The fusion of neural networks and reinforcement learning to optimize heterogeneous UAV swarms underscores the essential role of AI techniques in fully exploiting the potential of collaborative aerial systems. As industries embrace swarm-based technologies, the ability to dynamically allocate resources within the swarm broadens horizons for efficiency gains and refined task accomplishment.

Upcoming research could explore scenarios such as dynamic environments, varied task distributions, and real-time decision-making complexities. Exploring mechanisms to integrate external data sources into the decision-making process could further augment the swarm's capabilities. Adding the more advanced physics of the flight with some dynamic changes of the environment would be the way to better imitate the real world, getting the experiment to the new level. Other way of advancing the experiment could be creation of an algorithm of adding new types of UAVs to the list during the experiment and making possible to add additional UAVs to the swarm in the middle of the process.

### References

1. Yongkun Zhou, Bin Rao, Wei Wang. (2020) UAV Swarm Intelligence: Recent Advances and Future Trends. *School of Electronics and Communication Engineering*. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3028865
2. Hanno Hildmann, Ernő Kovacs, Fabrice Saffre, A. F. Isakovic. (2019) Nature-Inspired Drone Swarming for Real-Time Aerial Data-Collection Under Dynamic Operational Constraints. *Drones*.
3. Xiaofeng Hong, Yonghui Zhao, Nasreen Kausar, Ardashir Mohammadzadeh, Dragan Pamucar, Nasr Al Din Idecor. (2022) A New Decision-Making GMDH Neural Network: Effective for Limited and Fuzzy Data. *Computational Intelligence and Neuroscience*.

4. Maryam Kouzeghar, Youngbin Song, Malika Meghjani, Roland Bouffanais. (2023) Multi-Target Pursuit by a Decentralized Heterogeneous UAV Swarm using Deep Multi-Agent Reinforcement Learning. *ICRA*. DOI:10.1109/ICRA48891.2023.10160919
5. Ashish Rana. (2018) Reinforcement Learning with OpenAI Gym. *Towards Data Science*.
6. Ziquan Wang, Juan Li, Jie Li, Chang Liu. (2023) A decentralized decision-making algorithm of UAV swarm with information fusion strategy. *Expert Systems with Applications*.
7. Jide Nosakare Ogunbo, Olufemi Adigun Alagbe, Michael Ilesanmi Oladapo, Changsoo Shin. (2020) N-hidden layer artificial neural network architecture computer code: geophysical application example. *Computer Science*.
8. Yesmina Jaafraa, Jean Luc Laurent, Aline Deruyvera, Mohamed Saber Naceur. (2019) Reinforcement Learning for Neural Architecture Search: A Review. *Elsevier*.
9. Bhavika (2019) Mathematics behind the Neural Network. *Machine Learning Model*.

**А. С. ВЕЧЕРКОВСЬКА**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри програмних систем та технологій  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ORCID: 0000-0003-2054-2715

**С. В. ПОПЕРЕШНЯК**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформатики та програмної інженерії  
Національний технічний університет України  
«Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-0531-9809

## ОГЛЯД АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН КУПІВЛІ КРИПТОВАЛЮТИ

У даній роботі надається вичерпний огляд сучасних алгоритмів машинного навчання та їхньої застосування в контексті прогнозування цін на купівлю криптовалюти. Криптовалютний ринок є особливо цікавим для інвесторів через свою високу волатильність, яка, з одного боку, створює можливості для прибуткових операцій, а з іншого – вимагає точних прогнозів для визначення вигідних моментів покупки та продажу.

Важливо враховувати, що аналіз цінових тенденцій та прогнозування майбутніх змін в умовах такої високої ринкової нестабільності стає справжнім викликом для торговців та інвесторів. Алгоритми машинного навчання є потужним інструментом у руках фахівців, які прагнуть зробити точні та обґрунтовані прогнози.

Що стосується прикладів застосування алгоритмів машинного навчання, вони розглядаються в різних предметних галузях. Серед різноманітних алгоритмів, ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) видається особливо ефективним для аналізу часових рядів цін на криптовалюту. ARIMA є статистичною моделлю, яка поєднує авторегресію, інтеграцію та ковзне середнє. Цей підхід особливо корисний для прогнозування цінових тенденцій, оскільки враховує попередні значення цін та їх зміни в часі. У той же час, регресійні моделі, наприклад, лінійна регресія чи нейронні мережі, дозволяють прогнозувати конкретні значення цін на певний часовий період.

У той же час, регресійні моделі, які використовуються для прогнозування конкретних значень, такі як лінійна регресія чи нейронні мережі, можуть забезпечити більш деталізовані прогнози цін на певний часовий період. Нейронні мережі, зокрема, можуть автоматично виявляти складні патерни в даних та адаптуватися до змін в ринкових умовах.

Зазначимо, що використання ARIMA та інших алгоритмів машинного навчання в аналізі криптовалютного ринку є важливим кроком у напрямку розуміння й прогнозування динаміки цін, що, в свою чергу, сприяє ефективному управлінню портфелем та прийняттю обґрунтованих рішень в умовах фінансової нестабільності.

**Ключові слова:** алгоритми машинного навчання, криптовалюта, прогнозування ціни, ARIMA.

**A. S. VECHERKOVSKAYA**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Software Systems and Technologies  
Taras Shevchenko National University of Kyiv  
ORCID: 0000-0003-2054-2715

**S. V. POPERESHNYAK**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Informatics and Software Engineering  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-0531-9809

## OVERVIEW OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS AND THEIR APPLICATION FOR PREDICTION OF CRYPTOCURRENCY PURCHASE PRICES

This work provides a comprehensive overview of modern machine learning algorithms and their application in forecasting cryptocurrency purchase prices. The cryptocurrency market is particularly intriguing for investors due to its high volatility, which presents both opportunities for profitable operations and challenges that demand precise predictions to identify advantageous moments for buying and selling.

*Analyzing price trends and forecasting future changes in the midst of such high market instability poses a real challenge for traders and investors. Machine learning algorithms serve as powerful tools for professionals seeking accurate and well-founded predictions.*

*Regarding examples of machine learning algorithm applications, various fields are explored. Among the diverse algorithms, Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) stands out as particularly effective for analyzing time series of cryptocurrency prices. ARIMA is a statistical model that combines autoregression, integration, and moving average components. This approach proves valuable for forecasting price trends by considering previous price values and their changes over time. Additionally, regression models such as linear regression or neural networks allow for predicting specific price values over a certain time period.*

*Regression models used to forecast specific values, like linear regression or neural networks, can provide more detailed price forecasts over a specific time period. Neural networks, in particular, can automatically detect complex patterns in data and adapt to changes in market conditions.*

*It's noteworthy that the utilization of ARIMA and other machine learning algorithms in cryptocurrency market analysis represents a significant step toward understanding and predicting price dynamics. This, in turn, facilitates effective portfolio management and the formulation of well-informed decisions amid financial instability.*

*In conclusion, the integration of ARIMA and various machine learning algorithms into the analysis of the cryptocurrency market is a crucial advancement in comprehending and forecasting price dynamics. This advancement contributes to efficient portfolio management and the ability to make informed decisions in the face of financial instability.*

**Key words:** machine learning algorithms, cryptocurrency, price forecasting, ARIMA.

### Постановка проблеми

Алгоритми машинного навчання використовуються усюди – починаючи від камер зовнішнього нагляду, спостереженням за слідуванням правил дорожнього руху, закінчуючи розподілом навантаження на лопатки турбіни на великих ТЕС. Алгоритми машинного навчання, також використовуються у завданнях для автоматичного виявлення закономірностей і побудови моделей на основі вхідних даних.

Саме у сферах, де потрібно монотонно опрацювати та аналізувати об'єми даних будуть корисні інструменти машинного навчання. Основні області застосування алгоритмів машинного навчання включають: класифікація (алгоритми машинного навчання можуть класифікувати об'єкти або дані на певні категорії на основі попереднього навчання), регресія (алгоритми машинного навчання також можуть передбачати числові значення на основі попереднього навчання), кластеризація (алгоритми кластеризації групують схожі об'єкти разом без надання їм попередніх міток або категорій), рекомендаційні системи (алгоритми машинного навчання використовуються для рекомендаційних систем, які аналізують вподобання індивіда або групи та надають рекомендації щодо товарів, послуг або контенту, які ймовірно зацікавлять користувачів), обробка природної мови (алгоритми машинного навчання використовуються для аналізу та розуміння людської мови), комп'ютерне зорове сприйняття (алгоритми машинного навчання використовуються для розпізнавання об'єктів на зображеннях і відео, виявлення облич, вирізання заднього фону та багатьох інших задач у сфері комп'ютерного зору).

Наведено лише декілька прикладів застосування алгоритмів машинного навчання, вони, також, широко використовуються в багатьох інших галузях, таких як медицина, фінанси, автономні автомобілі, промисловість та багато іншого. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати великі обсяги даних та шукати закономірності, що допомагають передбачати майбутні зміни цін. Це означає що подібні алгоритми можливо використовувати для прогнозування ціни купівлі криптовалюти. Ринок криптовалют відомий своєю високою волатильністю, що створює можливості для прибуткових операцій, але також вимагає точних прогнозів для виявлення вигідних моментів покупки.

Ринок криптовалют також є складним і залежить від багатьох факторів, таких як новини, події в галузі, регуляторні рішення та інше. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати ці фактори, а також інші впливові чинники, щоб прогнозувати ціни криптовалют на основі комплексного набору даних.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останні роки великої популярності набули різноманітні алгоритми машинного навчання та їх застосування до операцій на криптовалютній біржі. Задачею інженерії ознак як етапу інформаційної технології прогнозування курсу криптовалют займається велика кількість науковців провідних країн світу [1]–[4]. Але у їхній переважній більшості властива відсутність системного підходу до відбору ознак. Розроблено інформаційну технологію прогнозування курсу криптовалют на основі комплексної інженерії ознак [5]. Вивчались закономірності ціноутворення криптовалюти та можливість застосування алгоритмів нелінійного регресійного аналізу та алгоритмів передбачення часових рядів для створення системи передбачення вартості криптовалюти [6].

### Формулювання мети дослідження

Криптовалюти, такі як Bitcoin, Ethereum і інші, стали дедалі більш популярними і привабливими для інвесторів та трейдерів. Прогнозування цін криптовалют допомагає інвесторам приймати обґрунтовані рішення щодо покупки або продажу, а також виявляти можливості отримання прибутку. На ринку криптовалют накопичується



велика кількість даних, таких як історичні ціни, обсяги торгів, новини тощо. Алгоритми машинного навчання використовують ці дані для побудови моделей, які допомагають передбачати майбутні ціни на основі зібраної інформації.

Однією з основних переваг застосування алгоритмів передбачення цін на криптовалюти є можливість здійснювати раціональні та обгрунтовані рішення з урахуванням аналізу та прогнозу цінних тенденцій. Передбачення можуть допомогти інвесторам визначити найкращий час для входу або виходу з ринку, зменшуючи ризик втрат або підвищуючи потенційний прибуток. Застосування алгоритмів передбачення також дозволяє інвесторам більш об'єктивно оцінювати ризики та рентабельність своїх інвестицій. За допомогою передбачень цін на криптовалюти, інвестори можуть створювати стратегії управління портфелем, враховуючи інформацію про майбутні цінні зміни.

Це дозволяє зменшити вплив емоційних рішень та покращити раціональність торговельних стратегій. Крім того, алгоритми передбачення можуть допомогти трейдерам виявляти та використовувати торговельні сигнали на основі цінних змін. За допомогою передбачень, трейдери можуть визначати точки входу або виходу з ринку, встановлювати стоп-лоси або прибуткові цілі. Це дозволяє здійснювати більш обгрунтовані торговельні рішення і покращує шанси на успіх на ринку криптовалют.

Незважаючи на потенційні користі, важливо розуміти, що передбачення цін на криптовалюти є складною задачею і не можуть гарантувати абсолютну точність. Ринок криптовалют піддається впливу багатьох факторів, таких як новини, регуляторні зміни, технічні проблеми та інші, що можуть призвести до неочікуваних змін у цінах. Тому передбачення слід розглядати як інструмент для прийняття рішень, а не як абсолютний прогноз майбутніх подій.

Загалом, застосування алгоритмів передбачення цін на купівлю криптовалюти може бути корисним для інвесторів і трейдерів, допомагаючи їм приймати обгрунтовані рішення та покращувати їх результативність на ринку криптовалют. Однак, важливо враховувати, що передбачення не є безпомилковими і ризики вкладень на ринку криптовалют залишаються.

Метою роботи є проаналізувати алгоритми машинного навчання, та обрати найбільш підходящий для прогнозування ціни криптовалюти в майбутньому.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Існує багато популярних алгоритмів машинного навчання, кожен з яких має свої унікальні властивості та призначення. Ось кілька з найпопулярніших алгоритмів та їх призначення:

1. Лінійна регресія (Linear Regression): Використовується для моделювання лінійних залежностей між входними змінними та 3 вихідними значеннями. Використовується для прогнозування числових значень.
2. Метод k-найближчих сусідів (k-Nearest Neighbors, k-NN): Використовується для класифікації та регресії шляхом знаходження k найближчих сусідів для нових даних.
3. Нейронні мережі (Neural Networks): Моделі, що імітують нейронну структуру мозку, і використовуються для широкого спектру завдань, від класифікації до глибокого навчання.
4. ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average): Це алгоритм, що використовується для прогнозування часових рядів. ARIMA комбінує авторегресійну модель (AR), модель ковзного середнього (MA) і модель інтегрованого руху (I) для моделювання складних залежностей у часових рядах. ARIMA часто використовується для прогнозування економічних показників, фінансових часових рядів та інших послідовностей даних зі змінною структурою.

Узагальнюючи попереднє наведемо порівняння алгоритмів машинного навчання у Таблиці 1.

Таблиця 1

**Результати порівняння алгоритмів машинного навчання**

Алгоритм	Переваги	Недоліки	Складність застосування
Лінійна регресія	Простота реалізації та інтерпретації	Припущення про лінійну залежність, обмежена гнучкість моделі	Прогнозування, аналіз впливу факторів на залежну змінну
Метод k-nn	Простота реалізації, незалежність від припущень про розподіл	Висока обчислювальна складність для великих об'ємів даних	Класифікація, регресія, аналіз схожості в даних
Нейронна мережа	Здатність виявляти складні залежності	Потреба у великій кількості даних для навчання, складність інтерпретації	Обробка зображень, розпізнавання мови, прогнозування
ARIMA	Можливість моделювання часових залежностей, стійкість до шуму	Вимога до стаціонарності даних, обмежена здатність моделювання	Прогнозування часових рядів, аналіз трендів та сезонності

З огляду на обставини та потреби для проекту – оптимальним рішенням буде обрати алгоритм ARIMA. Таке рішення прийнято з огляду на те, що алгоритм дозволяє передбачати з урахуванням трендів, циклічності,

сезонність. Також можна реалізувати шаблони для залежності в часових рядах. Алгоритм є надзвичайно гнучким та дозволяє прогнозувати залежності в фінансах, часових рамках, кліматичних, економічних подіях. Можна прогнозувати різні часові проміжки – починаючи з декількох днів – закінчуючи десятиліттями. ARIMA може бути корисним для виявлення та управління шумом або випадковими змінними в часових рядах. Він дозволяє виділити справжні тренди та залежності, відокремлюючи їх від шуму.

#### Математична модель для прогнозування в ARIMA

Математична модель для прогнозування в ARIMA може бути представлена у вигляді рівняння:

$$\hat{y} = c + \sum_{i=0}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

де:

$y^{\wedge}t$  – прогнозоване значення в момент часу,

$tc$  – постійний член або зсув,

$p$  – порядок авторегресії (кількість попередніх значень ряду, врахованих у моделі),

$\phi_i$  – коефіцієнти авторегресії,

$y_{t-i}$  – значення ряду в попередніх моментах часу,

$q$  – порядок ковзних середніх (кількість попередніх зашумлених значень, врахованих у моделі),

$\theta_j$  – коефіцієнти ковзних середніх,

$\varepsilon_{t-j}$  – зашумлені значення ряду в попередніх моментах часу.

Дане представлення враховує залежність між поточним значенням ряду і його попередніми значеннями (авторегресійна складова) та залежність між поточним значенням ряду і шумом, що враховується у попередніх моментах часу (ковзна середня складова).

Для отримання прогнозів в майбутньому, необхідно встановити значення коефіцієнтів  $\phi_i$ ,  $\theta_j$  та використати їх разом з попередніми значеннями ряду для обчислення прогнозованих значень.

Важливо пам'ятати, що точність передбачень залежить від правильного підбору параметрів моделі ARIMA і стаціонарності часового ряду. Крім основної формули для прогнозування, ARIMA також використовує інші формули для побудови моделі та оцінки параметрів. Основні формули, що використовуються в ARIMA, включають:

Для визначення авторегресії (AR) використаємо математичну модель:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \varepsilon_t$$

де:

$\phi_i$  – коефіцієнти авторегресії,

$y_t$  – значення ряду в попередніх моментах часу,

$\varepsilon$  – зашумлене значення ряду в поточний момент часу.

Ковзні середні (MA) визначаються за допомогою представлення:

$$y_t = c + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

де:

$\theta_j$  – коефіцієнти ковзних середніх,

$\varepsilon_{t-j}$  – зашумлені значення ряду в попередніх моментах часу.

Авторегресію зі зсувом (ARIMA) визначимо за допомогою рівняння:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

де:

$\phi_i$  – коефіцієнти авторегресії,

$y_{t-i}$  – значення ряду в попередніх моментах часу,

$\varepsilon_t$  – зашумлене значення ряду в поточний момент часу,

$\theta_j$  – коефіцієнти ковзних середніх,

$\varepsilon_{t-j}$  – зашумлені значення ряду в попередніх моментах часу.

Для стаціонарності ряду використаємо формулу диференціювання:

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$$

де  $\Delta y_t$  – різниця між поточним і попереднім значеннями ряду.

Приведені математичні моделі використовуються для визначення структури та параметрів моделі, що дозволяє зробити прогнози для часового ряду.

### Порівняння алгоритмів ARIMA

В залежності від потреб – алгоритм може працювати з різним набором параметрів та послідовністю дій. Серед основних, можна виділити такі різновиди:

ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) є статистичним алгоритмом прогнозування часових рядів. Він поєднує три основні компоненти: авторегресію (AR), інтеграцію (I) та ковзне середнє (MA), математичну модуль якого розглянули вище. Основний принцип ARIMA полягає в моделюванні та прогнозуванні часових рядів на основі їх структури та залежностей між спостереженнями. Алгоритм виконує кілька кроків для досягнення цієї мети. Починаючи зі стабілізації дисперсії, ARIMA може застосовувати методи, такі як логарифмування або зрізання, для забезпечення рівномірної дисперсії в часовому ряді. Інтегрована компонента (I) ARIMA використовує диференціювання, щоб перетворити нестационарний часовий ряд на стаціонарний. Це досягається шляхом віднімання попереднього спостереження від поточного. У випадку нестационарного ряду диференціювання може бути застосоване кілька разів, поки не буде досягнута стаціонарність. ARIMA використовує авторегресійну компоненту (AR), яка враховує залежність між поточним спостереженням та попередніми спостереженнями, а також ковзне середнє (MA), яке моделює шумову складову ряду. Вибір оптимальних значень параметрів AR та MA залежить від аналізу автокореляційної та часткової автокореляційної функцій. Після вибору оптимальних параметрів AR та MA, ARIMA підганяє модель до наявних даних та здійснює прогноз на майбутній період. Переваги ARIMA включають здатність моделювати та прогнозувати часові ряди зі складною структурою та залежностями. Він також може бути застосований до різних типів даних та добре справляється з нестационарними рядами. Крім того, ARIMA відносно простий у застосуванні та інтерпретації. Однак, ARIMA має свої недоліки. Він передбачає лінійні залежності та незмінну варіабельність часового ряду, що може бути обмеженням для моделювання складних рядів. Він також може бути чутливим до аномалій або випадкових викидів в даних, що може вплинути на точність прогнозування. У вашій курсовій роботі важливо враховувати переваги та недоліки ARIMA та вибрати алгоритм прогнозування, який найкраще відповідає контексту та вимогам вашого дослідження.

SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) є розширенням алгоритму ARIMA для прогнозування сезонних часових рядів. Він включає у себе всі компоненти ARIMA (авторегресія, інтеграція та ковзне середнє), а також додаткову сезонну компоненту. Головна ідея SARIMA полягає в моделюванні та прогнозуванні сезонних залежностей в часових рядах. Він враховує сезонну структуру даних та залежності між спостереженнями на різних періодах в серії. Це дозволяє краще моделювати та прогнозувати сезонні зміни та патерни в часових рядах. SARIMA використовує сезонну авторегресію (SAR), сезонну інтеграцію (SI) та сезонне ковзне середнє (SMA) для опису сезонних залежностей. Параметри SARIMA включають параметри сезонної авторегресії, сезонної інтеграції, сезонного ковзного середнього, а також параметри AR, I та MA, які використовуються в ARIMA. Однією з переваг SARIMA є його здатність ефективно моделювати та прогнозувати сезонні залежності в часових рядах. Враховуючи сезонність, SARIMA дозволяє краще захоплювати сезонні патерни та тренди, що можуть бути важливими для точного прогнозування. Проте SARIMA також має свої обмеження. Він вимагає достатньо великої кількості даних для точного моделювання сезонності. Крім того, вибір оптимальних параметрів SARIMA може бути складним та вимагати значного обчислювального часу. Загалом, SARIMA є потужним алгоритмом для моделювання та прогнозування сезонних часових рядів. Його використання може бути корисним для вирішення завдань прогнозування, де сезонні залежності грають важливу роль.

ARIMAX (Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables) є розширенням алгоритму ARIMA, яке дозволяє враховувати вплив зовнішніх змінних або екзогенних факторів на прогнозування часових рядів. У порівнянні зі звичайним ARIMA, ARIMAX дозволяє включати додаткові екзогенні змінні у модель, що може покращити точність прогнозування. Основний принцип ARIMAX полягає в додаванні екзогенних змінних до моделі ARIMA. Екзогенні змінні можуть бути будь-якими змінними, які впливають на часовий ряд і не залежать від нього. Наприклад, це можуть бути економічні показники, погодні умови, соціальні фактори тощо. ARIMAX використовує авторегресійні, інтегровані та ковзні середні компоненти ARIMA для моделювання внутрішньої структури часового ряду, а також включає додатковий компонент для екзогенних змінних. Цей додатковий компонент дозволяє моделі враховувати залежності між екзогенними змінними та цільовим часовим рядом. Перевагою ARIMAX є можливість враховувати зовнішні впливи на прогнозування, що дозволяє отримати більш точні прогнози в умовах, коли існують важливі екзогенні фактори. Включення екзогенних змінних дозволяє моделі ухвалювати додаткову інформацію та краще адаптуватись до змін у зовнішньому середовищі. Проте ARIMAX також має свої обмеження. Він вимагає наявності достатньої кількості як внутрішніх, так і екзогенних даних для точного моделювання. Крім того, вибір правильних екзогенних змінних та їх впливу на модель може бути складним завданням, яке вимагає дослідження та експертизи. Узагальнюючи, ARIMAX є потужним інструментом для прогнозування часових рядів з урахуванням впливу екзогенних змінних. Використання ARIMAX може покращити точність прогнозування, особливо в ситуаціях, коли зовнішні фактори мають значний вплив на часовий ряд.

Vector ARIMA (VARIMA) є розширенням алгоритму ARIMA, яке дозволяє моделювати та прогнозувати взаємозалежні часові ряди. Замість моделювання одного часового ряду, VARIMA моделює кілька часових рядів як

векторну систему. Основний принцип VARIMA полягає в уявленні кількох часових рядів як вектору, де кожен ряд взаємодіє з іншими рядами у системі. VARIMA включає авторегресійні, інтегровані та ковзні середні компоненти для кожного ряду в системі, а також коефіцієнти взаємозалежності між рядами. Моделювання VARIMA вимагає врахування взаємних залежностей між рядами, що можуть бути виявлені за допомогою аналізу кореляцій та коваріацій між рядами. VARIMA може бути використаний для прогнозування та аналізу багатьох часових рядів, таких як економічні показники, фінансові дані, попит та прогнозування продажів. Перевагою VARIMA є його здатність моделювати та прогнозувати взаємозалежність між часовими рядами, що дозволяє краще захоплювати динаміку системи та залежності між рядами. VARIMA також дозволяє враховувати ефекти взаємодії між рядами та змінювати їх вплив на часовий ряд з часом. Проте VARIMA також має свої обмеження. Він вимагає достатньої кількості даних для точного моделювання та прогнозування векторної системи. Крім того, вибір правильної кількості та взаємодії між рядами може бути складним завданням, особливо у великих системах з багатьма рядами. Узагальнюючи, VARIMA є потужним інструментом для моделювання та прогнозування взаємозалежних часових рядів. Використання VARIMA може допомогти у розумінні та прогнозуванні складних систем, де взаємодія між рядами відіграє важливу роль.

ARCH (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity) є моделлю, яка використовується для моделювання та прогнозування змінності (гетероскедастичності) у часових рядах. У звичайних моделях ARIMA передбачається, що змінність часового ряду є постійною в часі. Проте, ARCH враховує факт, що змінність може змінюватися залежно від минулих значень ряду. У моделі ARCH, змінність у часовому ряді залежить від квадратів попередніх спостережень. Більш конкретно, ARCH використовує авторегресійну компоненту, де квадрат значень часового ряду (або їх регресійні коефіцієнти) виступають як предиктори для змінності. Це дозволяє моделювати залежність між спостереженнями та їх змінністю. ARCH може бути особливо корисним при аналізі фінансових даних або інших часових рядів, де змінність є нерівномірною і може залежати від 10 попередніх значень. Модель ARCH дозволяє краще захопити ці залежності та покращити точність прогнозування змінності. Проте, ARCH також має свої обмеження. Модель ARCH припускає, що змінність залежить тільки від попередніх значень ряду і не враховує вплив інших факторів. Крім того, визначення кількості попередніх значень, які слід включити в модель ARCH, може бути складним завданням і вимагати експериментів та перевірок. Для вирішення задачі передбачення ціни на криптовалюту можна використовувати будь який варіант алгоритму. В контексті даної роботи буде використовуватись два варіанта: ARIMA, ARIMAX. ARIMA для прогнозування цін в майбутньому на основі даних про ціну, які були в минулому. ARIMAX для прогнозування ціни в майбутньому з урахуванням цін в минулому та зовнішніх факторів.

### Висновки

Було детально розглянуто концепцію ARIMA та його основні принципи. Була проведена обґрунтована аналітична робота та описано, як ARIMA може бути використана для прогнозування ціни криптовалюти. У ході дослідження було зібрано та проаналізовано ARIMA алгоритми, для подальшого їх використання при розробці програмного забезпечення передбачення ціни криптовалюти на основі ARIMA.

### Список використаної літератури

1. N. P. Patel, et al., "Fusion in Cryptocurrency Price Prediction: A Decade Survey on Recent Advancements, Architecture, and Potential Future Directions," IEEE Access, vol. 10, pp. 34511–34538, 2022, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3163023>.
2. M. Chen, and N. Narwal, "Predicting price changes in ethereum," Int. J. Comput. Sci. Eng., vol. 4, pp. 975, Apr. 2017.
3. T. Phaladisailoed, and T. Numnonda, "Machine learning models comparison for bitcoin price prediction," Proc. 10th Int. Conf. Inf. Technol. Electr. Eng. (ICITEE), Jul. 2018, pp. 506–511.
4. Bitcoin price prediction using Machine Learning. [Online]. Available: <https://medium.com/@rohansawant7978/forecasting-of-bitcoin-price-using-machine-learning-deep-learning-techniques-93bf662f46ab>. Accessed on: April 7, 2022.
5. В. Б. Мокін, С. О. Жуков, Л. М. Куперштейн, О. В. Слободянюк, «Інформаційна технологія прогнозування курсу криптовалют на основі комплексної інженерії ознак», Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2022. № 2 [15], ст. 81–93.
6. Бизкровний О. М. Дослідження ціноутворення криптовалюти та ефективність використання машинного навчання для пошуку тренду вартості : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення / О. М. Бизкровний ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2022. 72 с.
7. Linear regression. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://machinelearningmastery.com/linear-regression-for-machine-learning>.
8. Aldo Faisal, Cheng Soon Ong, and Marc Peter Deisenroth. Mathematics for Machine Learning, 283–315 с.
9. Afshin Rostamizadeh, Ameet, C. Foundations of Machine Learning, 267–292 с.

## References

1. Patel N. P., et al., (2022) Fusion in Cryptocurrency Price Prediction: A Decade Survey on Recent Advancements, Architecture, and Potential Future Directions *IEEE Access*, vol. 10, pp. 34511–34538.
2. Chen M., Narwal N. (2017) Predicting price changes in Ethereum *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 4, pp. 975.
3. Phaladisailoed T., Numnonda T. (2018) Machine learning models comparison for bitcoin price prediction *Proc. 10th Int. Conf. Inf. Technol. Electr. Eng. (ICITEE)*, pp. 506–511.
4. Bitcoin price prediction using Machine Learning. [Online]. Available: <https://medium.com/@rohansawant7978/forecasting-of-bitcoin-price-using-machine-learning-deep-learning-techniques-93bf662f46ab>. Accessed on: April 7, 2022.
5. Mokin V. B., Zhukov S. O., Kupershteyn L. M., Slobodyanyuk O. V. (2022) Informatsiyna tekhnolohiya prognozuvannya kursu kryptovalyut na osnovi kompleksnoyi inzheneriyi oznak [Informative technology for cryptocurrency course forecasting based on comprehensive feature engineering]. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*. vol. 2, no 15, pp. 81–93.
6. Bizkrovniy O. M. (2022) Doslidzhennya tsinoutvorenniya kryptovalyuti ta efektyvnist vykorystannya mashynnoho navchannya dlya poshuku trendu vartosti: poyasnuyalna zapyska do attestatsiyanoi roboty zdobuvacha vyshchoyi osvity na druhomu (magisterskomu) rivni. [Investigation of Cryptocurrency Pricing and the Efficiency of Machine Learning for Trend Identification: Explanatory Note for the Educational Qualification Work of a Higher Education Applicant at the Second (Master's) Level]. Kharkiv: National University of Radio Electronics. ( in Ukrainian)
7. Linear regression. Retrieved from: <https://machinelearningmastery.com/linear-regression-for-machine-learning>.
8. Faisal A., Cheng Soon O., and Deisenroth M. P. (2020) *Mathematics for Machine Learning*. Cambridge: Cambridge University Press. (in English)
9. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. (2012) *Foundations of Machine Learning*. Cambridge: MIT Press. (in English)

**I. А. ГОЛОВАТЕНКО**

аспірант кафедри інформаційних систем та технологій  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0003-0951-5687

**А. В. ПИСАРЕНКО**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних систем та технологій  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0001-7947-218X

## МЕТОД ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ В АВТОНОМНИХ ЛОГІСТИЧНИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

У цій статті представлено інноваційний підхід, заснований на алгоритмі  $A^*$ , який містить кілька ключових модифікацій для значного підвищення його функціональності та ефективності в автономній навігації автомобіля. Підхід надає пріоритет безпеці та дотриманню правил дорожнього руху шляхом інтеграції алгоритму  $A^*$  з механізмом, який контролює безпечну відстань до перешкод. Крім того, введено компонент згладжування траєкторії. Цей компонент покращує кінцевий шлях, створюючи більш плавну та комфортну траєкторію. Виявлення небезпечних ділянок траєкторії є ще одним фундаментальним аспектом запропонованого підходу. Досягається це шляхом застосування кластеризації методом  $k$ -середніх, потужного методу машинного навчання. Завдяки кластеризації сегментів траєкторії система може розпізнавати критичні ситуації, такі як різкі повороти та рух смугою зустрічного руху. Виявлення цих сегментів дозволяє вживати проактивних коригувальних дій для перетворення потенційно небезпечних сценаріїв на безпечніші альтернативи. Одним із революційних елементів підходу є впровадження технології навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning – RL). Спеціальна модель RL адаптується до динамічних перешкод у режимі реального часу, підвищуючи здатність системи швидко й ефективно реагувати на несподівані ситуації на дорозі. Ця адаптивність є ключовим фактором, що робить автономні логістичні системи більш безпечними та універсальними. Таким чином, метод пропонує комплексне та інтелектуальне рішення для планування маршруту в автономних кіберфізичних логістичних системах. Поєднуючи алгоритм  $A^*$  із найсучаснішими методами уникнення перешкод, згладжування траєкторії, визначення небезпеки та адаптивності RL, прокладається шлях до безпечнішої, ефективнішої та адаптивнішої автономної логістики. Цей підхід має потенціал для революції в галузі транспортування та доставки, пропонуючи переконливе бачення майбутнього, де автономні транспортні засоби рухатимуться дорогами з найвищим рівнем безпеки, відповідності та ефективності.

**Ключові слова:** кіберфізичні системи, автономні об'єкти, планування маршруту, штучний інтелект, логістика, reinforcement learning.

**I. А. HOLOVATENKO**

Postgraduate Student at the Department of Informational Systems  
and Technologies  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0003-0951-5687

**A. V. PYSARENKO**

Candidate of Technology, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Informational Systems and Technologies  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0001-7947-218X

## METHOD OF ROUTE PLANNING IN AUTONOMOUS LOGISTICS CYBERPHYSICAL SYSTEMS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*This paper presents an innovative approach based on the A\* algorithm, which includes several key modifications to significantly improve its functionality and efficiency in autonomous vehicle navigation. The approach prioritizes safety and traffic compliance by integrating the A\* algorithm with a mechanism that monitors the safe distance to obstacles. In addition, a trajectory smoothing component is introduced. This component improves the final path, creating a smoother and more comfortable trajectory. Detection of dangerous sections of the trajectory is another fundamental aspect of the proposed approach. This is achieved by applying k-means clustering, a powerful machine learning method. Thanks to the clustering of the trajectory segments, the system can recognize critical situations such as sharp turns and driving in the oncoming traffic lane. Identifying these segments allows proactive corrective actions to be taken to transform potentially dangerous scenarios into safer alternatives. One of the revolutionary elements of the approach is the introduction of Reinforcement Learning (RL) technology. The special RL model adapts to dynamic obstacles in real time, increasing the system's ability to respond quickly and efficiently to unexpected road situations. This adaptability is a key factor that makes autonomous logistics systems more secure and versatile. Thus, the method offers a comprehensive and intelligent solution for route planning in autonomous cyber-physical logistics systems. By combining the A\* algorithm with state-of-the-art obstacle avoidance, trajectory smoothing, detection of dangerous segments, and RL adaptability, the path to safer, more efficient, and more adaptive autonomous logistics is being paved. This approach has the potential to revolutionize transportation and delivery, offering a compelling vision of a future where autonomous vehicles will navigate the roads with the highest levels of safety, compliance and efficiency.*

**Key words:** cyber-physical systems, autonomous objects, route planning, artificial intelligence, logistics, reinforcement learning.

### Постановка проблеми

Традиційні алгоритми A\* відомі своєю ефективністю та точністю у пошуку найкоротшого шляху в різноманітних застосуваннях, від комп'ютерних ігор до робототехніки. Однак у кіберфізичних логістичних системах існує більш тонкий набір критеріїв, яким має задовольняти траєкторія. Просто знайти най-коротший шлях недостатньо. Щоб автономний об'єкт міг безпечно та ефективно пересуватися складною місцевістю, траєкторія має уникати перешкод, дотримуватися смуг розмітки, адаптуватися до динамічного середовища та бути достатньо плавною для забезпечення комфорту та безпеки.

З практичної точки зору проблема автономного керування є дуже актуальною. У таких умовах автономний об'єкт стикається з безліччю проблем, включаючи рухомі перешкоди (інші автономні об'єкти, пішоходи), статичні перешкоди (бар'єри, розділювачі) і складні правила водіння (розмітка смуг руху, заборонені зони). Планування траєкторії також має бути здатним ідентифікувати «небезпечні фрагменти», як-от круті повороти, або випадки, коли транспортний засіб може бути змушений рухатися смугою зустрічного руху, і завчасно адаптувати шлях для зменшення ризиків. Ці складності роблять завдання планування траєкторії в реальних логістичних програмах набагато складнішим, ніж те, що здатні вирішити традиційні алгоритми пошуку шляху.

Удосконалення традиційних алгоритмів A\* шляхом включення здатності адаптуватися до складних критеріїв реального світу сприяє більшому науковому об'єму знань у таких галузях, як штучний інтелект, робототехніка та обчислювальна логістика. Цей прогрес може прокласти шлях до більш надійних та інтелектуальних автономних систем, здатних приймати рішення в режимі реального часу, які враховують широкий набір змінних і обмежень. Такі досягнення можуть поширитися на інші сфери, включаючи навігацію безпілотників, складську робототехніку та інші проблеми прийняття рішень у складних середовищах.

З практичної точки зору, модифікований алгоритм A\* може революціонізувати роботу автоматизованих систем у системі логістики. Наприклад, у галузі автономних логістичних об'єктів безпечніші та ефективніші алгоритми навігації можуть призвести до значного зменшення кількості аварій на дорогах, споживання палива та часу в дорозі. Подібним чином в управлінні ланцюгом постачання розумніші алгоритми визначення шляху можуть сприяти швидшим і безпечнішим доставкам, тим самим зменшуючи витрати та підвищуючи загальну ефективність.

Прямо вирішуючи ці прогалини та проблеми, дане дослідження не лише додає тонкий рівень складності до відомого алгоритму, але й слугує важливою віхою на шляху до створення більш автономних і безпечніших транспортних систем.

Підводячи підсумок, проблема полягає не просто в пошуку шляху, а в пошуку найбільш «відповідного» шляху з огляду на складний набір обмежень реального світу. Модифікація алгоритму A\* для задоволення цих потреб є кроком вперед як у наукових дослідженнях, так і в практичних застосуваннях.

### Аналіз досліджень і публікацій

Найперші алгоритми планування шляху, такі як A\*, створили платформу планування шляху для автономних об'єктів [1]. Проблема використання цих методів полягає в кінетичних обмеженнях, що не зводяться до геометричних.

Деякі останні роботи вирішують цю проблему, модернізуючи старі методи планування траєкторії та використовуючи кінематику транспортного засобу в процесі планування, такі як RRT та hybrid-A\* [1].

Hybrid A\* є одним із найефективніших планувальників маршруту для автономних об'єктів. Найперша версія цього планувальника представлена на DARPA Urban Challenge 2007 [1]. Використовуючи цей підхід до планування шляху, найважливішим пунктом, який з'єднує дискретний і безперервний простір станів один з одним, є те, як розширити алгоритм пошуку та вибрати правильні наступні вузли для просування далі. Цей метод реалізує кінематику транспортного засобу для вибору наступних потенційних вузлів.

Тим не менш, вищевказаний метод боровся з деякими проблемами, які робили реалістичне застосування цього методу дещо проблематичним, наприклад, слідування за кількома маршрутними точками та наявність більш реалістичної евристичної функції вартості для A\*. Ці проблеми будуть більш помітними на великій карті, де цільова позиція знаходиться дуже близько до початкової позиції, але фактична відстань руху до цільової області досить значна.

Автори у [2] наводять свою модифікацію алгоритму A\*, використовуючи криві Рідса-Шеппа. Основною метою використання методу кривих Рідса-Шеппа є підвищення точності та пришвидшення пошуку, оскільки даний метод є добре відомим методом для переходу від конфігурації

$$[x_0, y_0, \theta_0] \quad (1)$$

до іншої конфігурації

$$[x_g, y_g, \theta_g] \quad (2)$$

найкоротшим шляхом. Детальніше про криві Рідса-Шеппа можна знайти в [3]. Як доведено під час моделювання, запропонований алгоритм створював більш плавні маршрути та мав принаймні рівний або нижчий ризик зіткнень з навколишніми перешкодами порівняно з маршрутами, створеними звичайним hybrid-A\* методом. Недоліком є те, що час обчислення запропонованого аналітичного розширення збільшується приблизно в десять разів.

У дослідженні [4] описано метод згладжування шляху A\* для мобільного роботу. Представлена схема згладила шлях, створений A\*, як показано в результатах, але запропонований метод не вирішив проблему часу обчислення шляху.

У [5] представлений метод визначення оптимальної ваги евристичної функції для алгоритму A\*, щоб мінімізувати час пошуку шляху алгоритмом за рахунок приведення релевантності батьківського вузла поточного вузла до евристичної функції. Час пошуку шляху зменшується за допомогою оптимальної евристичної функції, але довжина шляху збільшується.

В роботі [6] запропонований вдосконалений алгоритм A\* для досягнення плавності шляху включенням коефіцієнта відстані до перешкоди в евристичну функцію для пошуку спільного між довжиною шляху та його безпекою, ігноруючи пошук недійсних вузлів, які знаходяться надто близько до перешкод. Результати показують, що плавність траєкторії покращилася порівняно з традиційним методом.

Гібридний алгоритм запропонований у [7]. Алгоритм спочатку використовує алгоритм Дейкстри для визначення початкового шляху, а потім, у разі потенційного зіткнення з динамічною перешкодою, використовується принцип рухомого вікна для вибору локальної оптимальної цільової точки. Базовий алгоритм A\* використовується для пошуку нового шляху від поточного місця розташування до мети. Час повторного планування скорочений порівняно з традиційним, але значного покращення довжини шляху досягти не вдалося.

У [8] представлений гібрид алгоритму A\* та методу штучного потенційного поля, для уникання динамічних перешкод і заходження коротшого шляху. Запропонований метод зменшив довжину шляху, але пошук шляху зайняв більше часу.

Дослідження [9] пропонує вдосконалений алгоритм A\* і деякі нові методи для подальшого покращення продуктивності. Впроваджена стратегія згладжування траєкторії, для усунення зайвих точок і точок перегину та зменшення частих змін напрямку руху мобільних роботів. Підвищений механізм безпеки, щоб уникати перешкоди. Для скорочення часу пошуку та підвищення ефективності алгоритму додана модель витрат та функція адаптивної вартості.

Розглянуті алгоритми планування шляху, зосереджені на пошуку найкоротшого шляху між початковою та кінцевою точками в заданому середовищі. У цій роботі проводиться розроблення та теоретичне обґрунтування методу, який покращує звичайний алгоритм A\* шляхом: уведення обмежень результуючої траєкторії для безпечної навігації; впровадження етапу згладжування траєкторії для її відповідності фізичним особливостям автономного об'єкту; кластеризації методом k-середніх для визначення небезпечних особливостей запланованої траєкторії; та використання моделі навчання з підкріпленням для уникнення перешкод у реальному часі.



### Постановка задачі

Задача: перевести автономний рухомий об'єкт з початкового стану

$$S_{\text{start}} = (x_{\text{start}} \cdot y_{\text{start}}), \quad (3)$$

у кінцевий

$$S_{\text{goal}} = (x_{\text{goal}} \cdot y_{\text{goal}}) \quad (4)$$

Обмеження: уникнення перешкод, дотримання смуги руху, врахування фізичних особливостей автономного об'єкту.

Задачу можливо поділити на декілька етапів:

- 1) первинне планування шляху методом A\* з уведенням кількох критеріїв: тримати безпечну дистанцію від перешкод; планувати шлях таким чином, щоб він не перетинав горизонтальну дорожню розмітку; виконати перетворення траєкторії таким чином, щоб вона більше відповідала фізичним особливостям автономного об'єкту;
- 2) проаналізувати отриманий шлях на наявність небезпечних ділянок, таких як круті повороти або виїзд на смугу зустрічного руху;
- 3) скоригувати траєкторію відповідним чином, задля уникнення небезпечних ділянок;
- 4) реагувати на зовнішні зміни на шляху слідування з використанням моделі навчання з підкріпленням (reinforcement learning model).

### Етап побудови мапи середовища

Цей розділ присвячений процесу створення комплексної мапи, яку можна використовувати для планування шляху та завдань навігації. Зокрема, використано карти формату OpenDRIVE, прийнятий стандарт для опису дорожніх мереж. Зрештою карта перетворюється у двійковий формат, який розмічає смуги розмітки та межі доріг, що робить її сумісною з алгоритмами планування шляху.

На рис. 1 показана дорожня карта міста у форматі OpenDRIVE.

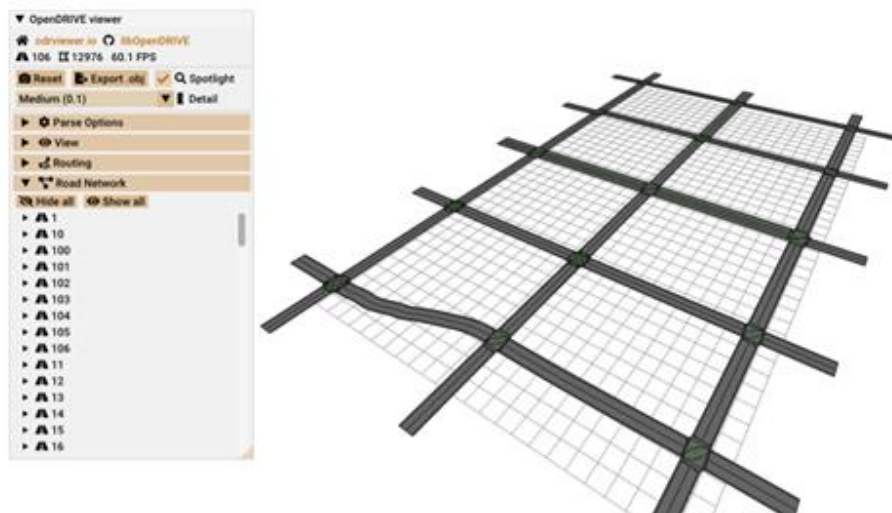


Рис. 1. Приклад мапи місцевості у форматі OpenDRIVE

Етап первинного планування шляху модифікованим A\*. Першочергово формується так звана сітка (grid), що являє собою мапу, створену на першому етапі. Далі, отримуючи початкову та кінцеву точку алгоритм починає пошук траєкторії. Нижче наведено лістинги мовою Python модифікованого алгоритму A\*.

За основу взятий оригінальний алгоритм A\*. Фрагмент коду наведений на рис. 2.

Модифікації зазнали методи, що визначають, чи можна наступну клітинку сітки вносити у результат, чи ні.

Для прикладу, метод `is_valid` визначає чи не проходить шлях через лінію розмітки зустрічних потоків або чи на достатній відстані від перешкоди знаходиться об'єкт. Клітинка, яка відповідає обом вимогам буде додана до результуючої траєкторії. Фрагмент коду наведено на рис. 3.

Результат роботи модифікованого алгоритму наведений на рисунку 4 (представлена частина траєкторії для більшого розуміння результату).

```

def heuristic(self, a, b):
    return np.sqrt((a[0] - b[0])**2 + (a[1] - b[1])**2)

def find_path(self):
    queue = [(0, self.start)]
    came_from = {self.start: None}
    cost_so_far = {self.start: 0}

    while queue:
        _, current = heapq.heappop(queue)

        if current == self.goal:
            break

        directions = [(-1, 0), (1, 0),
                      (0, -1), (0, 1),
                      (-1, -1), (-1, 1),
                      (1, -1), (1, 1)]
        for dx, dy in directions:
            next_cell = (current[0] + dx, current[1] + dy)

            if self.is_valid(next_cell[0], next_cell[1]):
                new_cost = ...

                if next_cell not in cost_so_far \
                    or new_cost < cost_so_far[next_cell]:
                    ...
                    priority = new_cost + self.heuristic(self.goal, next_cell)
                    heapq.heappush(queue, (priority, next_cell))
                    ...
    ...

```

Рис. 2. Фрагмент коду алгоритму A\*

```

def is_valid(self, x, y):
    rows, cols = len(self.grid), len(self.grid[0])
    if 0 <= x < rows and 0 <= y < cols:
        cell_value = self.grid[x][y]

        if cell_value == 1 or self.is_near_obstacle(x, y):
            return False

        if cell_value == 2:
            return False # Never move onto a lane divider

    return True
return False

```

Рис. 3. Фрагмент коду методу is\_valid

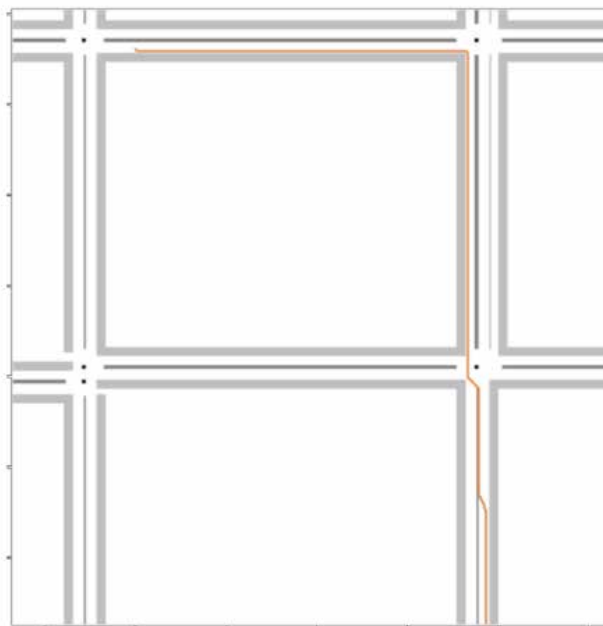


Рис. 4. Фрагмент побудованої траєкторії

Чітко видно, що базовий алгоритм виконує свою задачу, знаходячи шлях у відповідності до евристики.

Також видно, що модифікація алгоритму будує шлях, тримаючись на відстані від перешкод (межі дороги) також не перетинаючи межі розділення зустрічних смуг.

Також очевидно, що наразі траєкторія не бере до уваги логічні особливості смуг руху. Саме тому відбувається виїзд на смугу зустрічного руху.

#### Етап згладжування первинної траєкторії

Алгоритм бере за основу дані попереднього етапу та модифікує їх у відповідності до задачі.

На рис. 5 наведено фрагмент коду, котрий для кожної точки траєкторії знаходить найближчі точки межі дороги та лінії розділення зустрічних потоків. Далі між отриманими точками визначається середина. І, врешті, відбувається заміна попередньої точки на отриману.

```
def smooth_path(raw_path, grid):
    ...

    for i in range(len(raw_path) - 1):
        ...

        nearby_obstacle = sorted(
            find_nearby_obstacle(grid, x, y, dx, dy)
        )
        new_x, new_y = find_midpoint(
            nearby_obstacle[0], nearby_obstacle[-1]
        )

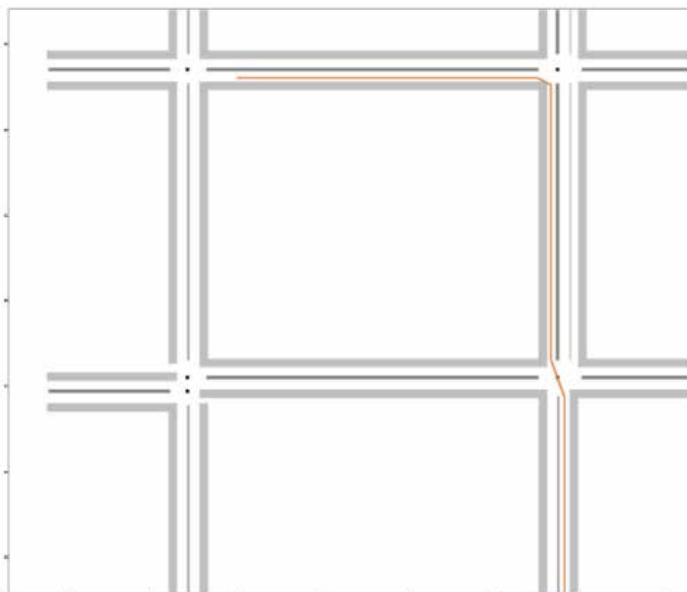
        smoothed_path.append((new_x, new_y))

    smoothed_path.append(raw_path[-1])

    return smoothed_path
```

Рис. 5. Фрагмент коду алгоритму згладжування траєкторії

Результат роботи модифікованого алгоритму наведений на рис. 6 (представлена частина траєкторії для більшого розуміння результату). Алгоритм чудово впорався із завданням згладивши гострі ділянки поворотів та оно-вивши траєкторію, тримаючи її по середині смуги руху.



**Рис. 6. Фрагмент модифікованої траєкторії**

#### Етап аналізу траєкторії на небезпечні ділянки

Наступний етап перед визначенням остаточної траєкторії для руху автономним об'єктом – визначення небезпечних ділянок у запланованій траєкторії. Ділянки, які потребують найбільшої уваги це, звісно, круті повороти та виїзди на смугу зустрічного руху. Алгоритм виконує так зване видобування «ознак» траєкторії.

На рис. 7 наведено фрагмент коду видобування ознак.

```
def get_path_labels(path, grid):
    ...

    f1 = count_sharp_turns(chunk)
    f2 = detect_oncoming_lane_violations(chunk, grid)
    feature_vector = [f1, f2]
    feature_vectors.append(feature_vector)

    ...

    X = np.array(feature_vectors)
    kmeans = KMeans(n_clusters=3)
    kmeans.fit(X)

    # Get Cluster Labels
    return (chunks, kmeans.labels_)
```

**Рис. 7. Фрагмент коду видобування «ознак» траєкторії**

В даному випадку видобуваються дві ознаки: гострий кут повороту та виїзду на смугу зустрічного руху.

Визначення гостроти повороту відбувається шляхом знаходження кута між двома векторами. Відповідний фрагмент коду наведено на рис. 8.

```
def angle_between_three_points(A, B, C):  
    BA = [A[0]-B[0], A[1]-B[1]]  
    BC = [C[0]-B[0], C[1]-B[1]]  
    dot_product = BA[0] * BC[0] + BA[1] * BC[1]  
    magnitude_BA = math.sqrt(BA[0]**2 + BA[1]**2)  
    magnitude_BC = math.sqrt(BC[0]**2 + BC[1]**2)  
    magnitude = magnitude_BA * magnitude_BC  
    angle = math.acos(dot_product / magnitude)  
    return math.degrees(angle)
```

Рис. 8. Фрагмент коду знаходження кута повороту

Перший вектор – траєкторія автономного об'єкту перед поворотом. Другий – траєкторія одразу після закінчення повороту. Шляхом простих алгебраїчних перетворень знаходиться кут між векторами, що порівнюється з граничним значенням. У разі якщо кут менше гранично допустимого значення – поворот вважається гострим.

Друга ознака, що видобувається з траєкторії – виїзд на смугу зустрічного руху. Фрагмент коду наведено на рис. 9.

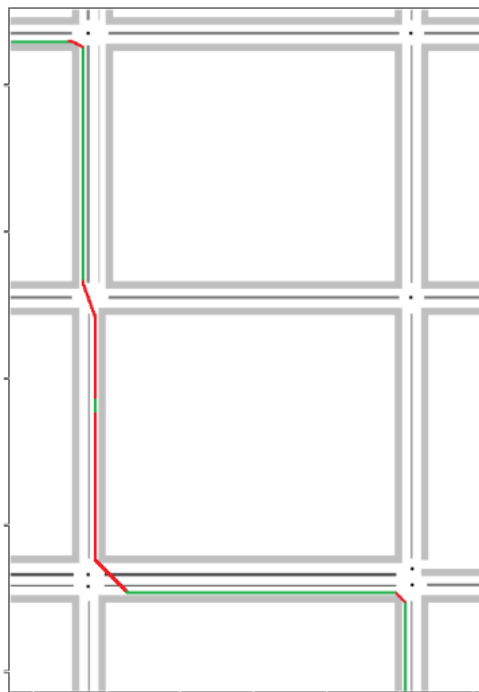
```
def detect_oncoming_lane_violations(path, grid):  
    violations = 0  
    for i in range(len(path) - 1):  
        ...  
  
        for j in range(1, 6):  
            if dx > 0:  
                if grid[x1][y1 - j] == 2: violations += 1  
            elif dx < 0:  
                if grid[x1][y1 + j] == 2: violations += 1  
            elif dy > 0:  
                if grid[x1 + j][y1] == 2: violations += 1  
            elif dy < 0:  
                if grid[x1 - j][y1] == 2: violations += 1  
            ...  
  
    return violations
```

Рис. 9. Фрагмент коду ідентифікації виїзду на зустрічну смугу руху

Алгоритм шукає смугу розділення зустрічних потоків з правої сторони від запланованої траєкторії, якщо знаходить – сигналізує про порушення, додаючи певну оцінку до сегменту, що обробляється. Зрозуміло, що алгоритм слідує правостороннім правилам дорожнього руху. Однак модифікувати його до потреб ліво-стороннього руху не буде складною задачею.

Результатом алгоритму будуть оцінки, проставлені кожному окремому сегменту шляху, де 0 – буде відповідати безпечному сегменту а все що більше 0 – небезпечному з точки зору правил дорожнього руху та фізичних особливостей автономного об'єкту.

Результат роботи алгоритму наведений на рис. 10 (представлено частину траєкторії для більшого розуміння результату).



**Рис. 10. Фрагмент траєкторії з промаркованими небезпечними ділянками**

Алгоритм чудово впорався із завданням віднайшовши частини траєкторії, що вважаються небезпечними з огляду на набір ознак та їх оцінки, що були введені.

Наведені гострі повороти промарковані червоним, що є гарним результатом. Єдина частина траєкторії, що виконувала виїзд на смугу зустрічного руху також промаркована червоним. Однак, невелика ділянка шляху все ж залишилася непромаркованою. Ця проблема має назву «хибно позитивне визначення» (false-positive) або ж «викид» (outlier) алгоритму кластеризації, що не сильно впливає на загальну картину результату.

**Етап корекції небезпечних ділянок траєкторії**

Визначивши небезпечні ділянки траєкторії, за допомогою методу k-середніх, наступним етапом є застосування коригувальних заходів. На цьому етапі використовуються два методи для вирішення різних типів небезпечних ділянок: базове відображення лінії для усунення проблем із рухом смугою зустрічного транспорту та криві Без'є для згладжування різких поворотів. Ці методи призначені для забезпечення оптимізації кінцевого шляху не лише для ефективності, але й для безпеки та практичності.

Нехай

$$P_{OT} = [p_1, p_2, \dots, p_m], \tag{5}$$

послідовність точок на небезпечній ділянці із зустрічним рухом. Відображення лінії можна математично визначити таким чином:

$$p'_i = p_i - 2 \cdot (p_i n - d) \cdot n, \tag{6}$$

де  $p'_i$  – нова точка;

$p_i$  – оригінальна точка;

$n$  – вектор нормалі до горизонтальної розмітки;

$d$  – відстань від центру горизонтальної розмітки по нормалі.

Відображена ділянка

$$P'_{OT} = [p'_1, p'_2, \dots, p'_m], \tag{7}$$

замінює  $P'_{OT}$  вихідного шляху  $P$ .

Проблема різких поворотів вирішується за допомогою кривих Без'є, які згладжують траєкторію.

Кубічна крива Без'є  $B(t)$  визначається чотирма контрольними точками

$$B(t) = (1-t)^3 \cdot P_0 + 3 \cdot (1-t)^2 \cdot t \cdot P_1 + 3 \cdot (1-t) \cdot t^2 \cdot P_2 + t^3 \cdot P_3, 0 \leq t \leq 1, \tag{8}$$

Контрольні точки вибираються на основі точок траєкторії до і після різкого повороту, а також конкретних точок, де відбувається поворот. Крива Без'є замінює оригінальний різкий поворот на шляху.

Після внесення виправлень шлях Р повторно оцінюється на наявність будь-яких небезпечних ділянок, що залишилися. Якщо такі знайдені, алгоритм повертається до етапу кластеризації k-середніх, забезпечуючи строгий ітераційний процес для найбезпечнішого та найефективнішого планування шляху.

Результат роботи алгоритму наведений на рис. 11 (представлено частину траєкторії для більшого розуміння результату).

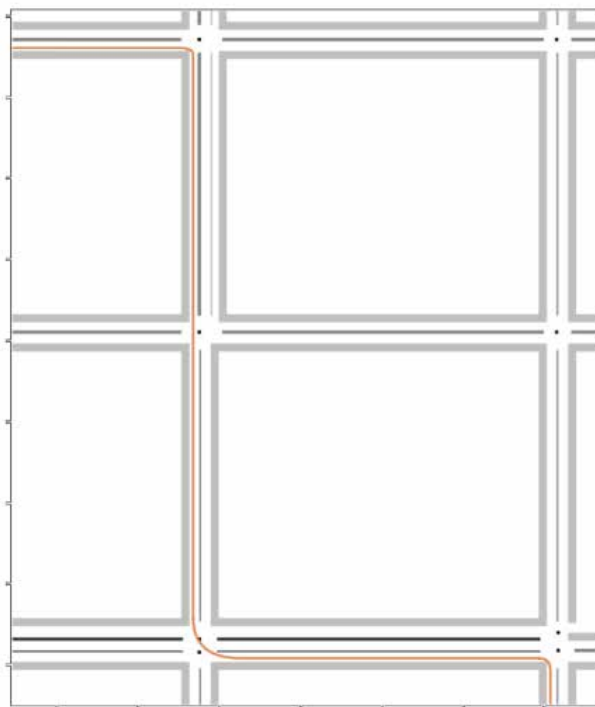


Рис. 11. Фрагмент згладженої траєкторії

Алгоритм чудово впорався із завданням згладивши гострі кути поворотів та відобразивши частину траєкторії, що проходила смугою зустрічного руху. Траєкторія готова до використання автономним логістичним об'єктом.

#### Етап адаптивного реагування на завади

У сфері логістики штучний інтелект (ШІ) став ключовим фактором підвищення ефективності, точності та адаптивності операцій у ланцюзі поставок і транспортуванні. Моделі ШІ в логістиці відіграють вирішальну роль у різних аспектах, таких як оптимізація маршрутів, управління запасами, прогнозування попиту та прийняття рішень у реальному часі. Тут глибше досліджуємо значення та застосування моделей AI у логістиці, зосереджуючись на нюансах планування шляху та адаптації в реальному часі:

Алгоритми на основі штучного інтелекту аналізують історичні дані, умови руху та фактори навколишнього середовища, щоб оптимізувати маршрути доставки. Це зменшує споживання палива, підвищує ефективність використання часу та мінімізує експлуатаційні витрати. Зокрема, моделі Reinforcement Learning допомагають адаптуватися до динамічних умов і оптимізувати маршрути в реальному часі.

У той час як попередні етапи гарантують, що шлях є безпечним, ефективним і бере до уваги різні обмеження, динамічна природа реальних середовищ вимагає додаткового рівня адаптивності. Саме тут і потрібна RL модель: вона дозволяє автономному об'єкту коригувати свій шлях у режимі реального часу, щоб уникнути непередбачених перешкод, не вимагаючи повного повторного обчислення всієї траєкторії.

Незважаючи на надійність модифікованого алгоритму A\* у створенні початкового безпечного та ефективного шляху, перешкоди можуть з'явитися або змінитися після встановлення шляху. Вони можуть варіюватися від раптово припаркованого автомобіля до пішоходів, які переходять дорогу. Тому механізм, який забезпечує швидку адаптацію в режимі реального часу, має вирішальне значення для практичного застосування.

Модель RL працює в парадигмі «стан-дія-винагорода» [10, 11]. Простір станів складається з поточного положення та орієнтації автономного об'єкту, а також умов навколо нього, таких як перешкоди поблизу. Простір дії включає в себе набір маневрів, які може здійснювати автомобіль, як-от незначні відхилення від траєкторії або

коригування швидкості. Нагороди надаються за успішне уникнення перешкод, зберігаючи загальний шлях, який є максимально близьким до початкової траєкторії.

На рис. 12–16 наведено фрагменти імплементації даного алгоритму з використанням гум [12] як інструменту для опису моделі.

Алгоритм визначає «стан» як положення об'єкту на двовимірній мапі (рис. 12).

```
def step(self, action):
    x, y = self.state

    ...

    return self.state, reward, done, False, {}
```

**Рис. 12. Фрагмент коду визначення «стану»**

«Дія» визначається набором з восьми варіантів, що представляють собою прості рухи як-от: «ліворуч», «праворуч», «уперед», «назад» та чотири діагональні відповідники (рис. 13).

```
def step(self, action):
    ...

    if action == 0: x = max(0, x-1)
    elif action == 1: x = min(self.grid_size_x-1, x+1)
    elif action == 2: y = max(0, y-1)
    elif action == 3: y = min(self.grid_size_y-1, y+1)
    elif action == 4: x, y = max(0, x-1), max(0, y-1)
    elif action == 5:
        x, y = max(0, x-1), min(self.grid_size_y-1, y+1)
    elif action == 6:
        x, y = min(self.grid_size_x-1, x+1), max(0, y-1)
    elif action == 7:
        x, y = min(self.grid_size_x-1, x+1), \
            min(self.grid_size_y-1, y+1)

    ...

    return self.state, reward, done, False, {}
```

**Рис. 13. Фрагмент коду визначення «дії»**

«Винагорода» ж в свою чергу визначається у відповідності до виконаної дії за наступним принципом:

1) якщо відбулося досягнення цілі – отримати найвищу винагороду (рис. 14);

```
def _get_reward(self, x, y):
    ...

    if (x, y) == self.end:
        return 50
```

**Рис. 14. Фрагмент коду «винагорода» за досягнення цілі**

2) відбувся наїзд на смугу розділення чи на перешкоду – отримати високий штраф (рис. 15);



```
def _get_reward(self, x, y):
    ...

    if self.grid[x][y] in [1, 4]:
        return -20
```

Рис. 15. Фрагмент коду «штрафу»

3) маленький штраф, щоб стимулювати систему шукати найкоротше рішення і не стояти на місці (рис. 16).

```
def _get_reward(self, x, y):
    ...
    return -1
```

Рис. 16. Фрагмент коду стимулювання пошуку

На рис. 17 наведений фрагмент траєкторії з перешкодою на шляху прямування автономного об'єкту. Зліва від об'єкту знаходиться межа дороги, а справа – межа розділення зустрічних потоків.

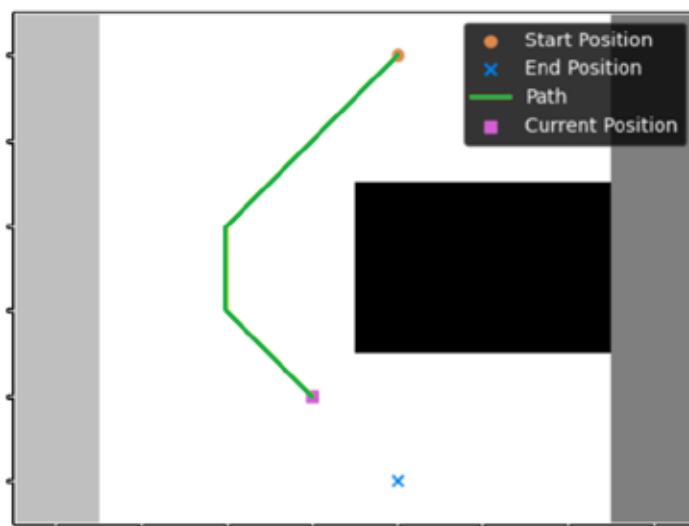


Рис. 17. Приклад об'їзду перешкоди з використанням адаптивного алгоритму

З рисунку видно, що траєкторія, визначена адаптивним алгоритмом, тримає безпечну дистанцію від перешкоди та меж дороги.

### Висновки

Представлена багатоетапна модифікація алгоритму A\*, розроблену для розширеного планування траєкторії в умовах логістики за допомогою автономних рухомих транспортних засобів. Метод включає інноваційні елементи, такі як дотримання безпечної дистанції до перешкод, дотримання смуги руху, згладжування траєкторії, ідентифікація та виправлення небезпечних ділянок за допомогою кластеризації k-середніх, а також уникнення перешкод у реальному часі за допомогою навчання з підкріпленням.

Метод демонструє ефективність у створенні траєкторій, які є не тільки оптимальними в традиційному розумінні, але й більше відповідають логістичним обмеженням реального світу. Також метод забезпечує високу адаптивність до непередбачених перешкод в реальному часі.

Незважаючи на те, що модель є багатообіцяючою, все ще є області, які можуть отримати користь від подальших досліджень і оптимізації:

1) обчислювальна ефективність: зі збільшенням складності етапів алгоритму зростає і обчислювальне навантаження. Майбутня робота може бути зосереджена на вдосконаленні алгоритмів, щоб зменшити витрати на обчислення;

2) багатоагентні системи: модель наразі не враховує поведінку інших агентів (наприклад, транспортних засобів) у середовищі. Включення багатоагентної співпраці або конкуренції може зробити модель більш реалістичною;

3) подальше вдосконалення моделі навчання з підкріпленням: компонент можна розширити, щоб врахувати більше характеристик середовища, наприклад сигнали світлофора, для ще більш надійної навігації в реальному часі;

4) більш точна кластеризація: продуктивність k-середніх у ідентифікації небезпечних фрагментів потенційно може бути покращена за допомогою альтернативних методів кластеризації або методів оптимізації параметрів.

Природним наступним кроком є застосування алгоритму до реальних логістичних проблем і автономних навігаційних систем транспортних засобів, що дозволяє оцінювати продуктивність у більш складних і динамічних середовищах.

Нижче наведемо ще декілька перспективних напрямів подальшого дослідження:

1) інтеграція з сенсорними даними: включення сенсорних даних у реальному часі (наприклад, LiDAR, радар та камери) може запропонувати більш повне розуміння навколишнього середовища, зробивши модель ще надійнішою;

2) онлайн-навчання: впровадження механізму онлайн-навчання в модель навчання з підкріпленням може дозволити системі покращувати свою продуктивність з часом, навчаючись на минулому досвіді.

Завдяки подальшому вдосконаленню цих елементів і розширенню моделі для включення додаткових факторів реального світу, вважаємо, що алгоритм має потенціал для значного вдосконалення сучасного рівня автоматизованого планування траєкторії для різних логістичних програм.

Таким чином, ця робота є кроком до створення розумніших, безпечніших і ефективніших алгоритмів планування шляху, які адаптуються до умов реального світу, що постійно змінюються. Майбутні роботи можуть спиратися на цю основу для вирішення ще більш складних і тонких завдань у сфері автономної навігації та логістики.

#### Список використаної літератури

1. Practical search techniques in path planning for autonomous driving / D. Dolgov та ін. *First International Symposium on Search Techniques in Artificial Intelligence and Robotics*, 2008 p.
2. Improved Analytic Expansions in Hybrid A-Star Path Planning for Non-Holonomic Robots / C. Dang та ін. *Applied Science*. Т. 12, № 12. С. 59–99.
3. LaValle S. M. *Planning Algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 826 с.
4. Path planning and obstacle avoidance approaches for mobile robot / H. Nguyen та ін. *International Journal of Computer Science Issues*. № 3–4.
5. Path Planning of mobile robot based on improved A\* Algorithm / M. Lin та ін. *29th Chinese Control and Decision Conference*, 2017 .
6. Improved safety-first a-star algorithm for autonomous vehicles / J. Yu та ін. *5th International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics*, 2020 p.
7. Rapid path planning algorithm for mobile robot in dynamic environment / H-m. Zhang та ін. *Advances in Mechanical Engineering*. Т. 9, № 12. С. 1–12.
8. Path Planning using artificial potential field method and A-star fusion algorithm / C. Ju та ін. *Global Reliability and Prognostics and Health Management*, 2020 p, С. 1–7.
9. Improved A\* Path Planning Method Based on the Grid Map / Y Ou та ін. *Sensors*. Т. 22, № 16.
10. Barto A. G. Chapter 2 – Reinforcement Learning. *Reinforcement Learning: An Introduction*. Лондон, 2014. С. 45–67.
11. Ding, Z. та ін. *Introduction to reinforcement learning*. *Deep reinforcement learning: fundamentals, research and applications*. 2020. С. 47–123.
12. *OpenAI. Gym library*. URL: <https://www.gymnasium.dev/index.html> (дата звернення 10.10.2023).

#### References

1. D. Dolgov. Practical search techniques in path planning for autonomous driving, 2008 First International Symposium on Search Techniques in Artificial Intelligence and Robotics, 2008.
2. Dang, C. V., Ahn, H., Lee, D. S., & Lee, S. C. (2022, June 13). Improved Analytic Expansions in Hybrid A-Star Path Planning for Non-Holonomic Robots. *Applied Sciences*, 12(12), 5999. <https://doi.org/10.3390/app12125999>.
3. LaValle, S. M. (2006, May 29). *Planning Algorithms*. Cambridge University Press.
4. Path planning and Obstacle avoidance approaches for Mobile robot. (2016, July 31). *International Journal of Computer Science Issues*, 13(4), 1–10. <https://doi.org/10.20943/01201604.110>
5. M. Lin, K. Yuan, C. Shi and Y. Wang, Path planning of mobile robot based on improved A\* algorithm, 2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC), Chongqing, China, 2017, pp. 3570-3576, doi: 10.1109/CCDC.2017.7979125.

6. J. Yu, J. Hou and G. Chen, Improved Safety-First A-Star Algorithm for Autonomous Vehicles, 2020 5th International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM), Shenzhen, China, 2020, pp. 706-710, doi: 10.1109/ICARM49381.2020.9195318.
7. Zhang, H. M., & Li, M. L. (2017, December). Rapid path planning algorithm for mobile robot in dynamic environment. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(12), 168781401774740. <https://doi.org/10.1177/1687814017747400>
8. C. Ju, Q. Luo and X. Yan, Path Planning Using Artificial Potential Field Method And A-star Fusion Algorithm, 2020 Global Reliability and Prognostics and Health Management (PHM-Shanghai), Shanghai, China, 2020, pp. 1-7, doi: 10.1109/PHM-Shanghai49105.2020.9280929.
9. Ou, Y., Fan, Y., Zhang, X., Lin, Y., & Yang, W. (2022, August 18). Improved A\* Path Planning Method Based on the Grid Map. *Sensors*, 22(16), 6198. <https://doi.org/10.3390/s22166198>
10. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018, November 13). *Reinforcement Learning, second edition*. MIT Press.
11. Dong, H., Ding, Z., & Zhang, S. (2020, June 29). *Deep Reinforcement Learning*. Springer Nature.
12. *OpenAI. Gym library*. (2020). Retrieved October 10, 2023, from <https://www.gymnasium.dev/index.html>

М. В. ГОРА

аспірант

Харківський національний університет радіоелектроніки

ORCID: 0000-0003-0085-3559

М. О. ВОЛК

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри електронних обчислювальних машин

Харківський національний університет радіоелектроніки

ORCID: 0000-0003-4229-9904

## МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ РЕСУРАМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗПОДІЛЕНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

У статті розглядаються питання підвищення ефективності систем розподіленої обробки даних з підтримкою функціональної стійкості обчислювального процесу. Однією з основних задач, яка з'являється в процесі підтримки функціональної стійкості, є задача розподілу завдань за обчислювальними ресурсами. В роботі проводиться аналіз сучасних моделей, методів та планувальників, які здійснюють розподіл обчислювальних завдань за розподіленими комп'ютерними ресурсами. Існуючі методи розподілення ресурсів зазвичай використовують різні критерії при виборі вільних ресурсів для використання. Основні критерії – це вартість, час виконання, процент використання ресурсів. Сьогодні важливими критеріями стають енергоспоживання, підтримка функціональної стійкості та час самовідновлення систем. Запропоновано моделі управління ресурсами для забезпечення функціональної стійкості, а саме: модифіковану теоретико-множинну модель розподіленого обчислювального процесу з підтримкою функціональної стійкості, модифіковані моделі оцінки часу виконання та енергоспоживання, модель процесу підтримки функціональної стійкості. Експерименти, описані в роботі показують, що використання запропонованих моделей в стандартних методах розподілу ресурсів, стандартних планувальниках дозволило знизити час виконання обчислювальних завдань до 43%, а енергоспоживання у середньому на 26%. Результати дослідження можуть бути використані при розробленні нових методів розподілу ресурсів та технологій розподілених обчислень з використанням отриманих моделей, які враховують засоби підтримки функціональної стійкості обчислювального процесу.

**Ключові слова:** розподілені обчислення, комп'ютерні ресурси, моделі розподілених систем, функціональна стійкість, методи розподілення завдань за ресурсами.

M. V. HORA

Postgraduate Student

Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID: 0000-0003-0085-3559

M. O. VOLK

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Professor at the Department of Electronic Computers

Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID: 0000-0003-4229-9904

## RESOURCE MANAGEMENT MODELS FOR ENSURING THE FUNCTIONAL SUSTAINABILITY OF THE DISTRIBUTED COMPUTING PROCESS

The article examines issues of increasing the efficiency of distributed data processing systems with support for the functional stability of the computing process. One of the main tasks that appears in the process of maintaining functional stability is the task of distributing tasks according to computing resources. The paper analyses modern models, methods and planners that perform the distribution of computational tasks according to distributed computer resources. Existing resource allocation methods typically use different criteria when selecting free resources to use. The main criteria are cost, execution time, percentage of resource utilization. Today, energy consumption, maintenance of functional stability and self-recovery time of systems are becoming important criteria. Resource management models for ensuring functional stability are proposed, namely: a modified set-theoretic model of a distributed computing process with support for functional stability, modified models for estimating execution time and energy consumption, a model of the process of supporting functional stability. The experiments described in the paper show that the use of the proposed models in standard methods of resource allocation, standard schedulers made it possible to reduce the time of computing tasks by

43%, and energy consumption by an average of 26%. The results of the research can be used in the development of new methods of resource allocation and technologies of distributed computing using the obtained models, which take into account the means of supporting the functional stability of the computing process.

**Key words:** distributed computing, computer resources, models of distributed systems, functional stability, methods of distributing tasks by resources

### Постановка проблеми

Сьогодні спостерігається значний розвиток інформаційних технологій, які пов'язані з розподіленою обробкою даних. Найбільш поширеними з них є технології GRID та хмарних обчислень. Наразі важко відшукати сферу діяльності або виробництва, яка б не використовувала інформаційні технології розподілених обчислень. Застосування таких технологій надає можливість підвищувати ефективність виробничих процесів, зменшує навантаження на персонал та надає нові можливості, які розширюються з кожним роком. Водночас з цим, деякі сфери економіки та суспільного життя вже неможливо уявити без використання розподілених обчислювальних ресурсів, до яких відносяться сервера, бази даних та знань, дата-центри, системи машинного навчання та великих даних.

Широке використання технологій розподілених обчислень пред'являє значні вимоги до функціональної стійкості програмного забезпечення, що лежить в основі будь-якої інформаційної системи. Функціональна стійкість забезпечується різними шляхами, у тому числі за допомогою підтримки надійності, живучості та самовідновлення програмних систем [1]. З боку реалізації, функціональна стійкість може бути реалізованою засобами системи управління розподіленим обчислювальним процесом (РОП). До задач, які вирішує система управління, відносяться моніторинг, виявлення відмов або збоїв та відновлення програмних систем до стану, який є найбільш близьким до того, в якому вони перебували в момент відмови або збою. Тіж дії можуть забезпечуватися засобами, вбудованими в програмне забезпечення (як системного рівня, так і прикладного).

Однією з основних задач, яка з'являється в процесі підтримки функціональної стійкості, є задача розподілу (перерозподілу) завдань за обчислювальними ресурсами [2]. Існуючі методи розподілення ресурсів в розподілених системах зазвичай використовують різні критерії при виборі вільних ресурсів для використання. Основні критерії – це вартість, час виконання, процент використання ресурсів. Сьогодні важними критеріями стають енергоспоживання, підтримка функціональної стійкості та час самовідновлення систем. Зазвичай не достатньо одного критерія. Також користувач може виставляти додаткові умови, які получили назву угоди про рівень послуг (англ. Service-level agreement, SLA), що може об'єднувати якісні та кількісні характеристики наданих послуг, такі як їх доступність, технічне супроводження, час виправлення відмови або збою та інше.

Існує декілька наукових праць, де досліджується ефективне розподілення ресурсів на основі класифікації завдань і порогу прийняття рішень. При цьому покриваються декілька етапів, на кожному з яких працюють різні методи. На першому етапі виконується обробка програмних завдань з метою уникнути вузьких місць в залежності від довгого часу виконання. На другому етапі використовується відомий метод PSO [1] для вибору найкращого порядку виконання завдань. Запропонована комбінація методів була порівняна із методами PSO, енергоефективним алгоритмом балансування навантаження з плануванням робочого процесу, оптимізацією Firefly. Результати експериментів виявили, що запропонований метод набагато кращий у енергозбереженні, розширенні та балансуванні навантаження. У якості майбутніх цілей автори методу вирішили проаналізувати міграції віртуальних машин на базі адаптивних порогових вимог для отримання більшої ефективності в споживанні енергії [4].

В роботі [5] запропоновано метод планування на основі робочого процесу з обмеженим бюджетом, який отримав назву методу планування, що керується завданнями (TDSA). Основна мета методу – оптимізація часу виконання обчислювального процесу. Автори методу запропонували два нових механізми. Перший з них – динамічний механізм розподілу суббюджету для завдання. Другий – механізм планування на основі дублювання завдань. В основі методу лежить розподіл підбюджетних коштів, направлений на повертання бюджету, який не було використано, для подальшого планування. У другому механізмі планування завдань використовуються запити. Після чого знаходяться неактивні пули в обчислювальних ресурсах для вибіркового дублювання завдань. Результати їх експериментів показують, що вони збільшують процент використання ресурсів до 30%. Розроблений метод було порівняно з жадібним алгоритмом резервування ресурсів та модифікованим методом часу найранішого завершення виконання завдання (GRP-HEFT) [6]. В останній роботі автори зосередилися на плануванні робочого процесу з обмеженим бюджетом, для чого цілевою функцією було зменшення часу виконання завдань. Оскільки модель виставлення рахунків у більшості хмарних систем базується на часі використання ресурсів, а це повсякденна задача будь-якого провайдера, це може призводити до збільшення часу виконання з боку постачальника послуг, а також до непрозорих рішень.

Ще один метод, в основі якого є зниження споживання енергії в хмарі використовує перевідображення критичних завдань (RMREC). Критеріями оптимізації виступають час виконання або вартість в умовах бюджетного обмеження. Метод складається з двох етапів. На першому етапі зорганізується зменшення споживання енергії

з виконанням перерозподілу критичних завдань. Для реалізації цієї мети, виконується розподіл завдань за наявними віртуальними машинами, який базується на найменшому енергоспоживанні і є попереднім. Другий етап методу перенаправляє критичні завдання на віртуальні машини, що мають менші витрати споживання енергії. В експериментальній частині метод був порівняний з методом мінімізації споживання енергії з бюджетними обмеженнями, мінімізацією енергоспоживання та балансуванням бюджетного навантаження [7].

У наступній статті [8] розглянуто підхід кластеризації (англ. clustering approach, CA) для мінімізації порушень SLA. Дослідники зосередилися на прогнозуванні порушень рівнів SLA та передбачанні робочого навантаження в хмарній системі. Для класифікації використовувався підхід Naive Bayes. В роботі було порівняно результати запропонованого методу з результатами роботи активних віртуальних машин без прогнозування та методом, який використовував авторегресійне інтегроване ковзне середнє для оцінки продуктивності віртуальних машин.

Новий метод [9] базується на погодинному циклі формування рахунків. Оскільки обмеження даних застосовуються до програмних завдань в хмарі, існує ймовірність неактивних пулів ресурсів у хмарі. Деякі завдання можна використовувати в межах цих неактивних пулів з метою повторного виконання завдань, які вже було виконано на цих ресурсах. Такий підхід дозволяє скоротити час виконання. У цілому, це дозволяє мінімізувати тривалість робочого обчислювального процесу. Водночас забезпечуються бюджетні обмеження на виконання завдання. Запропонована в роботі модель обслуговування TDSA використовує два важливих метода: метод динамічного суббюджетування, який відповідає за повернення невикористаного бюджету та його передачу далі. Другий метод базується на механізмі планування дубльованих завдань, який використовує незадіяні системні пули ресурсів для вибіркового запуску дубльованих завдань. Результат експериментів з впровадження методу показує, що використання методу TDSA зменшує вартість на 14,7%, а використання ресурсів на 30,8% [10]. Оскільки управління обчислювальним процесом і планування в хмарних системах є дуже актуальними задачами, дослідники зосередили увагу на розумному управлінні хмарними ресурсами з метою підвищення продуктивності.

Зменшити витрати на планування обчислювального процесу вдалось в [11] та [12], де було запропоновано підходи до планування завдань, які зменшують час виконання використовуючи коефіцієнти довжини планування (SLR) і прискорення обчислень. Ці методи враховують різномірність ресурсів та механізм пріоритетів завдань. В роботі порівняно різні методи, і запропонований підхід домінував над існуючими алгоритмами. Показано, що гібридні методи, наприклад, генетичні та імунні, які використовуються для ефективного планування та виконання завдань в хмарному середовищі є перспективними напрямками досліджень [13].

Порівняння описаних методів наведено у таблиці 1.

Таким чином, було проаналізовано різні методи планування завдань і обчислювальних процесів, які враховують одноцільові та багатоцільові підходи. Але планування в хмарних обчисленнях все ще є завданням, оскільки це NP-складна проблема. Крім того, окрім пріоритетного планування розподілу за обраним критерієм, зазвичай стоїть інша задача, наприклад мінімізації енергоспоживання або оцінка порушень SLA. Для подолання цієї проблеми і ефективного планування робочих процесів на обчислювальних ресурсах, в даній роботі запропонована модель планування робочого процесу.

Таблиця 1

#### Показники ефективності для методів розподілу ресурсів

Назва метода	Енергоспо-живання	SLA	Використання ресурсів	Час виконання	Балансування навантаження
PSO	+			+	+
TDSA	+	+			+
GRP-HEFT				+	
RMREC	+				
CA		+	+		
SLAAEERM	+	+			
MOACO, CCA			+	+	
HDPSO		+	+	+	
TDA			+	+	

#### Формулювання мети дослідження

Мета даної роботи полягає у підвищенні ефективності управління розподіленним обчислювальним процесом шляхом аналізу і розроблення моделей процесу розподілу програмних завдань за обчислювальними ресурсами з урахуванням забезпечення функціональної стійкості програмного забезпечення інформаційних систем.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Елементи, якими оперує система управління обчислювальним процесом, зазвичай є різномірними. Так, наприклад, завдання та обчислювальні ресурси являють собою безліч програм та комп'ютерних компонентів, на яких ці програми можуть бути виконані. Методи розподілу, синхронізації, підтримки функціональної стійкості – це

окремі підпрограми та розподілене програмне забезпечення (ПЗ), які викликаються системою управління для реалізації тих чи інших цілей. Модель системи управління РОП містить наступні елементи:

$$\Omega = \langle Z, R, Mg, Sh, Q, Sy, Sc, Ms \rangle, \quad (1)$$

де  $Z$  – множина завдань, які необхідно виконати в пакетному режимі або режимі реального часу;  $R$  – множина обчислювальних ресурсів, які доступні системі управління;  $Mg$  – множина сервісів моніторингу параметрів гетерогенної комп’ютерної системи;  $Sh$  – множина схем призначення, що визначають порядок розподілу завдань за обчислювальними ресурсами;  $Q$  – множина методів розподілу ресурсів (мета застосування методу розподілу ресурсів – створити схему призначення);  $Sc$  – множина засобів масштабування;  $Sy$  – множина методів синхронізації програм у завданнях;  $Ms$  – множина методів, які забезпечують життєздатність обчислювальних процесів у відмові ресурсів.

До елементів моделі системи управління РОП також відноситься множина параметрів, що оцінюють ефективність виконання завдань:

$$O = \{\overline{T_j}, \overline{TR_j}, \overline{TP_j}, \overline{Vz_j}, \overline{Yz_j}, \overline{C_j}\}, j = \overline{1, N} \quad (2)$$

де  $T$  – визначає час, витрачений обчислювальним ресурсом виконання завдання,  $TR$  и  $TP$  – час роботи та простою ресурсу,  $Vz$  – вимоги до оперативної пам’яті з боку завдання,  $Yz$  – характеристики зв’язності та трафіку всередині завдання;  $C$  – вартість виконання завдання,  $N$  – кількість завдань.

Як бачимо, наведені параметри мають різну фізичну природу та одиницю виміру (час, обсяг пам’яті, вартість). Крім того, час виконання, простою та вартість – це кількісні характеристики, що характеризують обчислювальний процес. З цього випливає, що управління обчислювальним процесом у даному контексті є складним і погано формалізованим завданням. У процесі експериментів було виявлено ряд параметрів обчислювального середовища, що впливають на ефективність РОП, такі як обсяги оперативної пам’яті, час простою, енергоспоживання, рівень забезпечення SLA та інші. Саме ці параметри враховуються під час реалізації розподілених обчислень.

На основі цього розробимо модифіковану теоретико-множинну модель розподіленого обчислювального процесу з підтримкою функціональної стійкості. Кожен елемент з множини  $\Omega$  (1) містить програму або сукупність програм (програмну систему), які забезпечують виконання функціональності даного елемента в системі РОП. Таким чином, кожному елементу цієї множини можна поставити у відповідність програмну систему  $PS$ ,  $PS = \bigcup Pr$ , яка може містити одну або більше програм:  $\forall \omega \in \Omega, \exists ps \in PS$ . Кожна програма  $Pr$ , що входить до  $ps$  складається з коду та даних.

Введемо атрибут  $t$ , який визначає часову мітку для кожного елемента множин (1) та (2), яка відображає, що в процесі плину часу, вказані елементи змінюють свій стан.

Зміна стану системи у часі  $\Omega^t \xrightarrow{U^{\omega^t}} \Omega^{t+1}$  або  $PS^t \xrightarrow{U^{ps^t}} PS^{t+1}$  відбувається під впливом однієї або декількох програмних компонент самої системи.

Функціональна стійкість системі в нашому контексті означає, що при відмові будь-якого програмного компонента  $P$ ,  $P \in PS$ , система відновить його роботу в найкоротший термін. При відмові однієї з програм (ресурсу), для відновлення функціонування, необхідно відновити код та дані програми на іншому ресурсі. Для забезпечення даного процесу необхідні наступні дії.

1. Постійно зберігати дані програми одним або декількома методами. Дану функцію виконують менеджер, який отримує стан програмних компонент, та модуль відновлення, який зберігає стан програмних компонент в момент часу  $t_q$ :

$$Mg^t \xrightarrow{Pr_d(t_q) | Pr_c(Cd^{ad.sz}, t_q)} Mg^{t+1} \Rightarrow Ms^t \xrightarrow{Mg^t} Ms^{t+1}, \quad (3)$$

де  $\Rightarrow$  позначає наслідок дії менеджера, який ініціює збереження даних та передачу їх до модуля відновлення,  $Pr_d(t_q)$  та  $Pr_c(Cd^{ad.sz}, t_q)$  – процедури збереження стану.

2. Виявити відмову програми (ресурсу) або множини програм:

$$Mg^t \xrightarrow{P^t} Mg^{t+1} \Rightarrow P_{Err}^t, P_{Err} \in P, \quad (4)$$

де  $P_{Err}$  – множина програм, що відмовили.

3. Проводити моніторинг вільних ресурсів  $R^e$ , на які можливо перерозподілити програмні компоненти:

$$Mg(R) = R^e = \bigcup_{m=1}^M R_m \setminus \bigcup_{i=1}^N R_r | r = j, \forall \{P_i \rightarrow R_j\}, \quad (5)$$

що, в залежності від методу самовідновлення, можна виконувати після отримання множини  $P_{Err}$ , або робити постійно у фоновому режимі.

Якщо  $P_{Err} = \emptyset$ , обчислювальний процес продовжується у штатному режимі. В протилежному випадку, необхідно ініціювати процес відновлення програми (програм). Для цього треба:

1. Менеджер передає множини програм для відновлення  $P_{Err}$  та вільних ресурсів  $R^e$  до модулю відновлення:  $Mg(R^e, P_{Err}) \Rightarrow Ms(R^e, P_{Err})$ .
2. Модуль відновлення обрає новий ресурс (ресурси) для виконання програми (нову схему призначення):  $Sh^{Err} = \{P^{Err} \rightarrow R^e\}$ .
3. Модуль відновлення завантажує відповідний програмний компонент на обраний ресурс та відновляє роботу програми, для чого повертає її до стану, найближчому к часу відмови ресурсу:

$$Ms^t \xrightarrow{P_{Err}, R^e, Pr'_d(t_q) | Pr'_c(Cd^{ad.sz} t_q)} Ms^{t+1} \Rightarrow Mg^{t+1} (Sh^{Err} = \{P^{Err} \rightarrow R^e\}), \quad (6)$$

де процедури відновлення  $Pr'_d(t_q)$  і  $Pr'_c(Cd^{ad.sz} t_q)$  стану.

Перед розгортанням, програма профілюється для виявлення потенційних точок відновлення. Після завершення профілювання, програма розгортається у своєму робочому середовищі. На цьому етапі деякі методи само-відновлення можуть вплинути на початковий стан розподіленої системи. Наприклад, зарезервувати ресурси для подальшого відновлення. Це стосується баз даних, в яких планується зберігати стан програмних компонент, множини ресурсів, які залишилися вільними після первинного розподілу, або «гарячих резервів» ресурсів, на яких система може запустити копії деяких критично важливих програмних компонент.

Під час виконання, система аналізує стан програми за допомогою засобів менеджера, які виявляють та звітують про збій програми або системи.

Для оцінки обраної стратегії та моделі управління системою розподілених обчислень пропонуємо моделі оцінки часу виконання та енергоефективності перерозподілу завдань за обчислювальними ресурсами при забезпеченні функціональної стійкості.

Одними з основних критеріїв оцінювання якості обраної стратегії керування є час виконання завдання, вартість виконання та енергоефективність.

У зв'язку з розподіленою природою завдання та обчислювального середовища, час виконання усього завдання (2.4) дорівнює максимальному часу виконання однієї з програм в завданні:

$$T_z = \text{Max}(t_i^{\text{finish}} - t_i^{\text{start}}), i = \overline{1, N} \quad (7)$$

де  $N$  – кількість програм в завданні  $Z$ ,  $t_i^{\text{finish}}$  – час завершення виконання програми,  $t_i^{\text{start}}$  – час початку виконання програми.

Оцінка споживання енергії на виконання завдань та підтримку функціонування середовища виконання розраховується на основі загального енергоспоживання серверів, які є доступними у центрах обробки даних.

У системах хмарних обчислень споживання енергії має дві складові: фіксоване  $E_f$  та динамічне  $E_d$  енергоспоживання. Фіксоване споживання енергії обумовлене постійною роботою сервера між виконанням завдань та фонову роботою інших програм (у тому числі операційної системи та системи управління розподіленими обчисленнями). Динамічне споживання енергії пов'язане з виконанням конкретного завдання та використання інших сервісів у хмарі, які підтримують виконання завдання [14]:

$$E_{full} = (\sigma) \cdot E_f + (1 - \sigma) \cdot E_d, \quad (8)$$

де  $\sigma$  – частина простою ресурса, яка для конкретного обчислювального ресурсу визначається як

$$\sigma_i = \frac{T_{task} - (t_i^{\text{finish}} - t_i^{\text{start}})}{T_{task}}. \quad (9)$$

Динамічне споживання енергії складається з декількох компонентів: роботи системи охолодження ( $E_{col}$ ), мережного ресурсу з обміну даними ( $E_{network}$ ), ресурсу зберігання проміжних, вхідних та вихідних даних ( $E_{storg}$ ) та енергії, яка витрачається на проведення обчислень ( $E_{CPU}$ ):

$$E_d = E_{CPU} + E_{storg} + E_{network} + E_{col}. \quad (10)$$

В окремих випадках вираз (2.31) може бути розширений додатковими затратами енергії, наприклад при використанні графічних та інших спеціальних процесорів або зовнішніх пристроїв.

Фіксоване енергоспоживання може бути оцінено таким же чином або на основі статистичних амортизаційних характеристик дата центру, які формуються провайдером хмарних послуг.

Цільова функція енергоефективності з урахуванням часу простою та активним часом обслуговування завдань може бути сформульована наступним чином:



$$\min(E_{\text{full}}) = \min\left(\sum_{i=1}^N (\sigma_i \cdot E_f + (1 - \sigma_i) \cdot E_d)\right), \quad (11)$$

за умови однорідності параметрів хмарних обчислювальних ресурсів. Інакше,  $E_f$  і  $E_d$  доведеться обчислювати для кожного ресурсу окремо.

Ідеальним випадком для виконання завдання є ситуація, коли час простою дорівнює 0. У цьому випадку споживання енергії буде мінімальним. Корекція споживання енергії в режимі простою може відбуватися шляхом динамічного масштабування напруги, частоти конкретного основного процесора та периферійних пристроїв, але в цьому випадку можливе значне збільшення часу «гарячого старту» ресурсу при появі завдання.

Аналіз літератури показує, що для моделювання робочих процесів в розподілених системах, як правило використовується відкритий проект WorkflowSim [15], який дозволяє запропоновані підходи порівняти з існуючими підходами та оцінити їх ефективність. В системі реалізовані декілька сучасних методів розподілу ресурсів. Для проведення експериментів, які проводилися з метою перевірки корисності розроблених моделей, було вибрано наступні методи: first-come-first-served (FCFS), Min-Min (мінімальний час виконання, мінімальне енергоспоживання), minimal completion time (MCT) і Round Robin (RR).

Програмні модулі, які реалізують ці методи було модифіковано наступним чином: змінені моделі оцінки часу виконання та енергоспоживання відповідно до виразів (7–11); введена ймовірність відмови одного з обчислювальних ресурсів на протязі певного інтервалу часу; модифіковані засоби моделювання відновлення функціонування системи при відмові ресурсу згідно виразів (3–6); стратегія управління розподіленим обчислювальним процесом направлена на мінімізацію енергоспоживання.

Було використано різну кількість віртуальних машин і різну кількість завдань, щоб перевірити валідність запропонованого нами методу. Кількість завдань визначалась в діапазоні від 50 до 150, кількість віртуальних машин – 10–20, об'єм фізичної пам'яті – 16 Gb, об'єм зовнішньої пам'яті – 4Tb, гіпервізор Xen. Потік завдань, наявна конфігурація та відмови генерувались випадково, після чого застосовувались стандартні та модифіковані з використанням розроблених моделей методи. Отримані в результаті параметри усереднювались на основі нормування у часі.

На рис. 1 наведено результати моделювання РОП у випадку, коли відмови не відбувалися. З рисунку видно, що час середній час виконання завдань, отриманий за допомогою стандартних та модифікованих моделей приблизно однаковий (похибка не перевищує 1–3%), що говорить про правильність моделей оцінки часу виконання завдань.

На рис. 2 зображено результати декількох експериментів з оцінкою часу виконання завдань з різною ймовірністю  $\eta$  виникнення збою (відмови) одного з обчислювальних ресурсів.

Аналіз результатів показує ефективність запропонованих моделей у випадку відмов ресурсів, а саме зменшення часу виконання завдань. За рахунок відновлення стану програмних компонент, обчислювальних процесів відновлює виконання своїх функцій швидше, ніж з застосуванням стандартних методів. Так для ймовірності відмови  $\eta=0.01$ , зменшення часу виконання завдань склало 22%, для  $\eta=0.02$  – 43%. І з ростом ймовірності відмов, процент економії часу виконання зростає.

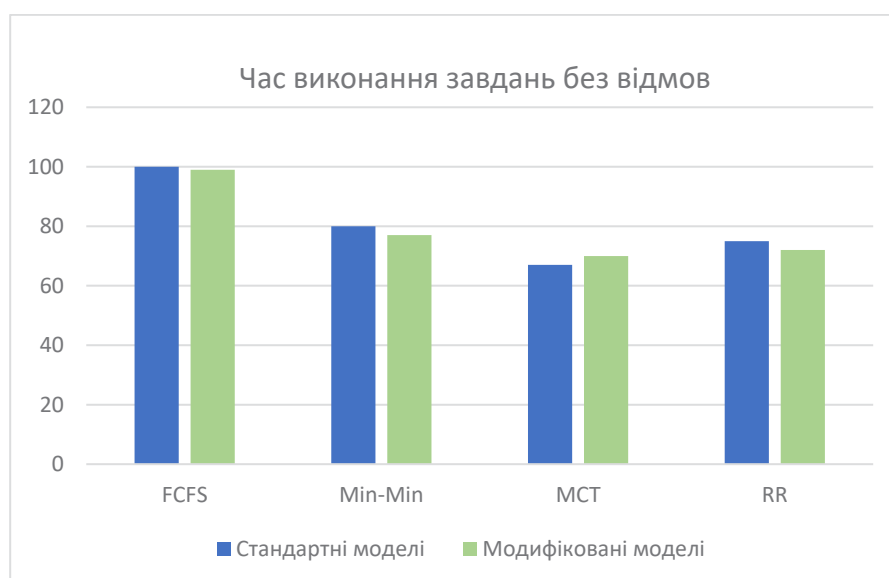
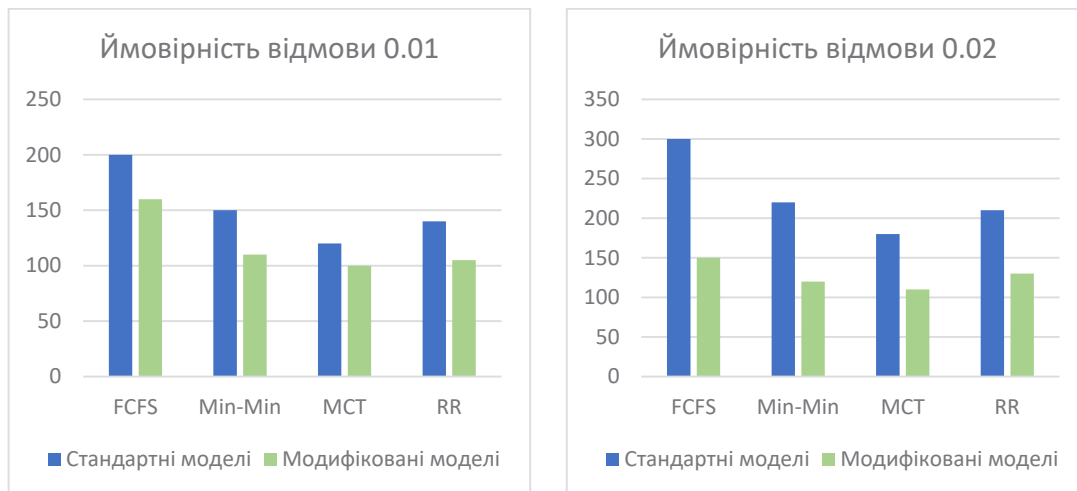
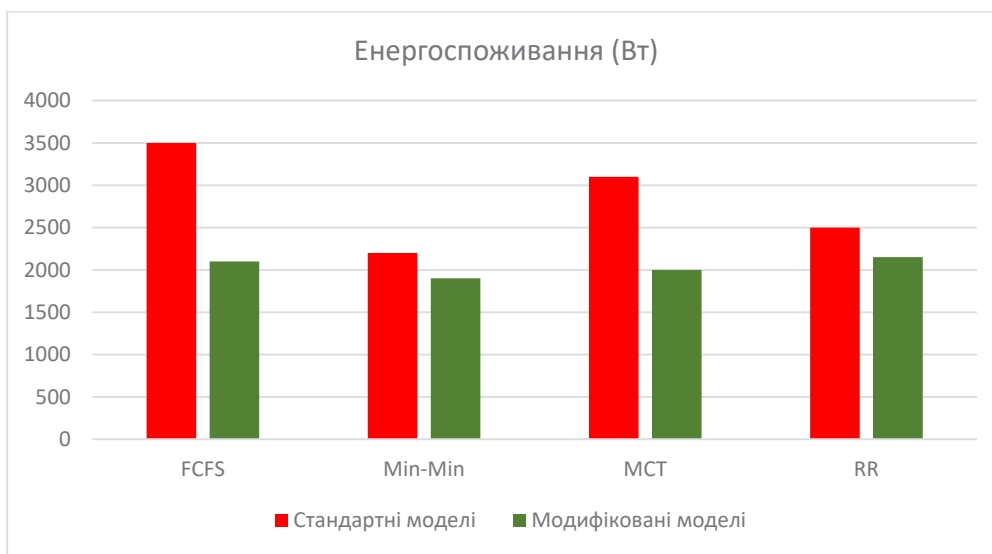


Рис. 1. Оцінка часу виконання завдань з застосуванням стандартних та модифікованих моделей



**Рис. 2. Оцінка часу виконання завдань з застосуванням стандартних та модифікованих моделей при різній ймовірності відмов ресурсів**

На рис. 3 представлені усередненні оцінки енергоспоживання при виконанні завдань стандартними методами планування з використанням стандартних та модифікованих моделей. Умови експериментів були такі ж самі, які описано раніше. Ймовірність відмови обиралась випадковим чином з діапазону  $\eta \in [0, 0.02]$ . Результати свідчать, що запропоновані модифіковані моделі оцінки енергоспоживання РОП з підтримкою функціональної стійкості, дозволяють знизити споживання енергії. У середньому, в процесі проведення експериментів, використання модифікованих моделей в стандартних методах планування, дозволило зменшити споживання енергії на 26 відсотків. При збільшенні розмірності завдань та ймовірності відмов, процент зниження енергоспоживання збільшується.



**Рис. 3. Оцінка споживання енергії при виконанні завдань з застосуванням стандартних та модифікованих моделей**

**Висновки**

Запропоновані моделі вирішують задачі підвищення ефективності обчислювального процесу в розподілених комп'ютерних системах. Вони включають модифіковану теоретико-множинну модель РОП з підтримкою функціональної стійкості, модифіковані моделі оцінки часу виконання та енергоспоживання.

Використання запропонованих моделей в стандартних методах розподілу ресурсів, стандартних планувальниках дозволило в описаних експериментах знизити час виконання обчислювальних завдань до 43%, а енергоспоживання у середньому на 26%.

Перспективним напрямом бачиться розробка методів розподілу ресурсів та технологій РОП з використанням отриманих моделей, які враховують засоби підтримки функціональної стійкості обчислювального процесу.

## Список використаної літератури

1. I. Ruban, M. Volk, T. Filimonchuk, I. Ivanisenko, M. Risukhin, Y. Romanenkov. The Method for Ensuring the Survivability of Distributed Computing in Heterogeneous Computer Systems. 5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, October 9–12, 2018. pp. 1–7.
2. T. Filimonchuk, M. Volk, I. Ruban, V. Tkachov Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system, 2016. Vol. 3/9 (81). pp. 45–53.
3. P. Wang, Y. Lei, P. R. Agbedanu, and Z. Zhang, “Makespandriven workflow scheduling in clouds using immune-based PSO algorithm,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 29281–29290, 2020.
4. N. Malik, M. Sardaraz, M. Tahir, B. Shah, G. Ali, and F. Moreira, “Energy-efficient load balancing algorithm for workflow scheduling in cloud data centers using queuing and thresholds,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 13, Article ID 5849, 2021.
5. P. Wang, Y. Lei, P. R. Agbedanu, and Z. Zhang, “Makespandriven workflow scheduling in clouds using immune-based PSO algorithm,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 29281–29290, 2020.
6. H. R. Faragardi, M. R. S. Sedghpour, S. Fazliahmadi, T. Fahringer, and N. Rasouli, “GRP-HEFT: a budget-constrained resource provisioning scheme for workflow scheduling in IaaS clouds,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 31, no. 6, pp. 1239–1254, 2020.
7. L. Zhang, L. Wang, Z. Wen, M. Xiao, and J. Man, “Minimizing energy consumption scheduling algorithm of workflows with cost budget constraint on heterogeneous cloud computing systems,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 205099–205110, 2020.
8. R. Anitha and C. Vidyaraj, “Workload and SLA violation prediction in cloud computing,” in 2019 Third International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), pp. 582–587, IEEE, Coimbatore, India, 2019.
9. Y. Hu, H. Wang, and W. Ma, “Intelligent cloud workflow management and scheduling method for big data applications,” *Journal of Cloud Computing*, vol. 9, Article ID 39, 2020.
10. Y. Cui and Z. Xiaoqing, “Workflow tasks scheduling optimization based on genetic algorithm in clouds,” in IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA), pp. 6–10, IEEE, Chengdu, China, 2018.
11. M. N. Aktan and H. Bulut, “Metaheuristic task scheduling algorithms for cloud computing environments,” *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 34, no. 9, Article ID e6513, 2022.
12. R. N. Talouki, M. H. Shirvani, and H. Motameni, “A heuristic based task scheduling algorithm for scientific workflows in heterogeneous cloud computing platforms,” *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 8, Part A, pp. 4902–4913, 2022.
13. R. N. Talouki, M. H. Shirvani, and H. Motameni, “A hybrid meta-heuristic scheduler algorithm for optimization of workflow scheduling in cloud heterogeneous computing environment,” *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 20, no. 6, pp. 1581–1605, 2022.
14. S. Mustafa, K. Bilal, S. U. R. Malik, and S. A. Madani, “SLA-aware energy efficient resource management for cloud environments,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 15004–15020, 2018.
15. WorkflowSim <https://github.com/WorkflowSim/WorkflowSim-1.0>

**М. А. ГУНЬКО**

магістр кафедри електронних обчислювальних машин  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
ORCID: 0000-0002-8011-0693

**В. М. ТКАЧОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри електронних обчислювальних машин  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
ORCID: 0000-0002-6524-9937

## ГЛИБИННА ІНТЕГРАЦІЯ ХМАРНИХ ТА ТУМАННИХ ОБЧИСЛЕНЬ

*Мета цієї статті – забезпечити краще розуміння туманних та хмарних обчислень і запропонувати відповідні шляхи дослідження в цій зростаючій галузі. Крім того, ми розглянемо майбутні переваги туманних обчислень і можливі майбутні виклики. У цьому контексті використовуються терміни продуктивність, туманні обчислення, архітектура, масштабування та великі дані. Туманні обчислення пропонують широкий спектр архітектурних конфігурацій. Хмарні обчислення також змінили спосіб зберігання, обробки та доступу до даних і, як очікується, продовжуватимуть мати значний вплив на майбутнє інформаційних технологій. Частково перемістивши ІТ-ресурси в туман, організації можуть зменшити витрати на ІТ-інфраструктуру та підвищити операційну ефективність. Хмарні обчислення також дозволяють організаціям платити лише за ті ресурси, які вони використовують, а не інвестувати в дорогі ліцензії на обладнання та програмне забезпечення. Хмарні постачальники вкладають значні кошти в заходи безпеки та відповідності, які допомагають захистити організації від кіберзагроз. Хмарні обчислення забезпечують масштабовану платформу для додатків штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяє організаціям створювати ці технології легше та економічно ефективніше. У майбутньому ІТ-лідери та компанії, які вони обслуговують, стикатимуться з дедалі складнішими викликами, щоб залишатися конкурентоспроможними в середовищі туманних обчислень, що розвивається. Крім того, надзвичайно важливо підтримувати відповідність існуючим нормам, а також новим нормам, які можуть виникнути в майбутньому. Хмарні обчислення широко використовуються в бізнес-інноваціях. Завдяки своїй гнучкості та адаптивності туманні технології дозволяють нові способи роботи, функціонування та функціонування. Туманні обчислення дозволяють використовувати з'єднання будь-де, оскільки вони зберігаються в мережі розміщених комп'ютерів, які передають дані через Інтернет. Туманні обчислення довели свою користь як для споживачів, так і для компаній. Точніше кажучи, туман змінив спосіб нашого життя. Загалом, туманні обчислення ймовірно й надалі відіграватимуть важливу роль у майбутньому ІТ, дозволяючи організаціям ставати більш гнучкими, ефективними та інноваційними в умовах швидких технологічних змін. Це, ймовірно, сприятиме подальшим інноваціям у сфері штучного інтелекту та машинного навчання в найближчі роки.*

**Ключові слова:** хмарні обчислення, туманні обчислення, обчислювальні послуги, приватна хмара, публічна хмара, гібридна хмара.

**М. А. HUNKO**

Master at the Department of Electronic Computers  
Kharkiv National University of Radioelectronics  
ORCID: 0000-0002-8011-0693

**V. M. TKACHOV**

Ph.D, Associate Professor,  
Professor at the Department of Electronic Computers  
Kharkiv National University of Radioelectronics  
ORCID: 0000-0002-6524-9937

## DEEP INTEGRATION OF CLOUD AND FOG COMPUTING

*The aim of this article is to provide a better understanding of fog and cloud computing and propose relevant research directions in this growing field. Additionally, we will examine the future benefits of fog computing and potential future challenges. In this context, terms such as performance, fog computing, architecture, scalability, and big data are used. Fog computing offers a wide range of architectural configurations. Cloud computing has also changed the way data is stored, processed, and accessed and is expected to continue to have a significant impact on the future of information technology. By partially moving IT resources to the fog, organizations can reduce costs on IT infrastructure and enhance*

*operational efficiency. Cloud computing also allows organizations to pay only for the resources they use, avoiding the need to invest in expensive hardware and software licenses. Cloud providers invest significant funds in security and compliance measures, helping to protect organizations from cyber threats. Cloud computing provides a scalable platform for artificial intelligence and machine learning applications, making it easier and more cost-effective for organizations to create and deploy these technologies. In the future, IT leaders and the companies they serve will face increasingly complex challenges to remain competitive in the evolving fog computing environment. Additionally, it is crucial to support compliance with existing standards and potential new standards that may arise in the future. Cloud computing is widely used in business innovations. Thanks to their flexibility and adaptability, fog technologies enable new ways of working, functioning, and operating. Cloud computing allows connections from anywhere since they are stored in a network of distributed computers transmitting data over the Internet. Cloud computing has proven its value for both consumers and companies. In essence, fog has changed our way of life. Overall, fog computing will likely continue to play a crucial role in the future of IT, enabling organizations to become more flexible, efficient, and innovative in the face of rapid technological changes. This, in turn, is likely to contribute to further innovations in the field of artificial intelligence and machine learning in the coming years.*

**Key words:** cloud computing, fog computing, computational services, private cloud, public cloud, hybrid cloud.

### Постановка проблеми

Концепція хмарних обчислень виникла в 1960-х роках з розвитком технології розподілу часу, яка дозволяла кільком користувачам мати доступ до одного комп'ютера одночасно. Однак сучасна концепція хмарних обчислень, яка передбачає доставку обчислювальних ресурсів через Інтернет, була вперше запропонована наприкінці 1990-х років. Термін «хмарні обчислення» вперше використав комп'ютерний вчений Рамнат Челлаппа в статті 1997 року, в якій він описав нову парадигму надання обчислювальних послуг через Інтернет. Однак лише в середині 2000-х років, з появою віртуалізації та розвитком веб-сервісів, хмарні обчислення як бізнес-концепція почали розвиватися. Інші ранні хмарні постачальники включають Google Cloud Platform (GCP) і Microsoft Azure, обидва запущені в 2008 році. З тих пір хмарні обчислення стали все більш поширеними, з різними хмарними службами та постачальниками, доступними для організацій будь-якого розміру. Доступність ресурсів комп'ютерної системи на вимогу, особливо зберігання даних (хмарне сховище) і потужність обробки, без прямого активного керування з боку користувача, називається хмарними обчисленнями. Функціональні можливості великих хмар часто розповсюджуються на кілька сайтів, кожен з яких є центром обробки даних. Однак періодично виникає проблема пропускну здатності мережі та доступності мережі в певний момент часу. Також пересилання даних мережею потребує значних витрат енергії, що не є проблемою, коли пристрій має стабільне постачання енергії, але для мобільних пристроїв питання заощадження енергії та підвищення часу живучості стає актуальною проблемою.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Хмарні обчислення – це нещодавно розроблена нова парадигма для розміщення та надання послуг через Інтернет. Хмарні обчислення є привабливими для власників бізнесу, оскільки вони позбавляють клієнтів від необхідності планувати конфігурації та дозволяють організаціям починати з малого та масштабувати лише тоді, коли попит на послуги зростає [3]. Незважаючи на те, що хмарні обчислення відкрили великі перспективи для ІТ-індустрії, технологія хмарних обчислень все ще знаходиться в зародковому стані, і існує ще багато труднощів, які потрібно вирішити. У цій роботі ми розглядаємо хмарні обчислення, охоплюючи основні концепції, архітектурні принципи, передові реалізації та дослідницькі питання [3]. Крім того, оскільки хмара працює на основі оплати за використання, кожна конфігурація (тип віртуальної машини розміром кластера) має поточну вартість і час виконання. Таким чином, завдання можна оптимізувати за мінімальних витрат або мінімального часу, що є двома різними конфігураціями. Вибір відповідної хмарної конфігурації для вашої програми має вирішальне значення для якості обслуговування та конкурентоспроможності бізнесу.

Наприклад, неправильна конфігурація хмари може збільшити витрати до 12 разів за тих самих цілей продуктивності. Для повторюваних операцій, які регулярно виконують подібні робочі навантаження, економія від ефективної хмарної конструкції набагато більша. Тим не менш, вибрати найкраще налаштування хмари є обов'язковим. Наприклад, отримати найдешевше або найшвидше рішення важко через складність одночасного досягнення високої точності, мінімальних накладних витрат і адаптованості до багатьох програм [4].

### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є огляд існуючих рішень хмарних обчислень та розширення можливостей мобільних пристроїв шляхом додавання туманних обчислень за для підвищення живучості мобільних пристроїв, зменшення навантаження на мережу, де існує низька пропускну здатність мережі.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Згідно з малюнком 1, існує метафора хмарних обчислень: «Набір мережевих елементів, які надають послугу, не потребує індивідуальної адресації або керування користувачем; замість цього можна переглядати весь керований провайдером набір обладнання та програмного забезпечення, як аморфна хмара». Існує чотири основних типи хмарних обчислень:

– Приватна хмара: приватна хмара – це середовище хмарних обчислень, призначене для однієї організації чи підприємства. Зазвичай він використовується великими підприємствами чи організаціями, яким потрібен високий рівень безпеки, контролю та налаштування ІТ-інфраструктури. У приватній хмарі обчислювальні ресурси, такі як сервери, сховища та мережі, віртуалізуються та надаються як послуга користувачам у межах організації. Приватні хмари можуть бути розміщені у власному центрі обробки даних організації або за межами стороннього постачальника хмар.

– Загальнодоступна хмара: публічна хмара – це середовище хмарних обчислень, яке зазвичай створюється з використанням ІТ-інфраструктури, яка не належить кінцевому користувачеві. Alibaba Cloud, Amazon Web Services (AWS), Google Cloud, IBM Cloud і Microsoft Azure є одними з найбільших постачальників публічних хмарних послуг.

– Гібридна хмара: гібридна хмара – це ІТ-середовище, що складається з кількох середовищ, які, здається, з'єднані через локальну мережу, глобальну мережу, VPN та/або API для створення єдиного уніфікованого середовища. Характеристики гібридної хмари є складними, і можуть застосовуватися різні вимоги.

– Мультихмара: мультихмарна архітектура складається з кількох хмарних служб від різних публічних або приватних хмарних постачальників. Хоча не всі багатохмарні хмари є гібридними, усі гібридні хмари є мультихмарними. Коли багато хмар об'єднуються разом за допомогою інтеграції або оркестровки, вони стають гібридними хмарами.



Рис. 1. Базова структура хмарних обчислень

Одне з найважливіших обмежень, яке має відчувати кожна хмарна інфраструктура, це прозорість. Інші важливі обмеження включають масштабованість, безпеку та розумний моніторинг. Поточні дослідження інших важливих обмежень допомагають системам хмарних обчислень розробляти нові функції та технології, які мають великий потенціал для створення більш складних хмарних рішень. Згідно з малюнком 2, хмарна архітектура ділиться на дві частини:

- Frontend: клієнт системи хмарних обчислень називається переднім кінцем хмарної архітектури. Тобто він містить усі інтерфейси користувача та програми, які використовуються клієнтами для доступу до послуг/ресурсів хмарних обчислень. Наприклад, щоб отримати доступ до хмарної платформи, використовуйте веб-браузер.
- Backend: хмара, яку використовує постачальник послуг, називається серверною частиною. Він містить ресурси, контролює ресурси та надає методи безпеки. Він також включає масове зберігання, віртуальні програми,

віртуальні комп'ютери, технологію управління трафіком, моделі розгортання тощо [5]. Компоненти архітектури хмарних обчислень:

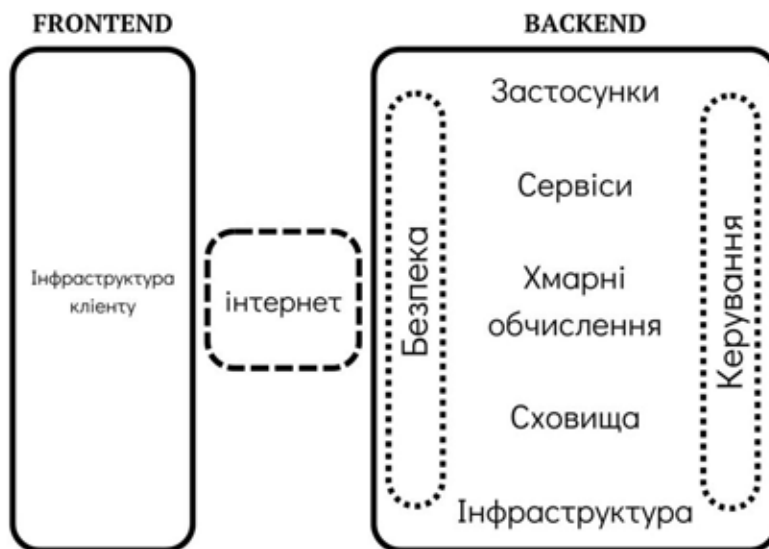


Рис. 2. Загальна архітектура хмарних обчислень

Архітектура хмарних обчислень включає різні компоненти. Інфраструктура клієнта служить для взаємодії з хмарним середовищем через графічний інтерфейс. Додаток може бути будь-яким програмним продуктом або платформою, яку клієнт обирає використовувати. Сервіс визначає тип послуги, до якої клієнт отримує доступ. Хмарні обчислення забезпечують виконання та середовище для віртуальних машин. Однією з ключових складових є зберігання, яке надає об'ємне просторове рішення для управління даними. Інфраструктура доставляє послуги на рівні вузла, додатка та мережі, включаючи сервери, зберігання, мережеві пристрої та програмне забезпечення віртуалізації. Керування використовується для координації компонентів backend частини, таких як додаток, сервіс, хмарні обчислення, зберігання та безпека. Безпека, в свою чергу, вбудована у задній план хмарних обчислень та реалізує механізми безпеки. Інтернет виступає як канал, який з'єднує frontend та backend, забезпечуючи зв'язок між користувачем і хмарним середовищем.

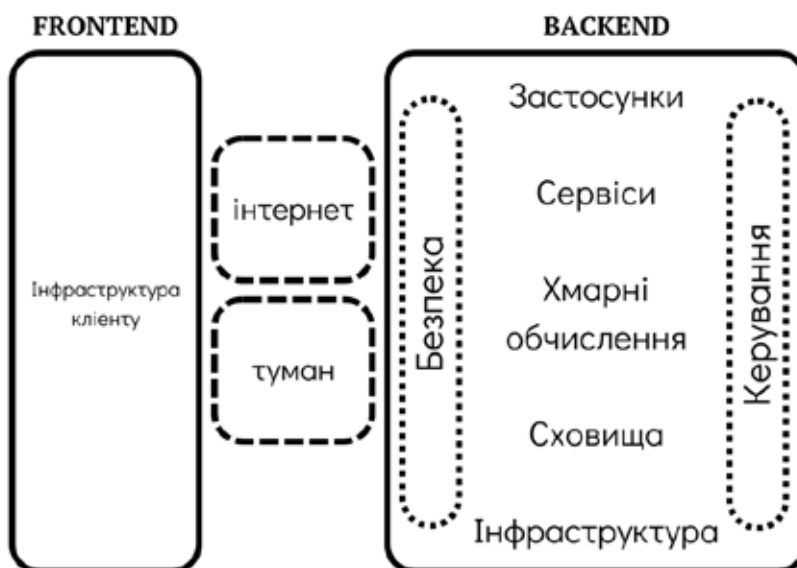


Рис. 3. Архітектура хмарних обчислень з використанням туману

Згідно з рисунком 3 пропонується використання не тільки хмари, а й проміжного туману для обробки проміжних даних. Якщо інфраструктура клієнту раз за разом використовує ті самі дії, в тумані розробляється і впроваджується така інфраструктура, яка зроблена й оптимізована спеціально під вирішення конкретного набору задач.

За рахунок цього вона стає менш гнучкою, але більш ефективною порівняно з універсальними рішеннями, що пропонує хмара. Під більшою ефективністю варто розуміти отримання того ж самого результату за менший термін та/або з меншим використанням енергії.

При зборі даних з сенсорів вимірювання сухості повітря за для запобігання масованих лісних пожеж може використовуватись комбінування хмарних та туманних обчислень. Для визначення доречності передачі даних в хмару з кожного вузла пропонується використовувати наступну формулу(1):

$$L = e^{\frac{D}{100} + F}, \quad 0 < F < 1 \tag{1}$$

де F – поточна завантаженість мережі, D – відстань до вузла передачі даних в метрах, L – коефіцієнт часової затримки передачі даних.

В свою чергу F обчислюється за формулою 2:

$$F = \frac{V}{C} \tag{2}$$

де V – швидкість передачі даних, C – кількість одночасних з’єднань.

Таблиця 1

**Визначення коефіцієнту часової затримки**

D	F	L	D	F	L
5	0.2	1.2840	5	0.6	1.9155
10	0.2	1.3499	10	0.6	2.0138
15	0.2	1.4191	15	0.6	2.1170
20	0.2	1.4918	20	0.6	2.2255
25	0.2	1.5683	25	0.6	2.3396
30	0.2	1.6487	30	0.6	2.4596
35	0.2	1.2	35	0.6	2.5857

Провівши математичне моделювання отримаємо результати коефіцієнту часової затримки. При коефіцієнті вище 2.0 використання хмари стає малоефективним, так як втрачається актуальність даних, що відправляються в хмару. На рис. 4 показані результати обчислення коефіцієнту.



**Рис. 4. Визначення коефіцієнту часової затримки**

**Висновки**

Хмарні обчислення – нова парадигма для надання послуг через Інтернет, що пропонує власникам бізнесу численні переваги. Вибір правильної конфігурації хмари є ключовим для якості обслуговування та конкурентоспроможності бізнесу. Неправильна конфігурація може збільшити витрати в рази. Ефективна хмарна конструкція призводить до значної економії для повторюваних операцій. Однак вибір оптимальної конфігурації важкий через складність досягнення високої точності та адаптованості до різних програм. Хмарне обчислення забезпечує економію коштів, масштабованість та інші переваги, що робить його важливим для компаній. Хмарна міграція супроводжує модернізацію даних та ІТ. Туманні ж обчислення відкривають нові можливості для економії енергії,



даних, зменшення навантаження на мережу, здешевлення обробки даних. Але й туманні обчислення доречно використовувати в типових завданнях для конкретного випадку. Робота проводилась в рамках підготовки кваліфікаційної магістерської роботи.

#### Список використаної літератури

1. Red Hat (2022) Types of Cloud Computing. We Make Open-Source Technologies for the Enterprise. URL: <https://www.redhat.com/en/topics/cloud-computing/public-cloud-vs-private-cloud-and-hybrid-cloud>
2. Cloud Computing: Literature Review (2022). URL: [https://mars.gmu.edu/bitstream/handle/1920/11608/hassan\\_cloud.pdf?sequence=1](https://mars.gmu.edu/bitstream/handle/1920/11608/hassan_cloud.pdf?sequence=1)
3. Cristea, V., Dobre, C., Pop, F.: Context-aware environ internet of things. *Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence Studies in Computational Intelligence*, vol. 460, pp. 25–49.
4. C. C. Byers, “Architectural imperatives for fog computing: Use cases, requirements, and architectural techniques for fog-enabled IoT networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 8, pp. 14–20.
5. Коваленко А.А. Метод забезпечення живучості комп’ютерної мережі на основі VPN-тунелювання / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, В.М. Ткачов // Системи управління, навігації та зв’язку. Полтава: Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, 2021. № 1 (63). С. 90–95.
6. V. Tkachov, M. Hunko, V. Volotka Scenarios for Implementation of Nested Virtualization Technology in Task of Improving Cloud Firewall Fault Tolerance. In Proc. 2019 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019, 08–11 October 2019, Kyiv, Ukraine, pp. 769–773.
7. Laptii Ye. Methods of Construction of Overline Infrastructures in the Cloud Environment / Ye. Laptii, V. Tkachov // Proceedings of Fifth International Scientific and Technical Conference on «Computer And Information Systems And Technologies». April 22–23, 2021. Kharkiv-Riga-Kyiv-Lviv-Baku. С. 7.

#### References

1. Red Hat (2022) Types of Cloud Computing. We Make Open-Source Technologies for the Enterprise. URL: <https://www.redhat.com/en/topics/cloud-computing/public-cloud-vs-private-cloud-and-hybrid-cloud>
2. Cloud Computing: Literature Review (2022). URL: [https://mars.gmu.edu/bitstream/handle/1920/11608/hassan\\_cloud.pdf?sequence=1](https://mars.gmu.edu/bitstream/handle/1920/11608/hassan_cloud.pdf?sequence=1)
3. Cristea, V., Dobre, C., Pop, F.: Context-aware environ internet of things. *Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence Studies in Computational Intelligence*, vol. 460, pp. 25–49.
4. C. C. Byers, “Architectural imperatives for fog computing: Use cases, requirements, and architectural techniques for fog-enabled IoT networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 8, pp. 14–20.
5. Kovalenko A. A., Kuchuk H. A., Tkachov V. M. (2021) Metod zabezpechennia zhyvuchosti kompiuternoї merezhi na osnovi VPN-tuneliuvannia [Method for ensuring the survivability of a computer network based on VPN tunneling] Control, navigation and communication systems(Ukraine, Poltava, 2021). Vol. № 1 (63). pp. 90–95.
6. V. Tkachov, M. Hunko, V. Volotka Scenarios for Implementation of Nested Virtualization Technology in Task of Improving Cloud Firewall Fault Tolerance. In Proc. 2019 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019, 08–11 October 2019, Kyiv, Ukraine, pp. 769–773.
7. Laptii Ye. Methods of Construction of Overline Infrastructures in the Cloud Environment / Ye. Laptii, V. Tkachov // Proceedings of Fifth International Scientific and Technical Conference on «Computer And Information Systems And Technologies». April 22–23, 2021. Kharkiv-Riga-Kyiv-Lviv-Baku. P. 7.

**С. В. ПОПЕРЕШНЯК**

кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
доцент кафедри інформатики та програмної інженерії  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID: 0000-0002-0531-9809

**А. С. ВЕЧЕРКОВСЬКА**

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри програмних систем і технологій  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
ORCID: 0000-0003-2054-2715

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБКИ ВИМОГ ДО ХМАРНИХ ПРОГРАМ ТА СЕРВІСІВ

*В роботі приділено увагу розробці вимог, так як це є одним з найскладніших і важливих етапів розробки будь-якого бізнес-процесу або проекту. Це дослідження намагається з'ясувати характеристики та аспекти інженерних вимог, які застосовуються хмарними обчисленнями. Розглянуто нотацію моделювання бізнес-процесів (BPMN), що якісно впливає на фіксацію процесу та внесення відповідних змін для покращення бізнес-операцій. Акцентовується увага, що BPMN можна використовувати як метод розробки вимог у хмарних бізнес-операціях. Крім того, у цій роботі представлено інженерну структуру вимог для послуг і хмарних обчислень, а також обговорюватиметься еталонна архітектура для послуг і хмарних обчислень. Розробка програмного забезпечення в хмарному середовищі включає деякі основні проблеми, такі як композиція програмного забезпечення, програмування, орієнтоване на запити та програмування, орієнтоване на інтерфейс програмування додатків, доступність вихідного коду, модель виконання та керування програмами. Щоб скористатися перевагами та зробити хмарні обчислення більш корисними, ці проблеми необхідно вирішити в різних процесах і методологіях розробки програмного забезпечення. Розглянуто еталонну архітектуру для обслуговування та хмарних обчислень. В роботі, також, наведено детальну архітектурну схему для інженерної структури вимог для обслуговування та хмарних обчислень, яка пояснює, як кожна окрема сутність пов'язана одна з одною, як працює процес та описано всі процеси та завдання інженерної структури вимог для обслуговування та хмарних обчислень, які можна розділити на три різні етапи, щоб забезпечити більш чітке бачення. В роботі розглянуто процес розробки вимог до хмарних програм. Під час розробки додатків розробку вимог вважають найважливішим етапом. Однією з ключових причин є те, що при розробці програм можна зіткнутися з найпоширенішими та трудомісткими помилками, а також з найдорожчими для супроводження та виправлення.*

**Ключові слова:** хмарні обчислення, моделювання бізнес-процесів (BPM) і нотація моделювання бізнес-процесів (BPMN), інженерна структура вимог (REF), сервіс і хмарні обчислення (SCC).

**S. V. POPERESHNYAK**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Informatics  
and Software Engineering  
National Technical University of Ukraine  
“Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”  
ORCID: 0000-0002-0531-9809

**A. S. VECHERKOVSKAYA**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department of Software Systems and Technologies  
Taras Shevchenko Kyiv National University  
ORCID: 0000-0003-2054-2715

## STUDY OF THE DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR CLOUD PROGRAMS AND SERVICES

*In the work, attention is paid to the development of requirements, as this is one of the most difficult and important stages of the development of any business process or project. This study attempts to find out the characteristics and aspects of the engineering requirements applied by cloud computing. The business process modeling notation (BPMN) is considered, which qualitatively affects the fixation of the process and the introduction of appropriate changes to improve business operations. It is emphasized that BPMN can be used as a requirement development method in cloud business operations.*

*In addition, this paper presents a requirements engineering framework for services and cloud computing, and discusses a reference architecture for services and cloud computing. Software development in the cloud environment includes some basic issues such as software composition, query-oriented programming and API-oriented programming, source code availability, execution model, and application management. To take advantage of and make cloud computing more useful, these challenges must be addressed in different software development processes and methodologies. The reference architecture for maintenance and cloud computing is considered. The paper also provides a detailed architecture diagram for the service requirements engineering framework and cloud computing, which explains how each individual entity is related to each other, how the process works, and describes all the processes and tasks of the service requirements engineering framework and cloud computing, which can be divided into three different stages to provide a clearer vision. The paper considers the process of developing requirements for cloud programs. During application development, requirements development is considered the most important stage. One of the key reasons is that the most common and time-consuming bugs to encounter in software development are also the most expensive to maintain and fix.*

**Key words:** cloud computing, business process modeling (BPM) and business process modeling notation (BPMN), requirements engineering framework (REF), service and cloud computing (SCC).

### Постановка проблеми

Хмарні обчислення – це новий термін, який використовується для корисних обчислень, з наголосом на пропонуванні ІТ-ресурсів через Інтернет в обмін на локальне зберігання та експлуатацію ресурсів. В існуючій літературі існує безліч різних еталонних архітектур, моделей і фреймворків для хмарних обчислень. Зазвичай еталонна структура для хмарних обчислень намагається запропонувати базову лінію, яка полягає в розробці деяких сумісних хмарних служб, а також їх інтеграції в існуючі інфраструктури Інтернету та приватних корпорацій [1]. На регулярній основі еталонна структура повинна пропонувати проект або архітектурний шаблон, який можуть використовувати інші, які бажають прийняти подібні рішення. Еталонна модель полягає в поясненні концепцій і зв'язків, які підтримують еталонну архітектуру, тоді як термін еталонна структура відноситься до обох (архітектура + еталонна модель) [2]. Архітектура хмарних обчислень хмароподібного рішення представляє структуру такої системи. Термін також стосується належної документації архітектурної системи хмарного обчислювального рішення, що полегшує спілкування між інвесторами, приймає початкові рішення, а також дозволяє повторно використовувати компоненти дизайну та шаблони для інших подібних проектів [3].

Розробка абстрактних вимог (RE) – це найскладніший і важливий етап розробки будь-якого бізнес-процесу або проекту. Це дослідження намагається з'ясувати характеристики та аспекти інженерних вимог, які застосовуються хмарними обчисленнями. Нотація моделювання бізнес-процесів (BPMN) вплинула на фіксацію процесу та внесення відповідних змін для покращення бізнес-операцій [4].

Розглянемо, як BPMN можна використовувати як метод розробки вимог у хмарних бізнес-операціях. Крім того, у цій роботі представлено інженерну структуру вимог для послуг і хмарних обчислень (BPMN-REF-SCC), а також обговорюватиметься еталонна архітектура для послуг і хмарних обчислень. Розробка програмного забезпечення в хмарному середовищі включає деякі основні проблеми, такі як композиція програмного забезпечення, програмування, орієнтоване на запити та програмування, орієнтоване на інтерфейс програмування додатків (API), доступність вихідного коду, модель виконання та керування програмами. Щоб скористатися перевагами та зробити хмарні обчислення більш корисними, ці проблеми необхідно вирішити в різних процесах і методологіях розробки програмного забезпечення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Провівши аналіз останніх досліджень і публікацій за даною тематикою можна побачити, що в роботах [5]–[14] розглядають лише три основні моделі обслуговування хмарних технологій. Автори вважають, що ці дослідження не враховують повністю технічні та технологічні можливості хмарних обчислювальних технологій, оскільки моделі обслуговування хмарних технологій відображають структуру не лише хмарних технологій, а й інформаційних технологій загалом. Тому ці дослідження мають обмежений характер.

Деякі з дослідників уже випробували переважаючі інструменти, мови та інші методології в середовищі хмарних обчислень, розглядаючи методології розробки вимог, які зазвичай зосереджені на об'єктно-орієнтованих результатах і сервісорієнтованих інструментах. Основною проблемою хмарних обчислень є відсутність стандарту, який може допомогти зустрітися з головними цілями, які охоплюють різні характеристики хмарних обчислень.

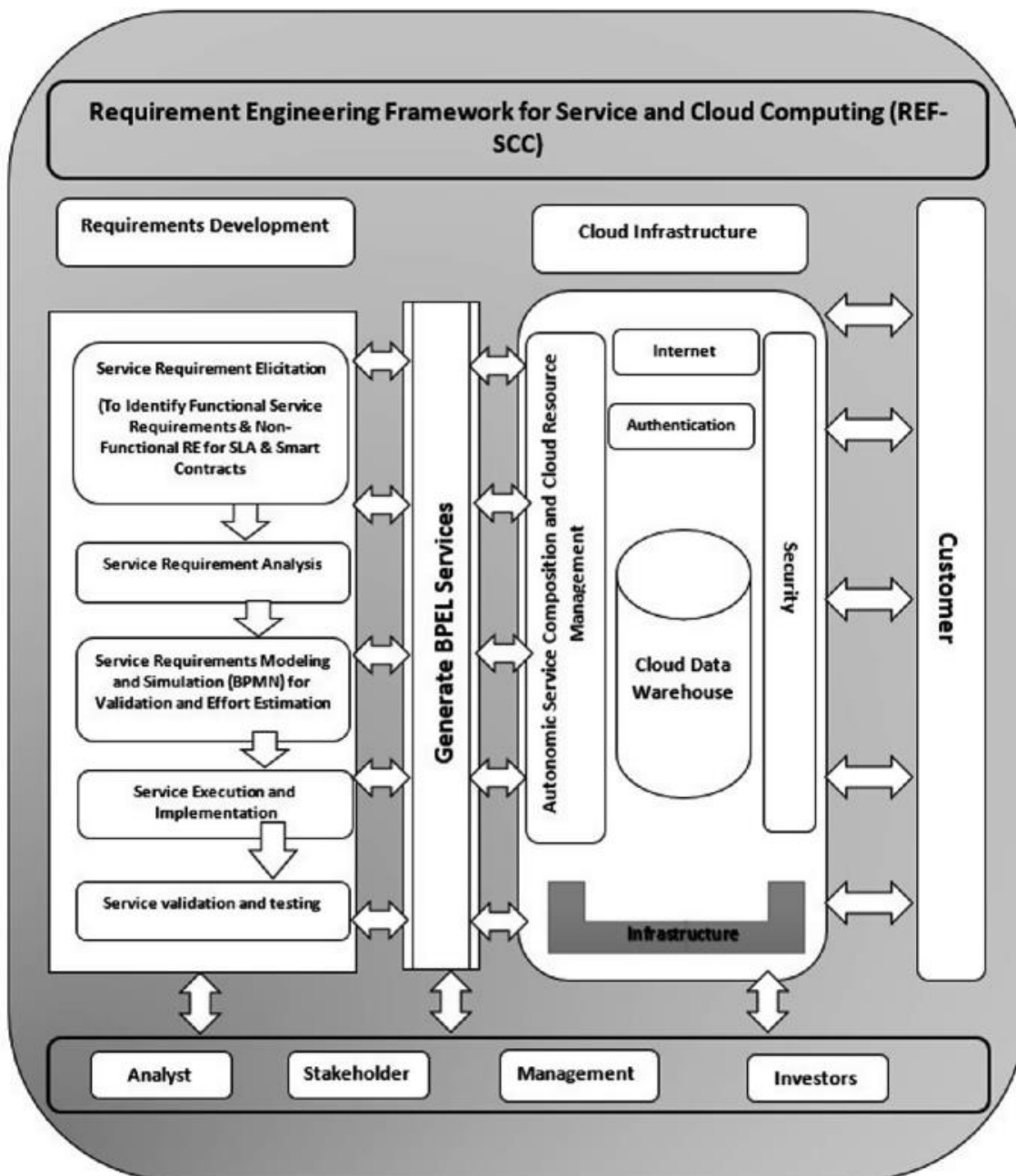
На сьогоднішній день актуальність теми підтверджується тим, що все більше підприємств переходять від використання фізичних ресурсів до використання сервісів, що надають хмарні провайдери. Основними причинами цього переходу є можливість зменшити витрати на розгортання та підтримку інфраструктури, спрощення її обслуговування та збільшення ефективності використання її елементів.

### Формулювання мети дослідження

Мета статті: перевірити продуктивність використання бізнесу щодо оптимального використання часу та вартості перед розгортанням послуг у хмарі.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Інженерна структура вимог для обслуговування та хмарних обчислень (REF-SCC) – це структура, яка може бути використана для проектування та впровадження сервісних обчислень для розгортання як веб-сервісу [4]. Це дослідження має показати, як REF-SCC може вирішити міграцію послуг і хмарних обчислень. Переміщення служб у хмару стосується переміщення настільної програми в хмарну програму, де будь-який користувач може використовувати послуги через Інтернет. Моделювання та симуляція за допомогою BPMN включені в процес розробки вимог REF-SCC, оскільки це забезпечує валідацію та тестування, що показано на рисунку 1.



**Рис. 1. Інженерна структура вимог до послуг і хмарних обчислень**

Посилаючись на рисунок 1, рівень розробки вимог складається з підпроцесів, де вимоги до послуг необхідно виявити, проаналізувати, змодельовати, імітувати, виконати, реалізувати, перевірити та протестувати за допомогою BPMN і з безпосереднім залученням зацікавлених сторін, постачальників хмарних технологій та інших працівників підприємства.

Після управління вимогами та проектування послуг наступним завданням є створення послуг за допомогою хмарного провайдера.

Еталонна архітектура для обслуговування та хмарних обчислень. Нижче наведено детальну архітектурну схему для REF-SCC, яка пояснює, як кожна окрема сутність пов'язана одна з одною, як працює процес та описано всі процеси та завдання REF-SCC, які можна розділити на три різні етапи, щоб забезпечити більш чітке бачення. Еталонна архітектура (рисунок 2) складається з наступного.

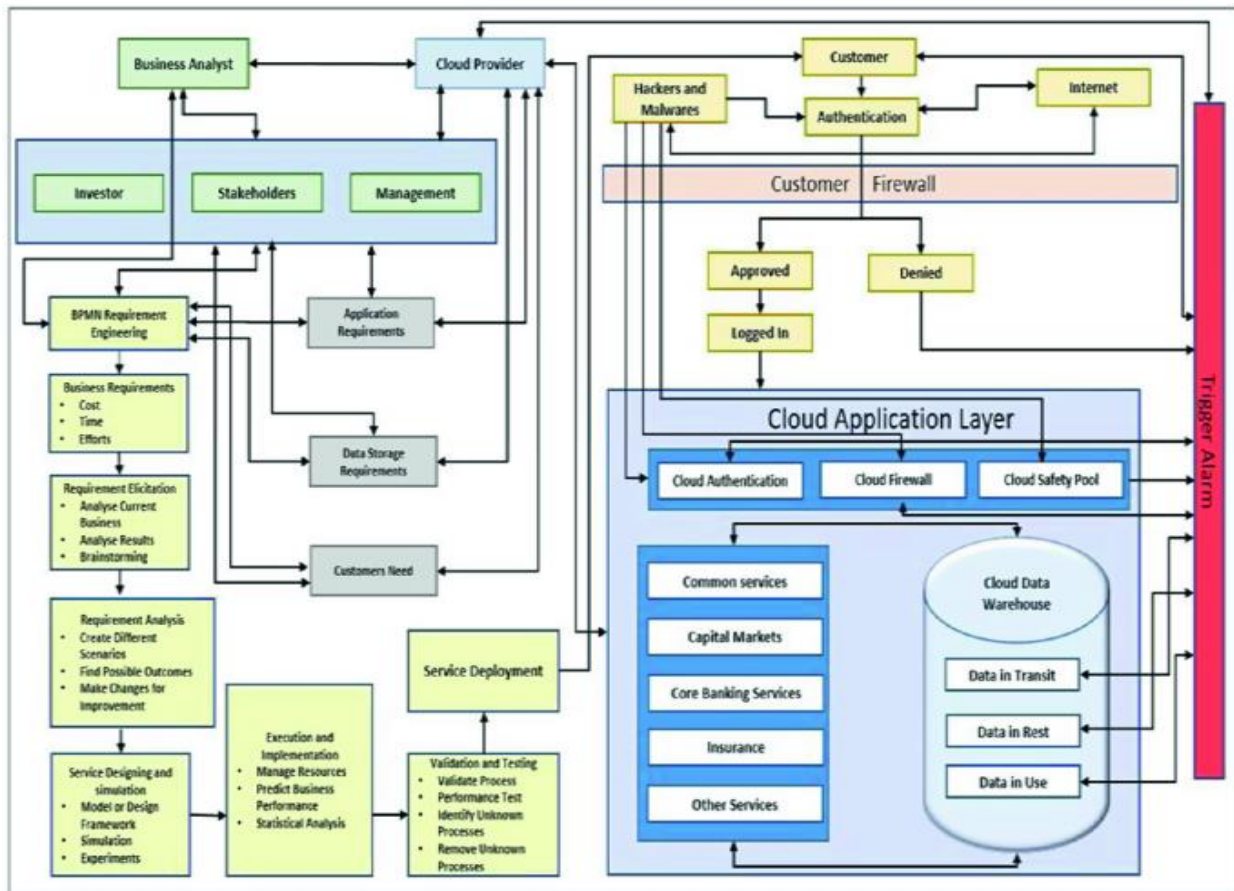


Рис. 2. Еталонна архітектура для обслуговування та хмарних обчислень

Етап 1 – це організаційні особи, які включають бізнес-аналітиків, інвесторів, керівництво та зацікавлені сторони. Етап 2 – це BPMN як метод розробки вимог, а етап 3 стосується хмарної інфраструктури.

Етап 1. Організаційні особи.

→, ці стрілки вказують на наступний процес або завдання, яке потрібно виконати.

↔, ці двосторонні стрілки визначають прямий зв'язок між процесами.

бізнес-аналітик є головним аспектом організації, який взаємодіє з усіма іншими аспектами бізнесу.

інвестори є фінансовою опорою.

внутрішні зацікавлені сторони, такі як співробітники, менеджери та власники. Зовнішні зацікавлені сторони, такі як постачальники, суспільство, уряд, кредитори, акціонери та клієнти. Обидві зацікавлені сторони можуть впливати на організаційне рішення та політику.

керівництво включає всіх працівників організації.

Етап 2. Процеси розробки вимог BPMN.

збір бізнес-вимог щодо вартості, часу та зусиль.

виявлення бізнес-вимог за допомогою аналізу поточного бізнесу, аналізу результатів і мозкового штурму за участю всіх бізнесменів.

наступним процесом є аналіз вимог, який складається зі створення різних сценаріїв для отримання бажаних результатів і, крім того, для внесення змін для покращення.

проекування, моделювання та експерименти за допомогою BPMN.

виконання та впровадження для прогнозування ефективності бізнесу.

перевірка та тестування перед розгортанням служб.

вимоги до програми повинні керуватися особами в організації та постачальником хмарних технологій.

зберігання даних має бути розглянуто постачальником хмарних технологій відповідно до бізнес-вимог.

для розгортання в хмарі працівники організації повинні визначити потреби клієнтів.

Етап 3. Архітектура хмарних додатків

інтернет – це підключення для доступу до хмарних веб-служб.

хакери та зловмисне програмне забезпечення зупиняють або скасовують послуги Інтернету, а також можуть викрасти інформацію.

для автентифікації клієнтів потрібні ідентифікатор і пароль для доступу до облікового запису.

брандмауер клієнта також можна описати як антивірус, який клієнти використовують на своїх відповідних комп'ютерах або ПК.

хмарна автентифікація, хмарний брандмауер і хмарний пул безпеки – це різні способи безпеки перед входом у хмару, щоб запобігти передачі даних.

клієнт може отримати доступ до різних послуг після аутентифікації, а послуги повністю залежать від особливостей конкретного бізнесу. У цьому випадку бізнес відноситься до фінансів; отже, можна отримати доступ до таких послуг, як ринки капіталу, банківські послуги, страхування та інші послуги.

хмарне сховище даних – це місце зберігання, де зберігається вся відповідна інформація клієнтів і може бути використана клієнтом і постачальником хмарних технологій.

дані в дорозі означає дані, які переміщуються до хмарного сховища даних для збереження.

дані в спокої – це дані, які зберігаються в хмарному сховищі та не використовуються.

дані, що використовуються – це дані, до яких на даний момент має доступ клієнт або хмара.

Нарешті, є сигнал тригера, який безпосередньо пов'язаний із постачальником хмари, клієнтом і між процесами автентифікації. Буде активовано сигнал тривоги, щоб повідомити клієнта та постачальника хмарних технологій у разі будь-якої підозрілої активності.

Під час розробки додатків і практики, і експерти вважають розробку вимог найважливішим етапом. Однією з ключових причин є те, що він може зіткнутися з найпоширенішими та трудомісткими помилками, а також з найдорожчими для ремонту. Фаза вимог у будь-якому проекті розробки програмного забезпечення виконується як три процеси, а саме: виявлення вимог техніко-економічного обґрунтування; уточнення вимог; та підтвердження вимог. Ці процеси та їх діяльність показано у верхній частині рисунку 3. Оскільки хмари використовуються як середовище для розгортання та доставки, неминуче будуть додаткові завдання, які слід планувати як частину процесу виявлення вимог. Це завдання, пов'язані з якість, пов'язаними з хмарою.

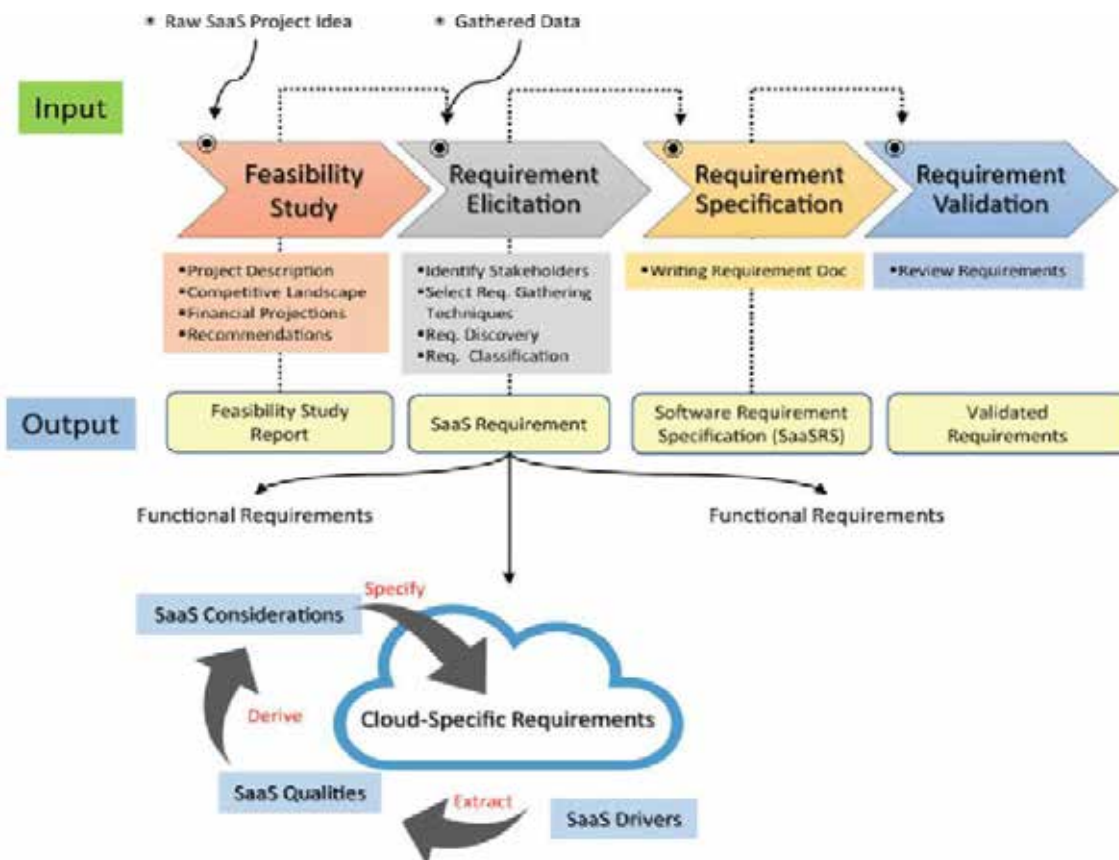


Рис. 3. Процес розробки вимог до хмарних програм

У результаті вимоги будуть розділені на три групи замість двох:

функціональні вимоги програми: вони описують, що мають робити програми.

нефункціональні вимоги: вони визначають критерії, які можна використовувати для визначення операцій системи, а не конкретних функцій.

вимоги до хмарних програм: вони визначають додаткові функціональні вимоги, які потрібно додати через використання хмари як середовища для розгортання та надання програмного забезпечення.

Розширення дозволяє розробникам програмного забезпечення збирати та вказувати вимоги з урахуванням якості хмари, що робить ідентифікацію та запам'ятовування функцій, пов'язаних із хмарою, при зборі та формулюванні вимог до хмарних програм менш громіздким. Незважаючи на те, що якості хмарної програми були описані, розуміється, що різні якості хмарної програми можуть бути обрані на основі вимог замовника, не відступаючи від концепції та обсягу процесу розробки вимог. Відповідно, інші якості хмар, які можуть з'явитися в майбутньому, також входять до сфери запропонованої роботи.

#### **Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі**

В роботі приділено увагу розробці вимог, так як це є одним з найскладніших і важливих етапів розробки будь-якого бізнес-процесу або проекту. Це дослідження намагається з'ясувати характеристики та аспекти інженерних вимог, які застосовуються хмарними обчисленнями. Розглянуто нотацію моделювання бізнес-процесів (BPMN), що якісно впливає на фіксацію процесу та внесення відповідних змін для покращення бізнес-операцій. Акцентується увага, що BPMN можна використовувати як метод розробки вимог у хмарних бізнес-операціях. Крім того, у цій роботі представлено інженерну структуру вимог для послуг і хмарних обчислень, а також обговорюватиметься еталонна архітектура для послуг і хмарних обчислень. Розробка програмного забезпечення в хмарному середовищі включає деякі основні проблеми, такі як композиція програмного забезпечення, програмування, орієнтоване на запити та програмування, орієнтоване на інтерфейс програмування додатків, доступність вихідного коду, модель виконання та керування програмами. Щоб скористатися перевагами та зробити хмарні обчислення більш корисними, ці проблеми необхідно вирішити в різних процесах і методологіях розробки програмного забезпечення. Розглянуто еталонну архітектуру для обслуговування та хмарних обчислень. В роботі, також, наведено детальну архітектурну схему для інженерної структури вимог для обслуговування та хмарних обчислень, яка пояснює, як кожна окрема сутність пов'язана одна з одною, як працює процес та описано всі процеси та завдання інженерної структури вимог для обслуговування та хмарних обчислень, які можна розділити на три різні етапи, щоб забезпечити більш чітке бачення. В роботі розглянуто процес розробки вимог до хмарних програм. Під час розробки додатків розробку вимог вважають найважливішим етапом. Однією з ключових причин є те, що при розробці програм можна зіткнутися з найпоширенішими та трудомісткими помилками, а також з найдорожчими для супроводження та виправлення.

Останнім часом поширене використання хмарних сервісів, які можна самостійно розгортати, методів контейнеризації та їх підтримка від великих компаній, таких як Amazon і Google, є визначними факторами, що сприяють розробці програмного забезпечення на основі хмари. Крім того, ідея екосистем існує вже багато років, але її застосування в розробці програмного забезпечення довелося чекати прогресу в цій галузі. У структурі працюють як люди, які мають знання предметної області, але не мають навичок програмування, так і люди з технічною освітою. Фреймворк дає змогу зарахувати більше знань у галузі, зосереджуючись на інтеграції, а не на внутрішньому розвитку. Крім того, він підтримує гнучкість домену, надаючи варіативність розробникам додатків, одночасно керуючи залежностями між змінними частинами під капотом. Щоб продемонструвати частину нашого підходу, пропонується розглянути інструмент Geneu, який забезпечує середовище моделювання для розробки програмного забезпечення на основі форм і процесів у хмарі. Під час майбутніх досліджень буде розроблено оцінку та ідеї щодо кращого використання, щоб скерувати користувача щодо отримання більшої користі від такого середовища.

#### **Список використаної літератури**

1. Răzvan ZOTA An Overview of the Most Important Reference Architectures for Cloud Computing. *Informatica Economica* 2014. 18, pp. 26-39 DOI: 10.12948/issn14531305/18.4.2014.03
2. Wilkes L., "Cloud computing reference architectures, models and frameworks", Everware CBDI, 2011, URL: <http://everware-cbdi.com/crfam>
3. Gerald K., "Cloud computing architecture", Siemens AG, 2010, URL: <http://www.sei.cmu.edu/library/as-sets/presentations/Cloud%20computing%20architecture%20-%20Gerald%20Kaefer.pdf>
4. Chand, K., Ramachandran, M. (2020). Requirements Engineering Framework for Service and Cloud Computing (REF-SCC). Ramachandran, M., Mahmood, Z. (eds) *Software Engineering in the Era of Cloud Computing. Computer Communications and Networks*. Springer, Cham. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33624-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33624-0_1)
5. Raj P, Venkatesh V, Amirtharajan R. Envisioning the cloud-induced transformations in the software engineering discipline. *Software engineering frameworks for the cloud computing paradigm*. Springer, London, 2013. pp 25–53.

6. Rimal BP, Jukan A, Katsaros D, Goeleven Y Architectural requirements for cloud computing systems: an enterprise cloud approach. *Grid Comput* 2011. 9(1), pp. 3–26.
7. Todoran I, Seyff N, Glinz M. How cloud providers elicit consumer requirements: an exploratory study of nineteen companies. *Requirements engineering conference (RE)*, 2013. pp 105–114.
8. Repschlaeger J, Zarnekow R, Wind S, Turowski K. Cloud requirement framework: requirements and evaluation criteria to adopt cloud solutions. *ECIS*. 2012, p 42.
9. Schrödl H, Wind S. Requirements engineering for cloud computing. *Commun Comput* 2011. 8(9), pp. 707–715.
10. Guha R (2013) Impact of semantic web and cloud computing platform on software engineering. In *Software engineering frameworks for the cloud computing paradigm*. Springer, London, pp 3–24.
11. Succi G, Predonzani P, Vernazza T. Business process modeling with objects, costs and human resources. In: Bustard D, Kawalek P, Norris M (eds) *Systems modeling for business process improvement*. Artech House, 2000. pp 47–60.
12. Lodhi A, Köppen V, Wind S, Saake G, Turowski K. Business process modeling language for performance evaluation. In: 2014 47th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). IEEE, pp 3768–3777
13. Hernández-Orallo, J. Evaluation in artificial intelligence: From task- oriented to ability-oriented measurement. *Artificial Intelligence Review*, 2017. 48, 397–447. URL: <https://doi.org/10.1007/s10462-016-9505-7>.
14. Lodhi A, Köppen V, Saake G. Business process improvement framework and representational support. *Proceedings of the third international conference on intelligent human computer interaction (IHCI 2011)*, Prague, Czech Republic, August, 2011. Springer, Berlin, 2013. pp 155–167.

### References

1. Răzvan ZOTA (2014) An Overview of the Most Important Reference Architectures for Cloud Computing. *Informatica Economica* 18(4/2014): 26-39 DOI: 10.12948/issn14531305/18.4.2014.03
2. Wilkes L., (2011) Cloud computing reference architectures, models and frameworks, Everware CBDI. URL: <http://everware-cbdi.com/ccrfam>
3. Gerald K., “Cloud computing architecture”, Siemens AG, 2010, URL: <http://www.sei.cmu.edu/library/as-sets/presentations/Cloud%20computing%20architecture%20-%20Ger-ald%20Kaefer.pdf>
4. Chand, K., Ramachandran, M. (2020). Requirements Engineering Framework for Service and Cloud Computing (REF-SCC). In: Ramachandran, M., Mahmood, Z. (eds) *Software Engineering in the Era of Cloud Computing*. Computer Communications and Networks. Springer, Cham. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33624-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33624-0_1)
5. Raj P, Venkatesh V, Amirtharajan R (2013) Envisioning the cloud-induced transformations in the software engineering discipline. In: *Software engineering frameworks for the cloud computing paradigm*. Springer, London, pp 25–53.
6. Rimal BP, Jukan A, Katsaros D, Goeleven Y (2011) Architectural requirements for cloud computing systems: an enterprise cloud approach. *Grid Comput* 9(1):3–26.
7. Todoran I, Seyff N, Glinz M (2013) How cloud providers elicit consumer requirements: an exploratory study of nineteen companies. In: *Requirements engineering conference (RE)*, 2013 21st IEEE international (pp 105–114).
8. Repschlaeger J, Zarnekow R, Wind S, Turowski K (2012) Cloud requirement framework: requirements and evaluation criteria to adopt cloud solutions. In *ECIS*. p 42.
9. Schrödl H, Wind S (2011) Requirements engineering for cloud computing. *Commun Comput* 8(9):707–715
10. Guha R (2013) Impact of semantic web and cloud computing platform on software engineering. In *Software engineering frameworks for the cloud computing paradigm*. Springer, London, pp 3–24.
11. Succi G, Predonzani P, Vernazza T (2000) Business process modeling with objects, costs and human resources. In: Bustard D, Kawalek P, Norris M (eds) *Systems modeling for business process improvement*. Artech House, pp 47–60.
12. Lodhi A, Köppen V, Wind S, Saake G, Turowski K (2014) Business process modeling language for performance evaluation. In: 2014 47th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). IEEE, pp 3768–3777.
13. Hernández-Orallo, J. (2017). Evaluation in artificial intelligence: From task- oriented to ability-oriented measurement. *Artificial Intelligence Review*, 48, 397–447. URL: <https://doi.org/10.1007/s10462-016-9505-7>.
14. Lodhi A, Köppen V, Saake G (2013) Business process improvement framework and representational support. In: *Proceedings of the third international conference on intelligent human computer interaction (IHCI 2011)*, Prague, Czech Republic, August, 2011. Springer, Berlin, pp 155–167.



УДК 004.921

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.31>

Є. А. РЕХЛЕЦЬКИЙ

кандидат економічних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних технологій  
Львівський торговельно-економічний університет  
ORCID: 0000-0002-8879-4161

В. І. БАБИЧ

старший викладач кафедри комп'ютерних технологій  
Львівський торговельно-економічний університет  
ORCID: 0000-0003-1996-9332

М. Б. КРУТЯК

старший викладач кафедри комп'ютерних технологій  
Львівський торговельно-економічний університет  
ORCID: 0009-0000-8544-8733

В. І. ПЛЕША

старший викладач кафедри комп'ютерних технологій  
Львівський торговельно-економічний університет  
ORCID: 0000-0001-5321-9602

О. М. ШВЕЦЬ

кандидат економічних наук,  
доцент кафедри комп'ютерних технологій  
Львівський торговельно-економічний університет  
ORCID: 0000-0002-7175-2256

## ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

*Протягом всієї історії людства та серед всіх верст населення освіта мала особливий статус. і до неї був особливий підхід. Освіта – складова науки, і серед інших складових вона має найдавнішу історію. Історичні свідчення про еволюцію освітнього процесу охоплюють 6 тисяч років, але лише останні 120 років вона особливо бурхливо змінюється, що й ї не дивно, зважаючи на велику кількість потрясінь в усіх галузях людської діяльності за цей період.*

*Значною мірою це пов'язано зі стрімким розвитком науки та технологій, та якщо висока динаміка змін в науки це більшою частиною позитивний процес, то висока динаміка змін у освіти це нестабільність та дискретність освітнього процесу. У освіти, в теперішнього стані, багато викликів. Є глобальні проблеми, які не змінилися на протязі історії людства, такі як соціальна нерівність і доступність. Є і цілком сучасні проблеми, пов'язані саме з науковими досягненнями.*

*Оскільки автори працюють саме у сфері освіти, то вважають цікавим саме стик інформаційних технологій та освіти, на якому чудово проявляються соціальні, технологічні та економічні течії новітніх технологій.*

*Краще один раз побачити, ніж сім раз почути. Ця стара приказка ілюструє важливість візуальних засобів при передачі інформації, а відтак і для освіти в цілому.*

*Частково ретроспективний характер статті тим не менш має за мету у роботі розставити акценти на використання як старих, так і новітніх технологій візуалізації інформації у освітньому процесі.*

*Саме надзвичайно висока динаміка галузі інформаційних технологій, що генерує нові технологічні підходи актуалізує необхідність у чітких пріоритетах.*

**Висновки.** *Серед великої кількості новітніх можливостей важливо, тримаючи руку на пульсі, тим не менш не “розплияти” зусиль для їх провадження.*

**Ключові слова:** *освіта, інформаційні технології, технології візуалізації інформаційних процесів.*

E. A. REKHLETSKYI

Candidate of Economic Sciences,  
Associate Professor at the Department of Computer Technologies  
Lviv University of Trade and Economics  
ORCID: 0000-0002-8879-4161

V. I. BABYCH

Senior Lecturer at the Department of Computer Technologies  
Lviv University of Trade and Economics  
ORCID: 0000-0003-1996-9332

M. B. KRUTIAK

Senior Lecturer at the Department of Computer Technologies  
Lviv University of Trade and Economics  
ORCID: 0009-0000-8544-8733

V. I. PLESHA

Senior Lecturer at the Department of Computer Technologies  
Lviv University of Trade and Economics  
ORCID: 0000-0001-5321-9602

O. M. SHVETS

Candidate of Economic Sciences,  
Associate Professor at the Department of Computer Technologies  
Lviv University of Trade and Economics  
ORCID: 0000-0002-7175-2256

## OVERVIEW OF VISUALISATION TECHNOLOGIES AND THEIR USE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

*Education has had a special status throughout the history of mankind and among all populations. and there was a special approach to her. Education is a component of science, and among other components it has the oldest history. Historical evidence of the evolution of the educational process spans 6,000 years, but only in the last 120 years has it changed particularly violently, which is not surprising, given the large number of upheavals in all areas of human activity during this period.*

*To a large extent, this is related to the rapid development of science and technology, and if the high dynamics of changes in science is mostly a positive process, then the high dynamics of changes in education is the instability and discreteness of the educational process. Education, in its current state, has many challenges. There are global issues that have not changed throughout human history, such as social inequality and affordability. There are also completely modern problems related to scientific achievements.*

*Since the authors work specifically in the field of education, they consider the intersection of information technologies and education to be interesting, where the social, technological and economic currents of the latest technologies are perfectly manifested.*

*It is better to see once than to hear seven times. This old saying illustrates the importance of visual aids in conveying information, and therefore for education in general.*

*The partially retrospective nature of the article nevertheless aims to emphasize the use of both old and new information visualization technologies in the educational process.*

*It is the extremely high dynamics of the information technology industry that generates new technological approaches that actualizes the need for clear priorities.*

*Conclusions. Among the large number of new opportunities, it is important, keeping your hand on the pulse, nevertheless, not to “split” efforts for their implementation.*

**Key words:** education, information technologies, visualization technologies of information processes.

### Постановка проблеми

Краще один раз побачити, ніж сім (десять, сто і т.д.) почути. Проста приказка, яка здавна підкреслює, наскільки важливо було побачити щось на власні очі. Інформація, яку одна людина передає іншій проходять через кілька етапів перетворення. Людина бачить факти та запам'ятовує образи. Образи з часом змінюються. При спробі описати образи за допомогою слів, особистість кожної людини використовує “свої” слова, що залежать від життєвого досвіду, розвитку абстрактного мислення, інтелекту, освіти і ще, чисельних фактів. Людина, що слухає/сприймає інформацію пробує прив'язати отриману у словах інформацію до образів, отриманих емпіричним шляхом, або пробує створити новий образ, використовуючи абстрактне, просторове уявлення, та в кінці кінців отримує змінений варіант чогось такого, що вже бачила раніше. Це – “зіпсутий телефон”, тому і краще “один раз побачити.”. Навіть люди, що дивляться на одну і ту саму річ – бачать її з різних кутів, мають різні вади зору.

Освіта це передача інформації людині. В сьогодинішніх реаліях, вже можна не використовувати вираз “від людини до людини”. Але поки що залишається факт, що метою освіти є зміна системи поглядів, навичок, оцінок учня – “набуття знань та досвіду”, що і є метою освіти. Той хто вчиться має отримати інформацію найменш

спотвореною та цілісною, отримати досвід (використовуючи цю інформацію) і можливо пізніше імпровізувати з її допомогою – творити. Важливим складовим цього процесу є інструментарій, мати відповідний (актуальний) інструмент є стратегічним питанням [1; 2].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

З тих пір як первинна людина намалювала на скелях мамонтів та шаблезубих тигрів (як приклад їжі та небезпеки), графічне подання інформації пройшло довгий шлях, по дорозі набуваючи не зв'язаних форм та дисциплін. Аж до XV століття найбільший вклад на цьому шляху належить образотворчому мистецтву. У 1665 році був наступний крок – оптичні досліди Ісаака Ньютона (диск Ньютона), це круглий диск з кольоровими сегментами, під час обертання якого з високою швидкістю людське око не встигає помічати окремі кольори, воно просто їх додає, і ми бачимо білий колір. Саме тоді почався напрямок технологій, розрахований на механіку ока, тобто на обмеження сприйняття саме людським оком. Наступним кроком можна вважати досліди англійського вченого Томаса Юнга (1807 р.) – біле світло можна отримати шляхом змішування трьох основних спектральних кольорів – променів червоного, синього і зеленого світла. Окремо треба згадати досліди людства протягом тисячоліть, що констатували залежність емоційного стану людини від сприйняття різних кольорів, певно ж, якщо спроби передавати емоції відносити до обміну інформацією.

Через сорок років після дослідів Т. Юнга людство навчилося зберігати (“закріплювати”) фотографії на папері, процес також дав напрямок створення проєкцій зображень за допомогою світла та оптики через прозорі плівки. Це логічно потягнуло за собою розвиток кінематографа (1880–1922) – 1922 вийшов “на екрани” перший кольоровий фільм. Тут необхідно звернути увагу на те, що кінематограф теж був розрахований на обмеження сприйняття людським оком – 24 кадра/сек вже сприймається людським оком як неподільна картинка.

У 20-х роках минулого століття серія винаходів дали старт телебаченню – безпроводній передачі відео на відстані і до 60-х років телебачення вже було кольоровим. Кольоровим воно стало, у тому числі, завдячуючи дослідкам і Т. Юнга – його адитивна колірна модель лягла в основу піксельної структури кінескопа телевізора. Крім того розповсюдження кольорового телебачення призвело до розвитку технології запису зображення на магнітну ленту.

Для функціонування кольорового телебачення технологія людства мала отримати розвинуті знання з фізики, хімії, механіки, оптики, електротехніки, електроніки, радіоелектроніки.

З цього часового проміжку ми хочемо звернути увагу на дві технології, які почали розвивати. Це віртуальна реальність (англ. virtual reality, VR) та доповнена реальність (англ. augmented reality, AR) [5; 6].

Стереоскоп, винайдений у 1838 році Чарльзом Вітстоуном, що використовує пару зображень, які зображують один і той же об'єкт з різних кутів зору, щоб створити ілюзію глибини є першою технологічною розробкою що відносять до VR. Цікавим фактом є твір Стенлі Вейнбаума «Окуляри Пігмаліона» (1935) в якому описується пристрій, що дозволяє користувачам відчувати себе присутніми в іншому місці. У 1950-х роках Мортон Хейліг створив Sensorama, пристрій VR, який використовував стереоскопічні зображення, стереозвук, вібрації та навіть аромати, щоб створити ілюзію присутності в реальному місці, і його можна вважати одним із перших успішних VR-систем.

У 1950-ті роки винахідники почали експериментувати з технологіями, які дозволяють користувачам бачити цифрову інформацію, накладену на реальний світ – це був старт технологій доповненої реальності (AR). Одним з перших прикладів AR був Headsight, розроблений компанією Philco у 1957 році, Headsight був шоломом, який використовував лінзи для проєкції зображення на очі користувача.

У 1968 році Джеймс Сазерленд з Університету Карнегі-Меллон створив «Дамоклів меч», пристрій VR, який використовував шолом із двома стереоскопічними дисплеями, щоб дозволити користувачам бачити тривимірні зображення. Він також використовував датчики руху, щоб відстежувати рухи голови користувача. Дамоклів меч був набагато меншим і дешевшим, ніж Sensorama, і він став популярним у наукових дослідженнях.

У 1980-х роках як VR, так і AR отримала новий поштовх завдяки появі нових технологій, таких як комп'ютерна графіка та трекінг руху. У цей період були розроблені численні VR-системи, включаючи VPL Research EyePhone і Forte VFX1 а також AR-пристрої (Virtuality World і EyeTap).

У 1990-х роках розвиток VR навпаки “просів” через високу вартість обладнання та не високі характеристики, однак у цей період були зроблені важливі прориви у розробці нових алгоритмів комп'ютерної графіки та нових методів трекінгу руху.

У середині 2000-х роках VR знову почала з'являтися “на слуху”, їй прочили нові можливості разом з мобільними пристроями; крім того, введення нових ігрових консолей, таких як Nintendo Wii, та ігрових систем, які використовують рухові контролери. Однак, залишалася проблема з високою вартістю та несуттєвою якістю графіки. У цей період були розроблені численні VR-системи, включаючи Oculus Rift, HTC Vive та PlayStation VR, а AR-пристрої – Layar і Wikitude.

У 2012 році Oculus VR випустили Oculus Rift – зростання обчислювальної потужності та розвитку нових сенсорів (гіроскопи та акселерометри).

2016 рік: VR-продукти, такі як HTC Vive, PlayStation VR та багато інших. Це певним чином підняло інтересу до віртуальної реальності як в ігровій, так і в освітній сферах.

Крім відносно успішних проєктів зв'язаних з ігровою індустрією, треба нагадати про явно провальні проєкти з великим бюджетом, такі як Google Glass (окуляри доповненої реальності) та спробу Facebook перенести основну сферу спілкування в віртуальне середовище, у зв'язку з чим був навіть проведений частковий ребрендинг – з Facebook на Meta [7].

#### Формулювання мети дослідження

Наявність вибору не завжди є перевагою, систематизація пріоритетів важлива. Але якщо зважувати на результати, то певні інструменти залишаються “за бортом”, “відсіюються”. Щоб відділити перспективні технології (але не надто динамічні) і залишити їх в наборі інструментів треба приблизно уявляти куди вони (технології) рухаються, що може бути проблемою, бо їх розвиток подекуди спорадичний [3, 4].

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Станом на сьогодні, VR в основному використовується для створення нових форм розваг, таких як ігри, фільми та телешоу, оскільки VR може створити ілюзію присутності в іншому місці, користувачу обіцяють зробити отримання досвіду більш “захоплювальним та реалістичним” [4]. З усіх користувачів, які використовували віртуальні гарнітури, більшість стверджують, що приблизно 55%, вони використовували їх для ігор, тоді як 42% кажуть, що використовували гарнітуру VR для «перегляду фільму». Ще 27% стверджують, що вони використовували його для віртуальної візуалізації та/або відвідування нерухомості, яка їх цікавить.



**Рис. 1. Сучасне персональне використання VR**

У медицині VR має свою нішу і використовується для проведення операцій та лікуванні фобій та реабілітації – може допомогти пацієнтам відчувати себе присутніми в безпечному та контрольованому середовищі, що може полегшити лікування [8; 9].

Використанні AR на сучасному етапі це автоматичне підсвічування найближчого до воріт гравців в спортивних репортажах.

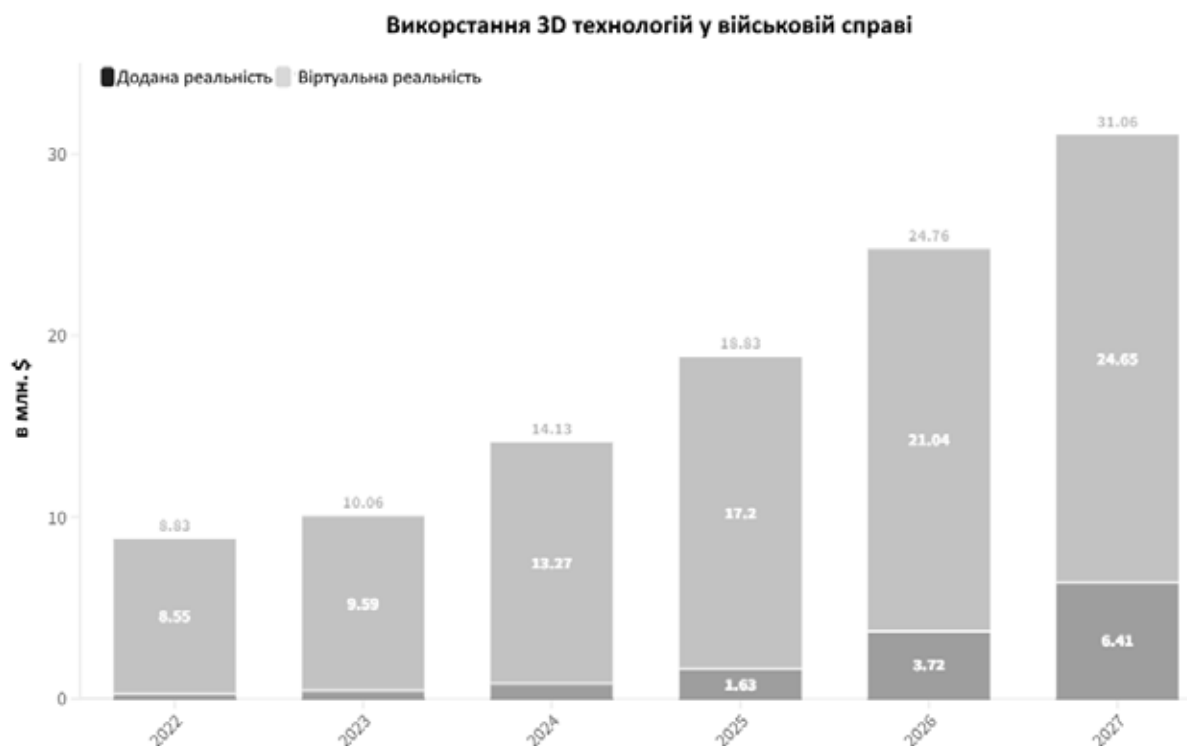
Найбільш ефективним є використання VR у військовій справі, де ця технологія використовується для підготовки військових до реальних ситуацій; VR може створити ілюзію присутності в бойовій ситуації, що може допомогти військовим навчитися реагувати на небезпеки. Окремо стоїть тренування для екіпажів підводних човнів.

І найбільш вдалим є застосування VR у навчанні пілотів (та космонавтів). У цій галузі використання VR не може бути ніяким чином недооцінене. Саме тут VR займає по праву високі позиції саме як “освітня технологія”.

#### Висновки

Авторам було цікаво спостерігати за розвитком VR та AR технологій протягом останніх двох десятиліть саме через широко освітлювальні в літературі та розрекламовані переваги цих технологій для навчання [10]. Насправді крім військової справи (та авіації) на сьогодні використання цих технологій (у зв'язку з освітою) скорше розчаровують, бо 30-й рік поспіль в аудиторіях є PowerPoint, але немає окулярів віртуальної реальності. З іншого боку є багато технологій які явно “поховані” за останні 20 років, наприклад HD диски, так що про віртуальну реальність (та про додану реальність) скорше можна сказати що вони не “отримали обіцяної динаміки” (особливо в освіті). Тому на закінчення треба згадати про деякі технологічні розробки, які на нашу думку логічно пов'язані з VR та AR. По перше це голографія, яка за останні 5 років демонструє значні досягнення (в основному в розвагах та рекламі), що пов'язано з технологічними проривами в розробках лазерів. Малоімовірно, але можливо це дасть

якісь поштовх в індивідуальних пристроях 3D зображення, на кшталт тривимірних моніторів, принаймні спостерігається здешевлення індивідуальних проєкторів для домашнього вжитку та цікаві розробки, такі як проєкція зображення на тіло людини (електронні годинники).



**Рис. 2. Використання VR та AR технологій у військовій справі**

Окрім того, фірма Neuralink Ілона Маска у вересні 2023 року оголосила про набір кандидатів (людей) на випробування. Йдеться про чіп, інтерфейс зв'язку мозку людини з комп'ютерними системами, і як би фантастично це не звучало, це сьогоднішні реалії.

#### Список використаної літератури

- Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
- Heine, S., Krepf, M., & Kunig, J. (2022). Digital resources as an aspect of teacher professional digital competence: One term, different definitions – a systematic review. *Education and Information Technologies*, 9. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11321-z>
- Alenezi, M. (2021). Deep Dive into Digital Transformation in Higher Education Institutions. *Education Sciences*, 11(12), 770. <https://doi.org/10.3390/educsci11120770>
- Burbules, N.C.; Fan, G.; Repp, P. Five trends of education and technology in a sustainable future. *Geogr. Sustain.* 2020, 1, 93–97. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666683920300213?via%3Dihub>
- Arena F, Collotta M, Pau G, Termine F. (2022). “An Overview of Augmented Reality” *Computers* 11, no. 2: 28. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
- Garzón J. (2021) An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2021; 5(7):37. <https://doi.org/10.3390/mti5070037>
- Perifanou, M., Tzafilkou, K. and Economides A. 2021. «The Role of Instagram, Facebook, and YouTube Frequency of Use in University Students’ Digital Skills Components» *Education Sciences* 11, no. 12: 766. <https://doi.org/10.3390/educsci11120766>
- Park MJ, Kim DJ, Lee U, Na EJ and Jeon HJ (2019) A Literature Overview of Virtual Reality (VR) in Treatment of Psychiatric Disorders: Recent Advances and Limitations. *Front. Psychiatry* 10:505. doi: 10.3389/fpsyt.2019.00505
- Rebollo C, Gasch C, Remolar I, Delgado D. (2021) Learning First Aid with a Video Game. *Applied Sciences*. 2021; 11(24):11633. <https://doi.org/10.3390/app112411633>
- Zhanga, K., & Aslan, A. (2021). AI technologies for education: Recent research & future directions. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025>

**References**

1. Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
2. Heine, S., Krepf, M., & Kunig, J. (2022). Digital resources as an aspect of teacher professional digital competence: One term, different definitions – a systematic review. *Education and Information Technologies*, 9. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11321-z>
3. Alenezi, M. (2021). Deep Dive into Digital Transformation in Higher Education Institutions. *Education Sciences*, 11(12), 770. <https://doi.org/10.3390/educsci11120770>
4. Burbules, N.C.; Fan, G.; Repp, P. Five trends of education and technology in a sustainable future. *Geogr. Sustain.* 2020, 1, 93–97. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666683920300213?via%3Dihub>
5. Arena F, Collotta M, Pau G, Termine F. (2022). “An Overview of Augmented Reality” *Computers* 11, no. 2: 28. <https://doi.org/10.3390/computers11020028>
6. Garzón J. (2021) An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2021; 5(7):37. <https://doi.org/10.3390/mti5070037>
7. Perifanou, M., Tzafilkou, K. and Economides A. 2021. «The Role of Instagram, Facebook, and YouTube Frequency of Use in University Students’ Digital Skills Components» *Education Sciences* 11, no. 12: 766. <https://doi.org/10.3390/educsci11120766>
8. Park MJ, Kim DJ, Lee U, Na EJ and Jeon HJ (2019) A Literature Overview of Virtual Reality (VR) in Treatment of Psychiatric Disorders: Recent Advances and Limitations. *Front. Psychiatry* 10:505. doi: 10.3389/fpsy.2019.00505
9. Rebollo C, Gasch C, Remolar I, Delgado D. (2021) Learning First Aid with a Video Game. *Applied Sciences*. 2021; 11(24):11633. <https://doi.org/10.3390/app112411633>
10. Zhanga, K., & Aslan, A. (2021). AI technologies for education: Recent research & future directions. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100025>

**С. М. ШЕВЧЕНКО**

кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки  
імені професора Володимира Бурячка  
Київський 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 університет імені Бориса Грінченка  
ORCID: 0000-0002-9277-4972

**Т. І. ШЕВЦОВА**

магістрант кафедри інженерії програмного забезпечення  
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій  
ORCID: 0009-0007-2802-8127

## ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОСУВАННЯ БІЗНЕСУ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

*Використання соціальних мереж для досягнення бізнес-цілей, зокрема просування своїх послуг (товарів), є затребуваним у сучасному світі. У 2022 році понад 4,59 мільярдів людей (Statista) користувалися соціальними мережами. Враховуючи таку колосальну аудиторію активних користувачів, маркетологи вбачають важливим та значущим використання соціальних мереж для бізнес-діяльності своєї компанії. Це спонукало до дослідження методів та інструментарію просування продукції в Internet.*

*Огляд наукової та методичної літератури дозволив виділити існуючі методи просування бізнесу: Owned Media; Paid Media; Earned Media; Social Media, основним недоліком яких є негативні коментарі користувачів, що шкодить репутації компанії. У даній статті розглядається можливість застосування методів кластерного аналізу для просування бізнесу у соціальних мережах. Визначено поняття кластерний аналіз, описано найпопулярніші методи кластерного аналізу, представлено типовий механізм його проведення. За основу у дослідженні запропоновані блок-схеми проведення кластеризації методом ближнього сусіда та методом k-means. Виявлені у кожному з них переваги та недоліки.*

*В якості прикладу проведено розподіл споживачів послуг ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ», що надається за одну добу, в залежності від попиту на послуги компанії з урахуванням вікового критерію. Результати показали, які послуги і для якого віку є більш привабливими, що допоможе ефективніше проводити заходи стимулювання обсягів продажів IT-послуг у соціальних мережах, що призведе до зростання обсягів прибутку організації у майбутньому. Результати дослідження можна впровадити в навчальний процес студентів економічного профілю та студентів галузі ІТ Інформаційні технології.*

**Ключові слова:** соціальні мережі, система просування, потреби споживачів послуг, кластерний аналіз, алгоритм найближчого сусіда, алгоритм k-means.

**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

T. I. SHEVTSOVA

Master's Student at the Department of Software Engineering  
National University of Information and Communication Technologies  
ORCID: 0009-0007-2802-8127

## THE RESEARCH OF CLUSTER ANALYSIS WAYS OF APPLICATION FOR BUSINESS PROMOTION IN SOCIAL NETWORKS

*The use of social networks to achieve business goals, in particular to promote one's services (goods), is in demand in today's world. In 2022, more than 4.59 billion people (Statista) used social networks. Given such a colossal audience of active users, marketers consider it important and meaningful to use social networks for their company's business activities. Studying methods and tools to promote products on the Internet is a result of this.*

*The review of scientific and methodical literature has highlighted existing methods of business promotion: Owned Media; Paid Media; Earned Media; Social Media, the main drawback of which are negative comments from users, which harms the company's reputation. This article considers the possibility of applying methods of cluster analysis to promote business in social networks. The concept of cluster analysis has been defined, the most popular methods of cluster analysis have been described, a typical mechanism for its implementation has been presented. The study is based on block-schemes of clustering by near neighbor method and k-means method. Advantages and disadvantages have been identified in each of them.*

*As an example, the distribution of consumers of services of «EPAM SYSTEMZ» LLC, which is provided for a day, depending on the demand for services of the company, taking into account the age criterion. The results showed which services and for what age are more attractive, which will help to more effectively carry out measures to stimulate sales of IT services in social networks, which will lead to an increase in the volume of profit of the organization in the future. The results of the study can be introduced into the educational process of students of economic profile and students of branch of knowledge 12 Information Technologies.*

**Key words:** *Keywords: social networks, promotion system, needs of service consumers, cluster analysis, nearest neighbor algorithm, k-means algorithm.*

### Постановка проблеми

Сучасний час характеризується різноманітними інноваціями та сучасними технологіями, зокрема соціальними мережами, які можна вважати невід'ємною частиною повсякденного життя. Майже в усіх частинах світу незліченна кількість людей щодня користуються соціальними мережами. Сьогодні практично кожна людина має можливість спілкуватися з іншими людьми за рахунок використання соціальних мереж.

Соціальні мережі застосовуються в якості засобу спілкування та об'єднання людей у всьому світі, що дозволяє людям дізнаватися про нові звичаї та культури, а також сприяє масовому поширенню інформації серед людей (обмін відео та фотографіями, пропозиціями роботи, відгуками тощо). Останнім часом вони знайшли широке застосування в господарській діяльності суб'єктів господарювання. Вплив соціальних мереж проникає в усі аспекти людського життя, як особистого, так і професійного. Суб'єкти господарювання намагаються використовувати потужність соціальних мереж переважно для просування своєї продукції, створення бренду або залучення нових клієнтів. Соціальні мережі допомагають у створенні лояльності існуючих клієнтів до такої міри, що вони це зроблять добровільно та безкоштовно поширюватимуть дані про діяльність певних компаній.

Переваги побудови соціальних мереж як інструменту побудови зв'язків з громадськістю для компанії полягають у тому, що соціальні мережі можуть забезпечити поширення рекламного контенту серед потенційних клієнтів. Крім того, соціальні мережі можуть допомогти налаштувати зворотній зв'язок систем, створювати чати в соціальних мережах і можуть дозволити обмінюватися враженнями від спожитих товарів або послуг. Компанії можуть створювати бренд компанії або бренд продукту за рахунок створення профілів у мережах Facebook і LinkedIn або облікового запису у Twitter. Станом на січень 2023 року Facebook був найбільш часто використовуваною платформою соціальних мереж серед маркетологів у всьому світі. Згідно з глобальним опитуванням, 89 відсотків маркетологів соціальних мереж використовували мережу для просування свого бізнесу, тоді як ще 80 відсотків робили це через Instagram [1]. Оскільки розвиток інформаційних технологій сприяє розвитку віртуальної комунікації, то компанії, що виробляють товари або надають послуги, мають розмовляти зі своїми потенційними споживачами їх мовою.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Обрана проблематика розглядалася у працях таких науковців, як П. Тівасінг, Р. П. Кайперс, Г. Ертуг, Дж. Кантвелл, А. Захір, М. Кілдафф та у працях інших дослідників. Слід підкреслити, що бурхливий розвиток інформаційних технологій змушує компанії адаптуватися до поточних тенденцій у своїй бізнес-діяльності, особливо тих, що стосуються ІТ. Тим більше це стосується суб'єктів господарювання, які здійснюють свою господарську діяльність в онлайн-середовищі. Одним із найбільш використовуваних і яскраво виражених сучасних трендів є соціальні мережі. Саме тому дослідники вивчали, як корисно можна застосовувати соціальні мережі та як це впливає на результативність заходів системи просування товарів чи послуг.



Однією з таких мереж є, наприклад, соціальна платформа Facebook. М. С. Луо розглядала Facebook не лише як сторінку для розміщення повідомлень, а й як платформу, місце, де можна поширити різноманітні програми стимулювання продажів товарів та послуг. Соціальна мережа LinkedIn спочатку була призначена для пошуку людей, яких потрібно залучити до роботи в компанії через знайомих, друзів, а пізніше стала застосовуватися як рекламна платформа [2]. Г. Ертут підкреслював, що сучасні соціальні мережі дозволяють створити професійну ідентичність в Інтернеті та знайти і отримати пропозиції про роботу, бізнес-співпрацю, пропозиції брати участь у виграшах, лотереях, акціях. LinkedIn надавав численні переваги, які можна використовувати для професійного розвитку та початку бажаної кар'єри. Це дозволяло створити професійну анкету, завантажити CV та інформацію про освіту та досвід роботи і залучити потенційних роботодавців та отримати бажану роботу. З іншого боку, це дозволяло формувати бази даних потенційних покупців певного товару або певної послуги [3].

Соціальна мережа Twitter була створена в 2006 (з липня 2023 йде оновлення до X) році і на сьогодні працює на основі так званих мікроблогів. Мікроблоги – короткі повідомлення, довжина яких не перевищує ста сорока символів. Ця мережа, в першу чергу, була призначена для подорожуючих людей, щоб вони могли поділитися своїм досвідом за рахунок використання мобільних телефонів чи інших пристроїв. Р. Равіна-Ріполь визначала, що популярною соціальною мережею була Instagram, безкоштовна програма для обміну фотографіями та відео, доступною для пристроїв iPhone та Android. Люди можуть використовувати Instagram, щоб поширювати фотографії та відео зі своїми підписниками або обраними групами друзів, рекламувати товари, послуги. Використовуються, також, так звані хештеги, які дозволяють легше шукати контент з тією ж тематикою, зберегти сторінки з рекламною інформацією, які привернули увагу [4]. Р. Тівасінг підкреслював, що застосування соціальних мереж як методу реалізації прямих продажів, дозволяє забезпечити проведення ефективного спілкування з людьми, що є сучасною базою електронного маркетингу, застосування яких призводить до зростання обсягів прибутку компанії [5]. У дослідженні [6] доведено, що соціальні мережі впливають на ефективність онлайн-бізнесу у різних секторах принаймні на 30%, хоча Twitter та YouTube румунськими компаніями використовуються нечасто.

Таким чином, переваги соціальних мереж у просуванні бізнесу є очевидними. Це спонукало менеджерів компаній ефективно їх використати для формування та розвитку свого бренду, посилення відвідування їх офіційного сайту, що дозволить збільшити кількість активних покупців, як наслідок, збільшиться прибуток. У дослідженні [7] здійснено огляд основних інструментів і технологій Internet-маркетингу, розкрито сутність кожної категорії, наведено рекомендації щодо застосування інструментів компаніями різного масштабу, а також зазначено найпопулярніші Internet-інструменти для просування продукції: Owned Media; Paid Media; Earned Media; Social Media. Один із способів просування бізнесу у соціальних мережах носить назву Social Media Marketing (SMM). Задачі, які можна вирішити за допомогою SMM: залучення відвідувачів на сайт компанії; підвищення впізнаваності вашого бренду; підтримка репутації; підвищення лояльності до компанії; збільшення обсягу продажів; організація майданчика для комунікації з клієнтами, зворотного зв'язку; запуск і супровід нового проєкту [8–11]. Проте одним із недоліків SMM-просування є негативні коментарі, що може привести до негативних наслідків для компанії.

Останнім часом у наукових джерелах обґрунтовується необхідність застосування методів кластерного аналізу для визначення оцінки ефективності управління бізнесом [12, 13]. Так, кластерний аналіз застосовують для сегментації клієнтів на основі схожих характеристик [12]; для ефективного використання ресурсного потенціалу [13]; для розробки продуктів та послугів на основі потреб клієнтів [12]; для визначення ризиків у бізнес-діяльності та інше. Вище викладене підтвердило важливість та актуальність даного дослідження.

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою дослідження є обґрунтування можливостей застосування методів кластерного аналізу для просування бізнесу у соціальних мережах.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Уперше термін «кластерний аналіз» було введено у 1939 році (Труон Роберт). Проте розквіту цей метод не мав, бо вимагав громіздкі обрахунки в процесі виконання. Лише на початку нашого століття інтенсивний розвиток потужних комп'ютерів відкрив можливість для обробки великих даних з метою їх групування по схожим характеристикам. Кластерний аналіз – метод аналізу даних, який досліджує природні групи в наборі даних, відомих як кластери. Цей метод дає можливість відносити об'єкти до однієї групи не за одним показником, а за декількома водночас. Також допомагає віднайти структуру даних, що неможливо зробити з боку експерта чи зовнішньому аналізу [14, 15]. Кластерному аналізу не потрібно групувати точки даних у будь-які попередньо визначені групи, що означає, що це – метод навчання без контролю. Виокремлюють жорстку та м'яку кластеризацію. Жорстка кластеризація передбачає, що кожна точка вхідних даних частково або повністю належить до кластеру або ні. М'яка кластеризація визначає, що замість того, щоб поміщати кожен вхідну точку даних в окремий кластер, призначається ймовірність перебування цієї точки даних у цих кластерах.

Відомо понад ста алгоритмів кластеризації. Розглянемо деякі з них докладніше. Ієрархічні методи діляться на два види: агломеративні та дивизимні. Перші базуються на тому, що усі об'єкти розташовують в окремі класи,

а потім, враховуючи метрику подібності, ці об'єкти склеюють і тим самим зменшують кількість кластерів поки не отримуються один. Другі методи – навпаки: усі об'єкти – один кластер. Із збільшенням відстані їх розподіляють по окремим.

Центроїдні моделі – ітераційні алгоритми кластеризації, у яких поняття подібності виводиться на основі близькості точки даних до центроїда або центру кластерів. Найчастіше використовуються такі з них, як метод k-means та Fuzzy c-means. У цих моделях слід задати кількість кластерів заздалегідь. Ці моделі виконуються ітеративно, щоб знайти локальний оптимум даних.

Моделі щільності шукають у просторі даних області з різною щільністю точок даних у просторі даних. Вони виділяють різні щільні регіони та призначають точки даних у цих регіонах одному кластеру. Популярними прикладами моделей щільності є DBSCAN і OPTICS. Ці моделі є особливо корисними для ідентифікації кластерів довільної форми та виявлення викидів, оскільки вони можуть виявляти та відокремлювати точки, розташовані в розріджених областях простору даних, а також точки, які належать до щільних областей.

Класифікацію алгоритмів кластеризації відображено на рис. 1.

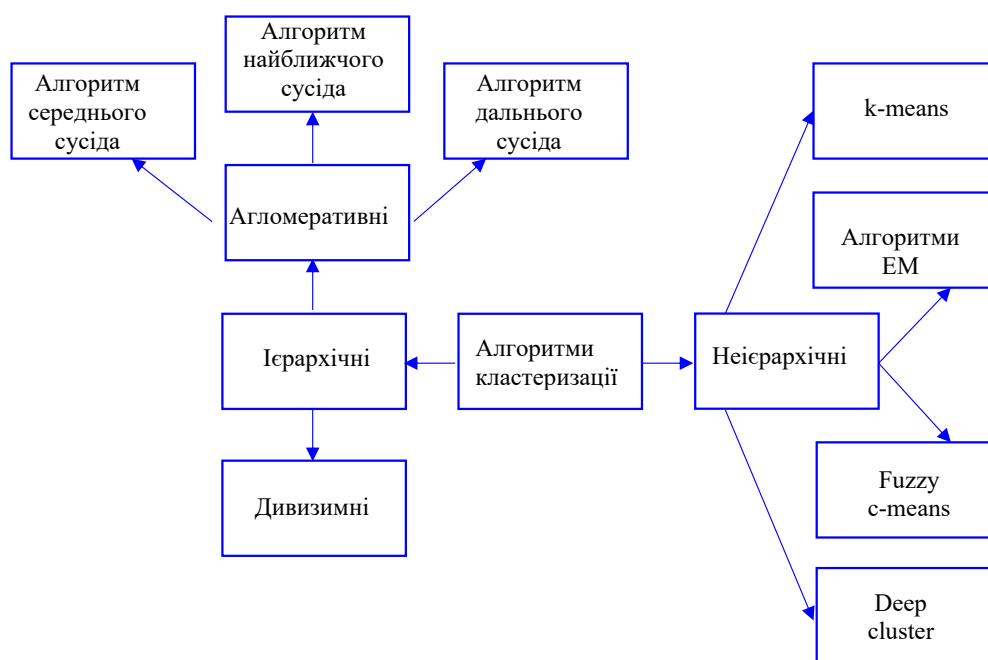


Рис. 1. Найбільш популярні алгоритми кластеризації

Кластеризація дозволяє поєднати в собі такі методи, як методи розбиття, ієрархічної кластеризації, нечіткої кластеризації, реалізація кластеризації на основі щільності та на основі моделі. У кластеризації на основі щільності дані групуються за областями високої концентрації точок даних, оточених областями низької концентрації точок даних. В основному алгоритм знаходить місця, у яких багато точок даних, і викликає ці кластери. Кластери можуть мати будь-яку форму, вони не є обмеженими очікуваними умовами. Алгоритми кластеризації цього типу не намагаються призначити кластерам викиди, тому вони ігноруються.

Методи кластеризації на основі розподілу всі точки даних вважаються частинами кластера на основі ймовірності того, що вони належать до певного кластера. Існує центр-точка, і зі збільшенням відстані точки даних від центру ймовірність того, що вона буде частиною цього кластера, зменшується. Кластеризація на основі центроїда є чутливою до початкових параметрів, але є швидким і ефективним методом аналізу даних. Ці типи алгоритмів розділяють точки даних на основі кількох центроїдів у даних. Кожна точка даних призначається кластеру на основі квадрата її відстані від центроїда. Це – найбільш часто використовуваний тип кластеризації. Кластеризація на основі ієрархії зазвичай використовується для ієрархічних даних, які отримуються з бази даних компанії або таксономії. Це дозволяє створити дерево кластерів, щоб все було організовано за принципом побудови ієрархії зверху-вниз.

Аналіз літератури з досліджуваної теми [12, 13, 16–19] дозволив виділити типовий алгоритм виконання кластерного аналізу у різних галузях для різних об'єктів, зокрема у бізнесі.

Використаємо результати дослідження [16]. Нехай множина  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  – множина об'єктів,  $B$  – множина номерів кластерів. Вибирається метрика (найчастіше формула відстані)  $d_{ij}(x_{ik}, x_{jk})$ . Необхідно розбити

множину  $A$  на підмножини (кластери), які не перетинаються, і кожен кластер містить об'єкти близькі за метрикою  $d_{ij}(x_{ik}, x_{jk})$ , а об'єкти різних класів істотно відрізнялися. Кожному об'єкту  $a_i$  приписується номер кластера  $B_i$ .

Множина  $A$  може складатися із об'єктів, які мають різні одиниці вимірювання або різний діапазон представлених значень, тому потрібно здійснити нормування вхідних даних. При кластерному аналізі є два основні способи нормалізації даних: MinMax-нормалізація та Z-нормалізація.

MinMax-нормалізація здійснюється наступним чином:

$$x' = \frac{x - \min[X]}{\max[X] - \min[X]} \quad (1)$$

У разі всі значення будуть у діапазоні від 0 до 1; дискретні бінарні значення визначаються як 0 та 1.

Z-нормалізація:

$$x' = \frac{x - M[X]}{\sigma[X]}, \quad (2)$$

де  $M[X]$  – математичне сподівання,  $\sigma[X]$  – середнє квадратичне відхилення.

Введемо метрику для оцінки досліджуваних об'єктів і відстаней між ними. Як правило, відстань між двома об'єктами представлена невід'ємною функцією близькості, яка вводиться для будь-яких об'єктів кластерного аналізу. Якщо розглядати реальні умови контролю, то ефективніше порівнювати об'єкти за інтегральними характеристиками. На жаль, цей спосіб далеко не завжди застосовний через неможливість узгодження всіх одиниць виміру з урахуванням різниці метричних полів.

У кластерному аналізі можуть використовуватися міри подібності: коефіцієнти кореляції, міри відстані, коефіцієнти асоціативності, ймовірнісні коефіцієнти подібності. За міру подібності у нашому дослідженні будемо використовувати евклідову відстань:

$$d_{ab} = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \quad (3)$$

Надалі вибирається і впроваджується у процес відповідний алгоритм кластерного аналізу та у результаті здійснити перевірку достовірності результатів.

Метою нашої експериментальної роботи є визначення окремих груп на основі вибору продуктів, запропонованих компанією ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ». Використаємо метод найближчого сусіда та метод k-means.

Перевага алгоритму найближчого сусіда, що відноситься до ієрархічного алгоритму кластеризації полягає у тому, що є наочний результат, простота реалізації, використовується до широкого кола сфер, являється пошуком найкращого рішення із можливих.

Недоліки найближчого сусіда: зберігає всю вибірку об'єктів, що провокує до витрат пам'яті, якщо серед об'єктів існує викид (тобто, об'єкт розташований всередині чужого класу), то всі об'єкти, які будуть знаходитись найближче до всіх інших, будуть класифікуватись неправильно.

Алгоритм виконання даного методу представлено на рисунку 2.

Переваги алгоритму k-means, що відноситься до неієрархічних алгоритмів кластеризації, – це зрозумілість та швидкість виконання, можливість перевірки статистичної значимості відмінностей між виділеними кластерами. Недоліки: потрібно наперед задати кількість кластерів для розбиття, результат роботи залежить від того, яким чином були визначені початкові центри кластерів.

Процес виконання алгоритму k-means представлено на рисунку 3 [17].

Задамо  $k$  кластерів.

1. Обчисліть відстань від кожної точки даних  $d_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) до всіх центроїдів  $c_j$  ( $1 \leq j \leq k$ ) як  $d(d_i, c_j)$ .
2. Для кожної точки даних  $d_i$  знайдіть найближчий центроїд  $c_j$  і призначте  $d_i$  кластеру  $j$ .
3. Встановити ClusterId[i]=j; // j:Id найближчого кластера.
4. Встановити Nearest\_Dist[i]=  $d(d_i, c_j)$ .
5. Для кожного кластера  $j$  ( $1 \leq j \leq k$ ) перерахуйте центроїди.
6. Повторіть.
7. Для кожної точки даних  $d_i$ :
  - 7.1. Обчисліть його відстань від центроїда поточного найближчого кластера.
  - 7.2. Якщо ця відстань менша або дорівнює поточній найближчій відстані, точка даних залишається в кластері.

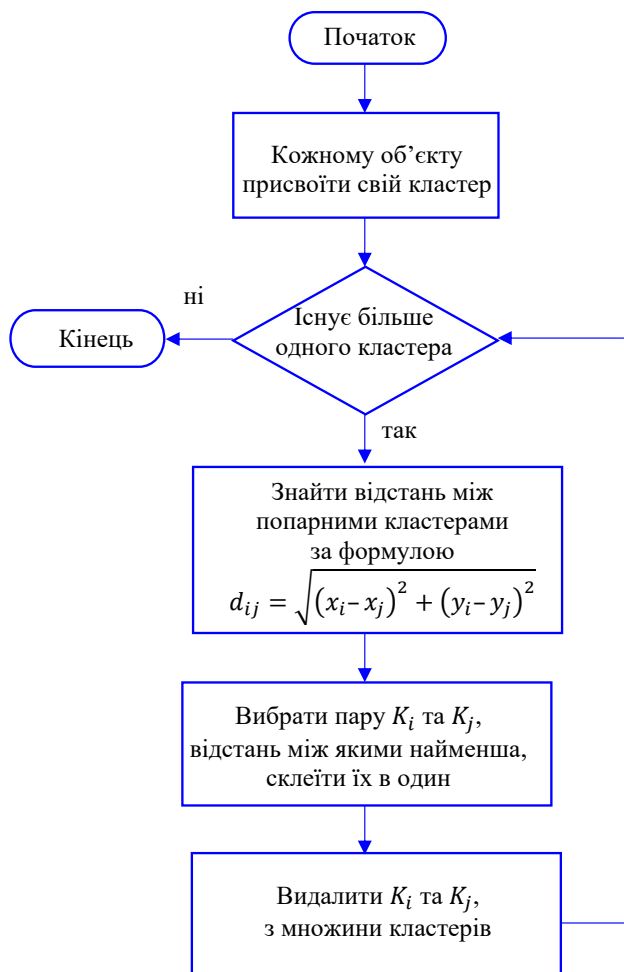


Рис. 2. Блок-схема алгоритма кластеризації методом найближчого сусіда

Інакше

7.2.1. Для кожного центроїда  $c_j$  ( $1 \leq j \leq k$ ) обчисліть відстань  $d(d_i, c_j)$ .

7.2.2. Призначте точку даних  $d_i$  кластеру з найближчий центроїд  $c_j$ .

7.2.3. Встановити  $\text{ClusterId}[i]=j$ .

7.2.4. Встановити  $\text{Nearest\_Dist}[i]=d(d_i, c_j)$ .

8. Для кожного кластера  $j$  ( $1 \leq j \leq k$ ) перерахуйте центроїди, цей процес повторюється до тих пір, поки центроїди не відокремляться суттєво.

ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ» входить до найбільших ІТ-компаній світу, будучи найбільшим виробником замовного програмного забезпечення та бізнес-додатків. До основних видів діяльності ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ» належать:

- 1 – курси з програмування,
- 2 – навчання курсантів (магістерський освітній рівень),
- 3 – створення програмного продукту,
- 4 – консультування з питань інформатизації, надання програмного забезпечення,
- 5 – діяльність у сфері інформаційних технологій і комп'ютерних систем,
- 6 – оброблення та розміщення даних.

Проведемо кластерний аналіз шести послуг, що надає ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ» своїм клієнтам за одну добу, враховуючи поділ споживачів на дві вікові групи: від 18 до 40 років та від 41 до 60 років. Застосуємо параметр  $x$  для позначення попиту на послуги клієнтів ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ» вікової групи від 18 до 40 років, а параметр  $y$  – для позначення попиту на послуги клієнтів ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ» вікової групи від 41 до 60 років. Вихідні дані для кластерного аналізу подано у таблиці 1.

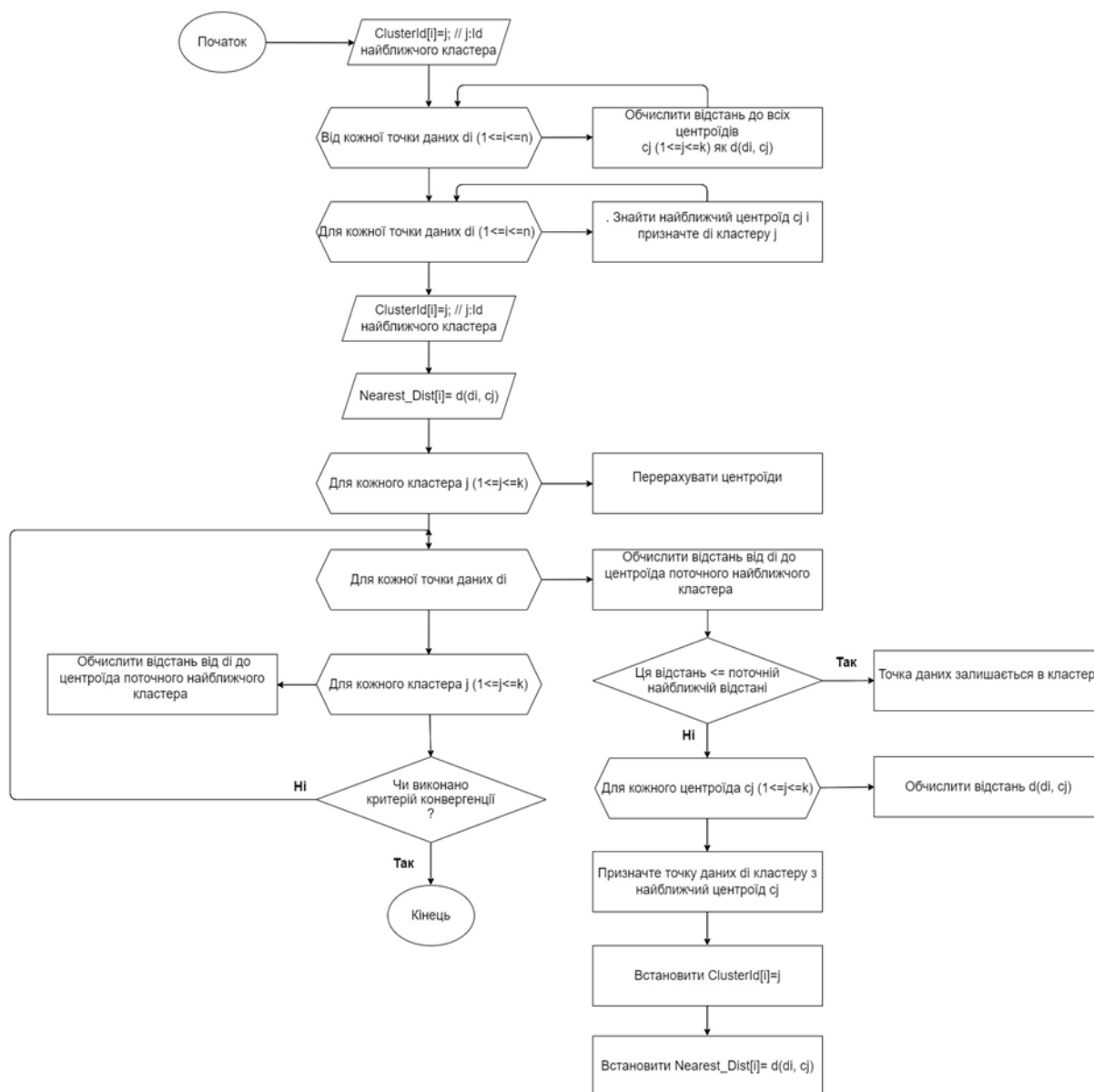


Рис. 3. Блок-схема алгоритма кластеризації методом k-means

Таблиця 1

**Вихідні дані для кластерного аналізу**

	<i>x</i>	<i>y</i>
1	2	9
2	5	11
3	6	7
4	12	6
5	13	6
6	14	5

У відповідності до формули (3), застосовуючи вихідні дані для кластерного аналізу, вдається розрахувати елементи нової матриці. Результати розрахунків показано у таблицях 2–6.

Таблиця 2

## Перший етап кластеризації

	1	2	3	4	5	6
1	0,00	3,61	4,47	10,44	11,40	12,65
2	3,61	0,00	4,12	8,60	9,43	10,82
3	4,47	4,12	0,00	6,08	7,07	8,25
4	10,44	8,60	6,08	0,00	1,00	2,24
5	11,40	9,43	7,07	1,00	0,00	1,41
6	12,65	10,82	8,25	2,24	1,41	0,00

Таблиця 3

## Другий етап кластеризації

	1	2	3	4,5	6
1	0,00	3,61	4,47	10,44	12,65
2	3,61	0,00	4,12	8,60	10,82
3	4,47	4,12	0,00	6,08	8,25
4,5	10,44	8,60	6,08	0,00	2,24
6	12,65	10,82	8,25	2,24	0,00

Таблиця 4

## Третій етап кластеризації

	1	2	3	4,5,6
1	0,00	3,61	4,47	10,44
2	3,61	0,00	4,12	8,60
3	4,47	4,12	0,00	6,08
4,5,6	10,44	8,60	6,08	0,00

Таблиця 5

## Четвертий етап кластеризації

	1,2	3	4,5,6
1,2	0,00	4,12	8,60
3	4,12	0,00	6,08
4,5,6	8,60	6,08	0,00

Таблиця 6

## Результат кластеризації

	1,2,3	4,5,6
1,2,3	0,00	6,08
4,5,6	6,08	0,00

З таблиць 2–6 можна зробити висновок, що для застосування для вибірки алгоритму найближчого сусіда знадобилися б чотири етапи. На першому етапі (таблиця 2) серед елементів матриці обираються дві групи елементів, які за значенням є найближчими між собою, що означає основу групування наборів подібних даних. Саме тому обрано об'єкти груп 4 та 5. Елементи групування виділено синім кольором, а елементи, що виділені білим кольором, переносяться у наступну матрицю без змін. Що ж стосується об'єктів, виділених синім кольором, то з двох груп даних у наступну матрицю переносяться найменше з розглянутих значень. На другому етапі (таблиця 3) за вищезазначеним алгоритмом здійснюється поєднання об'єктів груп 4, 5 та 6. На третьому етапі (таблиця 4) реалізується поєднання об'єктів груп 1 та 2 через те, що в обраних групах знаходяться елементи з найменшими значеннями. На четвертому етапі (таблиця 5) здійснюється поєднання об'єктів груп 1, 2 та 3. За результатами кластеризації (таблиця 6) виокремлено об'єкти двох кластерів груп 1, 2, 3 та 4, 5, 6 відстань між якими складає 6,08 умовних одиниць. Таким чином, споживачі віком від 18 до 40 років віддають перевагу отриманню послуг під номерами 1, 2, 3, а споживачі віком від 41 до 60 років – послуг під номерами 4, 5, 6. Візуально це добре видно на дендрограмі (рис. 4).

Саме тому ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ», розуміючи що краще запропонувати своїм клієнтам певної вікової групи, допоможе ефективніше проводити заходи стимулювання актуалізації продажів ІТ-послуг у соціальних мережах, що призведе до зростання обсягів прибутку підприємства у майбутньому.

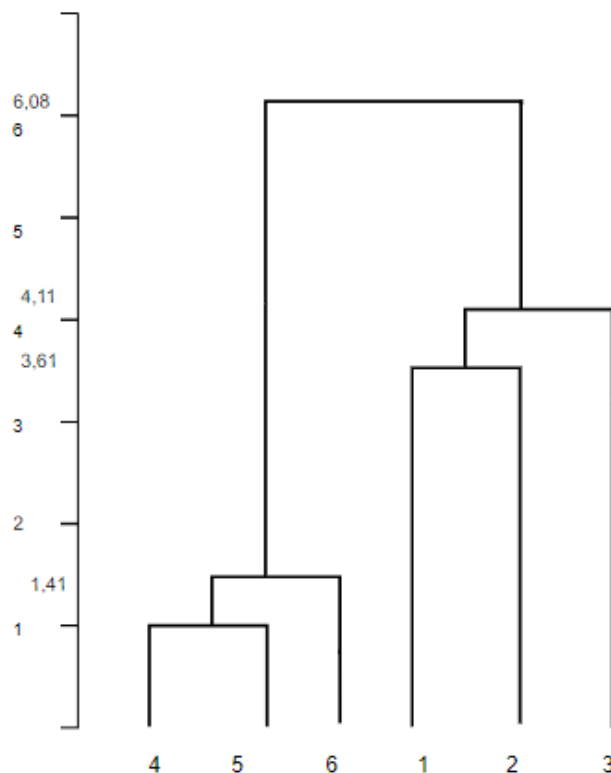


Рис. 4. Дендрограма кластеризації даних компанії ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ»

Результат кластеризації даних компанії ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ» за методом *k*-means показано на рис. 5. Маємо два згустки (кластери) із своїм центроїдом відповідно. Невеликий обсяг статистичних даних пов’язаний з процесом розуміння застосування цих методів для створення програмного забезпечення.

Наразі створюється програмне забезпечення для розв’язання відповідних завдань.

**Висновки**

В умовах розвитку інноваційних технологій комунікація в соціальних мережах ефективно застосовується для здійснення просування послуг підприємства в Інтернеті. Саме математичні методи, зокрема кластерний аналіз, можуть забезпечити об’єктивні результати у процесі бізнес-діяльності компанії. Розробка програмного забезпечення надасть можливість здійснювати обчислення дуже швидко, що дозволить керівництву компанії та менеджерам приймати більш обґрунтовані рішення.

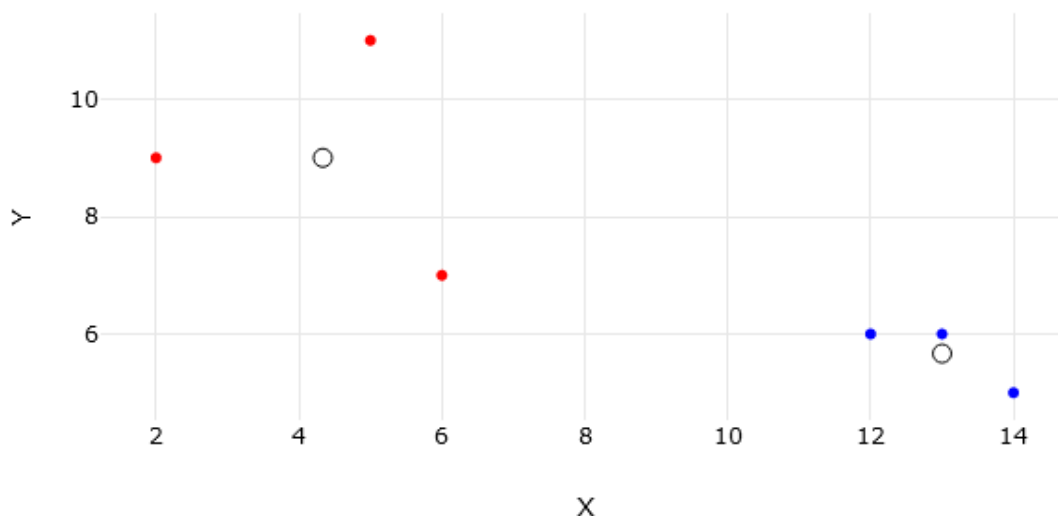


Рис. 5. Результат кластеризації даних компанії ТОВ «ЕПАМ СИСТЕМЗ» за методом *k*-means

## Список використаної літератури

1. Leading social media platforms used by marketers worldwide as of January 2023. Statista. (2023) URL: <https://www.statista.com/statistics/259379/social-media-platforms-used-by-marketers-worldwide/>
2. Luo C. Analyzing the impact of social networks and social behavior on electronic business during COVID-19 pandemic. *Information Processing and Management*. №. 58. 2021. P. 37.
3. Cuypers R. P., Ertug G., Cantwell J., Zaheer A., Kilduff M. Making connections: social networks in international business. *Journal of International Business Studies*. №. 51 (5). 2020. P. 714–736.
4. Ahumada-Tello E., Ravina-Ripoll R., Galvez-Albarracin E. G. Social networks and academic performance self-perception in business sciences students. *Social science*. №. 36 (66). 2020. P. 105–117.
5. Tiwasing P. Social media business networks and SME performance: a rural-urban comparative analysis. *Growth and Change*. №. 52 (3). 2021. P. 1892–1913.
6. Alexandra Ioanid, Cezar Scarlat. Factors Influencing Social Networks Use for Business: Twitter and YouTube Analysis. *Procedia Engineering*, Volume 181, 2017, Pages 977–983, ISSN 1877-7058. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.496>.
7. Ілляшенко С. М., Іванова Т. Є. Інструменти та методи просування продукції в Internet: аналітичний огляд. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. № 3. 2015. С. 20–32. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mimi\\_2015\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mimi_2015_3_4).
8. Шевчук І. Б. Бізнес у соціальних мережах: Навч. посіб. Львів: Видавництво ННБК «АТБ», 2021. 219 с. URL: [https://financial.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/11/BSM\\_navchalnyu-posibnyk\\_2.pdf](https://financial.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/11/BSM_navchalnyu-posibnyk_2.pdf)
9. Варна М. Що таке SMM і як працює маркетинг у соціальних мережах. Гайд для початківців. (2023) URL: <https://netpeak.net/uk/blog/shcho-take-smm-i-yak-pratsyue-marketing-u-sotsial-nikh-merezhakh-gayd-dlya-pochatktivtiv/>
10. Маркетинг в соціальних мережах. SMM агенство (2022) URL: <https://cases.media/article/marketing-v-socialnikh-merezhakh-smm-agenstvo>
11. Lisa Harris and Alan Rae. Social networks: the future of marketing for small business. *Journal Of Business Strategy*. Vol. 30 No. 5. 2009.
12. Koirala, Jyoti, Understanding the Use of Cluster Analysis in Business (March 27, 2023). URL: <https://ssrn.com/abstract=4400674> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4400674>
13. Безпарточний М. Г. Використання кластерного аналізу при оцінці ефективності діяльності торговельних підприємств. *Торгівля, комерція, підприємництво: збірник наукових праць*. Львів: Львівська комерційна академія. Вип. 17. 2014. С. 24–27.
14. Jain A. K., Dubes R. C. (1988). *Algorithms for Clustering Data*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=SERIES10022.42779>
15. Jain A.K, Murty M.N., Flynn P.J. Data Clustering: A Review. *ACM Computing Surveys*. Vol. 31, No. 3. 1999. P. 264–323. URL: [http://www.eecs.northwestern.edu/~yingliu/datamining\\_papers/survey.pdf](http://www.eecs.northwestern.edu/~yingliu/datamining_papers/survey.pdf)
16. Шевченко С.М., Жданова Ю.Д., Негоденко О.В., Куцук В.А. Модель експертної системи для медичного скринінгу на основі методів кластерного аналізу. *Moderní aspekty vědy: XXVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie*. Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2023. С. 478–494. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/mono-27.pdf>
17. K. A. Abdul Nazeer, M. P. Sebastian. Improving the Accuracy and Efficiency of the k-means Clustering Algorithm. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. 2009. Vol I WCE 2009, July 1–3, 2009, London, U.K.
18. Лотиш О.Я. Кластерний аналіз в сегментації галузі. *Вісник Одеського національного університету. Економіка*. Випуск 5 (78). Том 24. 2019. С. 37–42. URL: <https://doi.org/10.32782/2304-0920/5-78-6>
19. Роскладка А.А., Роскладка Н.О., Дзигман О.О. Кластерний аналіз клієнтської бази даних підприємств сфери послуг. *Агроевім*. № 16. 2019. С. 8–17. URL: [https://economics.kntu.kr.ua/pdf/2\(35\)/17.pdf](https://economics.kntu.kr.ua/pdf/2(35)/17.pdf)

## References

1. Leading social media platforms used by marketers worldwide as of January 2023. Statista. (2023) URL: <https://www.statista.com/statistics/259379/social-media-platforms-used-by-marketers-worldwide/>
2. Luo C. (2021) Analyzing the impact of social networks and social behavior on electronic business during COVID-19 pandemic. *Information Processing and Management*. №. 58. Pp. 37.
3. Cuypers R. P., Ertug G., Cantwell J., Zaheer A., Kilduff M. (2020) Making connections: social networks in international business. *Journal of International Business Studies*. №. 51 (5). Pp. 714–736.
4. Ahumada-Tello E., Ravina-Ripoll R., Galvez-Albarracin E. G. (2020) Social networks and academic performance self-perception in business sciences students. *Social science*. №. 36 (66). Pp. 105–117.
5. Tiwasing P. (2021) Social media business networks and SME performance: a rural-urban comparative analysis. *Growth and Change*. №. 52 (3). Pp. 1892–1913.



6. Alexandra Ioanid, Cezar Scarlat. (2017) Factors Influencing Social Networks Use for Business: Twitter and YouTube Analysis. *Procedia Engineering*, Volume 181. Pp. 977–983, ISSN 1877-7058. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.496>.
7. Ilyashenko S. M., Ivanova T. E. (2015) Tools and methods for promoting products on the Internet: an analytical review. *Marketing and innovation management*. No. 3. Pp. 20–32. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mimi\\_2015\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mimi_2015_3_4).
8. Shevchuk I. B. (2021) Business at social boundaries: Navch. pos\_b. Lviv: Vidavnistvo NNVK «ATB». [in Ukrainian] URL: [https://financial.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/11/BSM\\_navchalnyy-posibnyk\\_2.pdf](https://financial.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/11/BSM_navchalnyy-posibnyk_2.pdf)
9. Varna M. (2023) What is SMM and how does marketing work in social networks. A guide for coworkers. URL: <https://netpeak.net/uk/blog/shcho-take-smm-i-yak-pratsyue-marketing-u-sotsial-nikh-merezhakh-gayd-dlya-pochatktivtsiv/>
10. Marketing in social networks. SMM agency (2022) URL: <https://cases.media/article/marketing-v-socialnikh-merezhakh-smm-agenstvo>
11. Lisa Harris and Alan Rae. (2009) Social networks: the future of marketing for small business. *Journal Of Business Strategyj*. Vol. 30 No. 5.
12. Koirala, Jyoti. (March 27, 2023). Understanding the Use of Cluster Analysis in Business. URL: <https://ssrn.com/abstract=4400674> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4400674>
13. Bezpartochniy M. G. (2014) The use of cluster analysis in the evaluation of the efficiency of trade enterprises. *Trade, commerce, entrepreneurship: collection of scientific works*. Lviv: Lviv Commercial Academy. Issue 17. Pp. 24–27.
14. Jain A. K., Dubes R. C. (1988). *Algorithms for Clustering Data*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=SERIES10022.42779>
15. Jain A.K, Murty M.N., Flynn P.J. (1999) Data Clustering: A Review. *ACM Computing Surveys*. Vol. 31, No. 3. Pp. 264–323. URL: [http://www.eecs.northwestern.edu/~yingliu/datamining\\_papers/survey.pdf](http://www.eecs.northwestern.edu/~yingliu/datamining_papers/survey.pdf)
16. Shevchenko S.M., Zhdanova Yu.D., Nehodenko O.V., Kutsuk V.A. (2023) An expert system model for medical screening based on cluster analysis methods. *Moderní aspekty vědy: XXVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie*. Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Pp. 478–494. URL: <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/mono-27.pdf>
17. K. A. Abdul Nazeer, M. P. (2009, July 1) Sebastian. Improving the Accuracy and Efficiency of the k-means Clustering Algorithm. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. 2009. Vol. I WCE 3. London, U.K.
18. Lotysh O.Ya. (2019) Cluster analysis in industry segmentation. *Bulletin of Odessa National University. Economy*. Issue 5 (78). Volume 24. Pp. 37–42. URL: <https://doi.org/10.32782/2304-0920/5-78-6>
19. Roskladka A.A., Roskladka N.O., Dzigman O.O. (2019) Cluster analysis of the client database of service enterprises. *Agroworld*. No. 16. Pp. 8–17. URL: [https://economics.kntu.kr.ua/pdf/2\(35\)/17.pdf](https://economics.kntu.kr.ua/pdf/2(35)/17.pdf)

## УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 005.95

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.33>

С. В. ЗУБАРЄВ

аспірант кафедри менеджменту, маркетингу і туризму

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-0242-4435

## ДИДЖИТАЛІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ HR НА ПІДПРИЄМСТВАХ СФЕРИ ПОСЛУГ

У даній статті висвітлені головні аспекти диджиталізації управління HR на підприємствах, які здійснюють свою діяльність у сфері послуг. Були виокремлені та систематизовані ключові способи та засоби диджиталізації HR-менеджменту на сучасному етапі: застосування конкретних рішень для конкретних підприємств, що передбачає відсутність шаблонності; введення диджиталізації HR на кожному з етапів життєвого циклу працівника сфери послуг: від рекрутингу до звільнення; застосування чат-ботів; використання мобільних електронних пристроїв для ведення документообігу; широке застосування JobTrakers, які включають як системи управління кар'єрою в компаніях, так і рекрутингові платформи для кандидатів та роботодавців. При більш детальному аналізі кожного із зазначених аспектів диджиталізації управління HR на підприємствах сфери послуг було встановлено, що головними недоліками їхнього впровадження є доволі високі витрати та потреба у високотехнологічній інфраструктурі, що, відповідно, потребує також значних грошових витрат. І хоча у більшості випадків переваг більше, ніж недоліків, значна частка компаній, які здійснюють свою діяльність у сфері послуг, може потенційно не захотіти їх впроваджувати через те, що витрачені кошти на диджиталізацію далеко не завжди одразу можуть виправдати себе. Для таких підприємств при відсутності великих бюджетів пріоритетом може стати застосування чат-ботів та JobTrakers, серед беззаперечних переваг яких, окрім низької вартості та відсутності суттєвих витрат на впровадження, можна виділити швидкий доступ до необхідної інформації як, власне, для працівника, так і для HR-менеджера. У результаті проведеного дослідження прийшли до висновку, що у питанні диджиталізації HR-менеджменту у сфері послуг ефективність напряму корелює із кількістю грошових та інтелектуальних ресурсів, витрачених на впровадження певної технології. На тому етапі, коли підприємство не в змозі витратити значні ресурси на процес диджиталізації HR, воно може застосовувати чат-боти, мобільні додатки та JobTrakers як альтернативу складним технологічним рішенням та побудові цілісної диджитал-інфраструктури в компанії.

**Ключові слова:** диджиталізація, HR-менеджмент, HR-Digital, сфера послуг, людські ресурси, ефективність.

S. V. ZUBAREV

Postgraduate Student at the Department of Management,

Marketing and Tourism

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-0242-4435

## DIGITALIZATION OF HR MANAGEMENT AT SERVICE COMPANIES

This article describes the main aspects of digitalization of HR management at enterprises operating in the service sector. The article identifies and systematizes the key ways and means of digitalization of HR management at the present stage: application of specific solutions for specific enterprises, which implies the absence of templates; introduction of HR digitalization at each stage of the life cycle of a service sector employee: from recruitment to dismissal; application of chatbots; use of mobile electronic devices for document management; widespread use of JobTrakers, which include both career management systems in companies and recruitment platforms for candidates. A more detailed analysis of each of these aspects of digitalization of HR management in service companies revealed that the main disadvantages of their implementation are rather high costs and the need for high-tech infrastructure, which, accordingly, also requires significant cash outlays. Although in most cases the advantages outweigh the disadvantages, a significant share of companies operating in the service sector may be reluctant to implement them because the costs of digitalization may not always pay off immediately. For such companies, in the absence of large budgets, the use of chatbots and JobTrakers may be a priority, as their undeniable advantages, in addition to low cost and no significant implementation costs, include quick access to the necessary information for both the employee and the HR manager. As a result of the study, we came to the conclusion that the efficiency of digitalization of HR management in the service sector is directly correlated with the amount of money and intellectual resources spent on the implementation of a particular technology. At the stage when an enterprise is not able to spend significant resources on the process of HR digitalization, it can use chatbots, mobile applications and JobTrakers as an alternative to complex technological solutions and building an integrated digital infrastructure in the company.

**Key words:** digitalization, HR management, HR-Digital, service sector, human resources, efficiency.

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день саме цифровізація є ключовим рушієм прогресу та розвитку будь-якої сфери, зокрема і галузі HR-менеджменту. Вона дозволяє автоматизувати певну частку операційних процесів та тим самим значно підвищити ефективність роботи підприємства. Таким чином, диджиталізація у всіх сферах діяльності компанії є запорукою її конкурентоспроможності на ринку та здатності досягати високих результатів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання диджиталізації HR-менеджменту на підприємствах сфери послуг наразі є недостатньо вивченим як у вітчизняному, так і у зарубіжному науковому товаристві. Про це свідчить майже повна відсутність наукових публікацій із досліджуваної проблематики. Окремі аспекти диджиталізації та цифровізації менеджменту персоналу розглядали такі вчені та науковці як В. Куйбіда, Г. Андрощук, Г. Федулова [3], С. Рудакова, Л. Щетініна [4] тощо.

### Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні теоретичних та практичних аспектів диджиталізації HR-менеджменту на підприємствах сфери послуг та, зокрема, виокремленні ключових способів та засобів диджиталізації HR-менеджменту на сучасному етапі, а також їхніх переваг та недоліків для підприємств.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Диджиталізація стала терміном у корпоративному світі, і це широко визнано як те, що фірми повинні впроваджувати, щоб залишатися конкурентоспроможними. Швидкий розвиток технологій покращив цифрові показники діяльності організації, її вплив на суспільство та робочий процес. Цифрова революція впливає на всі рівні компаній. Крім того, вона вимагає від компаній та їхніх працівників адаптації до мінливого середовища та розвитку цифрових технологій. Диджиталізація стала терміном у корпоративному світі, і її визнають як необхідність для підприємств для того, щоб залишатися конкурентоспроможними та функціонувати у висококонкурентному середовищі [5].

Зміна споживчого попиту викликала необхідність в цифровій трансформації бізнесу, що, в свою чергу, призводить до змін в традиційних методах його функціонування. Нові бізнес-моделі виникають, вимоги клієнтів задовольняються в режимі реального часу, а ефективність бізнес-процесів зростає, що призводить до скорочення витрат на маркетинг та інші сфери.

На сьогоднішній день цифрова трансформація активно розвивається у всіх галузях бізнесу, зокрема, у сфері людських ресурсів. Цифрова революція впливає на правила ведення бізнесу далеко не завжди передбачувано, спонукаючи до виникнення нових моделей управління, що забезпечують продуктивність, інновації, гнучкість та адаптивність. Основою цього переходу є трансформація сфери управління людськими ресурсами (HR).

Галузь цифрових технологій в управлінні людськими ресурсами на сучасному етапі перебуває у процесі зародження, розвитку та формування, що ускладнює проведення об'єктивного та детального аналізу наукового визначення HR-Digital [2].

На наступному рис. 1 наведемо актуальні тенденції розвитку HR-Digital у сфері послуг.



Рис. 1. Актуальні тенденції розвитку HR-Digital у сфері послуг

Джерело: створено автором на базі [2]

Можна констатувати, що в основі HR-Digital у сфері послуг лежить досягнення цілісності моделі управління, інтеграція даних та управлінська гнучкість. Тобто, мова йде про поєднання управління людськими ресурсами (зокрема, найм співробітників на посади) із новітніми технологіями. Такий тип своєрідної кооперації покликаний спростити процес прийняття на роботу нових співробітників та значно збільшити його ефективність, що, очевидно, у майбутньому сприятиме тому, щоб компанія швидше та якісніше досягала встановлених нею кінцевих результатів діяльності.

В галузі HR наразі великого значення набуває гнучкість та інтеграція процесів, спрямованих на швидку адаптацію до нових умов праці. Завдяки диджиталізації виникає необхідність у розумінні, що ефективніше враховувати

індивідуальні особливості працівників, ніж призначати стандартні підходи до управління персоналом. Сучасна ефективність бізнесу тепер визначається не лише реакцією на посаду, але й на конкретну особистість, що підкреслює важливість будівництва бізнес-процесів навколо індивідуальних потреб, емоцій, почуттів і поведінки працівників. Для професіоналів у галузі управління людськими ресурсами це означає не лише зміну змісту їхньої діяльності, але й розвиток функціональних обов'язків та їхню оптимізацію задля забезпечення максимально ефективною взаємодією з персоналом для бізнесу [1].

Таким чином, можна констатувати, що споживчий попит і цифрова трансформація спричиняють зміни в методах функціонування бізнесу, збільшуючи ефективність і скорочуючи витрати. Цифрова революція в галузі людських ресурсів вимагає гнучкості та інтеграції, а нові моделі управління ставлять перед фахівцями HR завдання адаптуватися до індивідуальних потреб та особливостей працівників. Це призводить до переосмислення функціональних обов'язків HR та їх оптимізації для максимальної ефективності взаємодії з персоналом на підприємствах сфери послуг у нових умовах бізнесу.

Загалом, процес диджиталізації управління HR на підприємствах сфери послуг можна визначити як процес впровадження та використання цифрових технологій та інновацій для оптимізації та автоматизації діяльності в галузі управління людськими ресурсами. Це означає використання інформаційних систем, аналітики даних, електронних платформ та інших технологій з метою підвищення ефективності процесів найму персоналу, управління людськими ресурсами, навчання та розвитку працівників, а також – підвищення показників ефективності та адаптивності у сфері управління людськими ресурсами.

В основу процесів диджиталізації управління HR на підприємствах сфери послуг мають лягти наступні ключові аспекти:

- доцільність застосування конкретних рішень для конкретних підприємств, що передбачає відсутність шаблонності;
- введення диджиталізації HR на кожному з етапів життєвого циклу працівника сфери послуг: від рекрутингу (найму на роботу) до звільнення;
- застосування чат-ботів;
- використання мобільних електронних пристроїв (смартфона або планшета) для ведення документообігу;
- широке застосування JobTrakers (спільна назва для додатків, які розподіляють завдання на певні вузли класера, в ідеалі на вузли, які мають дані або, принаймні, знаходяться в одній стійці, тобто, групують завдання та розподіляють час на їх виконання). Дана інновація здатна підвищити продуктивність персоналу до 35% та забезпечити прийняття ефективних управлінських рішень [6].

Для кожного окремого елемента процесу диджиталізації управління HR на підприємствах сфери послуг можна визначити переваги та недоліки (табл. 1).

Таблиця 1

#### Переваги та недоліки елементів процесу диджиталізації управління HR на підприємствах сфери послуг

Аспект	Переваги	Недоліки
Доцільність застосування конкретних рішень	<ul style="list-style-type: none"> <li>– індивідуальний підхід до потреб підприємства;</li> <li>– можливість оптимізації рішень під конкретний бізнес-контекст;</li> <li>– підвищення ефективності завдяки врахуванню унікальних вимог.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– високі витрати на вибір та впровадження індивідуальних рішень;</li> <li>– можлива складність управління та підтримки різноманітності в системі.</li> </ul>
Диджиталізація на кожному етапі життєвого циклу працівника	<ul style="list-style-type: none"> <li>– зменшення часу та витрат на найм кваліфікованого персоналу;</li> <li>– автоматизоване управління кар'єрним розвитком працівників;</li> <li>– підвищення ефективності в управлінні звільненням та відновленням кадрів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– високі витрати на впровадження та навчання персоналу;</li> <li>– ризик втрати індивідуального підходу та зменшення ролі людського фактору в управлінні.</li> </ul>
Застосування чат-ботів	<ul style="list-style-type: none"> <li>– надання швидкої та легкої доступності інформації працівникам;</li> <li>– автоматизоване вирішення рутинних завдань та запитань;</li> <li>– зменшення навантаження на HR-спеціалістів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ризик втрати персонального підходу та неможливість ефективного вирішення нетипових або складних ситуацій;</li> <li>– потреба в постійному оновленні та підтримці чат-ботів.</li> </ul>
Використання мобільних електронних пристроїв	<ul style="list-style-type: none"> <li>– зручність та мобільність у веденні документообігу;</li> <li>– швидкий обмін інформацією між працівниками та HR;</li> <li>– підвищення продуктивності завдяки реальному часу доступу до даних.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– потенційні ризики щодо конфіденційності та безпеки інформації;</li> <li>– потреба у високотехнологічній інфраструктурі та технічній підтримці для ефективного використання.</li> </ul>
Застосування JobTrakers	<ul style="list-style-type: none"> <li>– покращення моніторингу та управління завданнями та проектами;</li> <li>– підвищення ефективності управління робочим процесом та ресурсами;</li> <li>– зручність відстеження та аналізу робочої продуктивності.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ризик втрати індивідуального підходу та недостатньої уваги до особистих досягнень працівників;</li> <li>– можливість створення напруженого робочого середовища через постійний моніторинг.</li> </ul>

Джерело: складено автором.

При більш детальному аналізі кожного із зазначених аспектів диджиталізації управління HR на підприємствах сфери послуг стає зрозуміло, що головними недоліками їхнього впровадження є доволі високі витрати та потреба у високотехнологічній інфраструктурі, що, відповідно, потребує також значних грошових витрат.

І хоча у більшості випадків переваг більше (хоча й не набагато), ніж недоліків, значна частка компаній, які здійснюють свою діяльність у сфері послуг, може потенційно не захотіти їх впроваджувати через те, що витрачені кошти на диджиталізацію далеко не завжди одразу можуть виправдати себе. Для таких підприємств при відсутності великих бюджетів пріоритетом може стати застосування чат-ботів та JobTrakers.

Серед їхніх беззаперечних переваг, окрім низької вартості та відсутності суттєвих витрат на впровадження, можна виділити швидкий доступ до необхідної інформації як, власне, для працівника (зокрема, й потенційного), так і для HR-менеджера. Останнім застосування чат-ботів та JobTrakers також може суттєво знизити навантаження на роботі, але при цьому також може суттєво пролонгувати процес пошуку кандидатів на відповідну посаду. Не можна також ігнорувати той факт, що застосування вищезгаданих технологій несе суттєві ризики втрати індивідуалізованого підходу за рахунок значного потоку інформації від потенційних кандидатів на посади та не врахування персональних досягнень [7].

Варто зауважити, що JobTrakers самі по собі є доволі різноманітними. Вони включають як системи управління кар'єрою в компаніях, так і рекрутингові платформи для кандидатів та роботодавців (рис. 2).

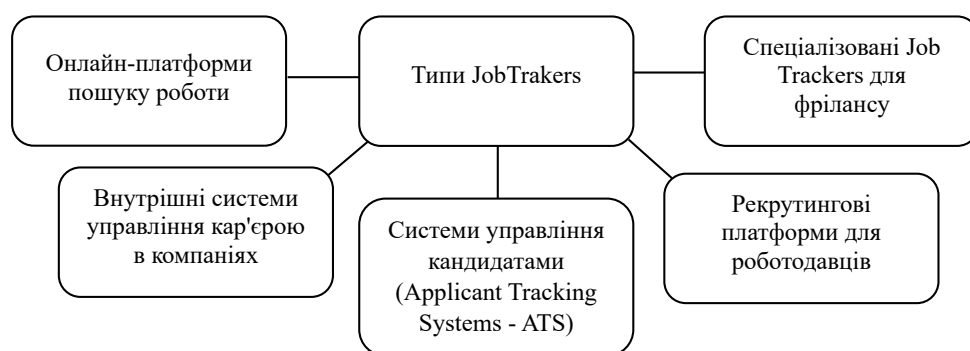


Рис. 2. Типи JobTrakers

Застосування мобільних пристроїв, як один із зазначених вище аспектів диджиталізації HR у сфері послуг є зручною альтернативою персональним комп'ютерам та, тим паче, веденню документації та обліку у паперовому вигляді. Вони дозволяють швидко обмінюватися інформацією між працівниками та HR, тому, відповідно, сприяють підвищенню продуктивності та результативності праці.

При цьому вони мають суттєві недоліки, які стосуються, в першу чергу, безпекового аспекту, та несуть ризики порушення конфіденційності даних окремих підприємств. Крім того, застосування електронних мобільних пристроїв потребує наявності цілодобової технічної підтримки, а її відсутність, у свою чергу може бути критичною в моменті та створити перешкоди для безперервної роботи підприємства, яке працює у сфері послуг.

Загалом, цифрова трансформація бізнес-процесів на підприємстві відкриває широкі перспективи, такі як зростання ваги інтелектуальної праці, підвищення кваліфікації персоналу, впровадження автоматизації та роботизації, інформатизація бізнес-процесів, впровадження нових програмних рішень, зміцнення взаємодії з акціонерами, підвищення рівня лояльності та довіри до підприємства, розвиток корпоративної культури, зміна компетенцій та навичок персоналу, адаптивність підприємства і його працівників, укріплення бренду, ефективна оптимізація рутинних обов'язків, зокрема у сфері управління людськими ресурсами, та значне зменшення витрат часу.

#### Висновки

Таким чином, можна констатувати, що диджиталізація HR у сфері послуг станом на сьогоднішній день є невідворотнім процесом автоматизації та цифровізації галузі HR загалом. Ефективність у даному випадку на пряму корелює із кількістю грошових та інтелектуальних ресурсів, витрачених на впровадження певної технології. На тому етапі, коли підприємство не в змозі витратити значні ресурси на процес диджиталізації HR, воно може застосовувати чат-боти, мобільні додатки та JobTrakers як альтернативу складним технологічним рішенням та побудові цілісної диджитал-інфраструктури в компанії незалежно від того, які послуги вона надає.

#### Список використаної літератури

1. Кобеля, З. І., Тодорюк, С. І. Диджиталізація HR: майбутнє кадрового адміністрування. *Бізнесінформ*, № 1, 2022. С. 397–402. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-1-397-402>.
2. Коляденко С. В. Цифрова економіка: передумови та етапи становлення в Україні та світі. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2016. № 6. С. 105–112.

3. Куйбіда, В. С., Петроє, О. М., Федулова, Л. І., Андрощук, Г. О. Цифрові компетенції як умова формування якості людського капіталу: аналітичний запис. Київ: НАДУ, 2019. С. 28.
4. Рудакова, С. Г., Данилевич, Н. С., Щетініна, Л. В., Касяненко, Я. А. Digital HR – майбутнє кадрового адміністрування. *Бізнес Інформ. № 1*, 2020. С. 265–270.
5. Ali, A.M. Digitalisation of Human Resources Management. *Albukhary International University*, 2022. pp. 12.
6. Dilshan, S. Best Job Trackers in 2023, 2023. *Cresuma*. Взято з <https://cresuma.com/career-guides/best-job-trackers/>
7. Jhamani, M., Kudroli, N., Mahure, S., Nimbhorkar, L. Job Tracking System. *International Journal of Research Publication and Reviews*, Vol 3, no 11, 2022. pp. 932–935.

#### References

1. Kobelia, Z. I., Todoruk, S. I. (2022). Dydzhytalizatsiia HR: maibutnie kadrovoho administruvannia. *Biznesinform, № 1*. pp. 397–402. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-1-397-402>. [in Ukrainian].
2. Koliadenko, S. V. (2016), «Digital economy: Prerequisites and stages of formation in Ukraine and the world», *Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, No. 6, pp. 105–112. [in Ukrainian].
3. Kuibida, V. S., Petroie, O. M., Fedulova, L. I., Androshchuk, H. O. (2019). Tsyfrovі kompetentsii yak umova formuvannia yakosti liudskoho kapitalu: analitychnyi zapys. Kyiv: NADU. pp. 28. [in Ukrainian].
4. Rudakova, S. H., Danylevych, N. S., Shchetinina, L. V., Kasianenko, Ya. A. (2020). Digital HR – maibutnie kadrovoho administruvannia. *Biznes Inform. № 1*. pp. 265–270. [in Ukrainian].
5. Ali, A.M. (2022). Digitalisation of Human Resources Management. *Albukhary International University*. pp. 12.
6. Dilshan, S. (2023). Best Job Trackers in 2023. *Cresuma*. Received from <https://cresuma.com/career-guides/best-job-trackers/>
7. Jhamani, M., Kudroli, N., Mahure, S., Nimbhorkar, L. (2022). Job Tracking System. *International Journal of Research Publication and Reviews*, Vol 3, no 11, pp. 932–935.

**Л. П. СІДЕЛЬНИКОВА**

доктор економічних наук, професор,  
завідувач кафедри фінансів, обліку та оподаткування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-7182-2923

**О. М. ПОСАДНЄВА**

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри фінансів, обліку та оподаткування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-8721-5124

## ОРІЄНТИРИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО УХИЛЕННЯ ВІД ОПОДАТКУВАННЯ У ТРАНСФЕРТНОМУ ЦІНОУТВОРЕННІ

*Трансфертне ціноутворення є найбільш проблематичним у питаннях ухилення від оподаткування для усіх країн з відкритою економікою. Можливість штучного зниження об'єкту оподаткування з корпоративного податку (податку на прибуток підприємств) через здійснення операцій з пов'язаними особами та з нерезидентами або філіями у інших юрисдикціях часто застосовується суб'єктами господарювання різних країн. Не є виключенням і Україна. Ухилення від оподаткування з використанням трансфертного ціноутворення спостерігалися і до повномасштабного вторгнення російської федерації на територію нашої держави, а з введенням мораторію на податкові перевірки під час війни ризик зростання їх обсягів різко підвищився. Дослідження у цій сфері є необхідними з метою запобігання злочинним діям у сфері оподаткування, особливо враховуючи критичну нестачу коштів у державному бюджеті. У статті розглянуто проблематику трансфертного ціноутворення в Україні з позиції можливостей ухилення від оподаткування. Надано визначення трансфертним цінам. Розглянуто неможливість уникнення трансфертного ціноутворення через наявність економічних, структурних та організаційних причин ведення бізнесу. Здійснено огляд національного законодавства щодо регламентування трансфертного ціноутворення. Надано визначення поняттю контрольовані операції. Описано критерії пов'язаності осіб згідно з Податковим кодексом України. Закцентовано увагу на суб'єктивних чинниках прийняття рішення про ухилення від оподаткування при здійсненні операцій з пов'язаними особами. Наведено групування контрольованих операцій згідно з вітчизняним законодавством. Проведено оцінку додаткових умов визнання операцій контрольованими через призму можливостей застосування цих умов задля уникнення заходів податкового контролю. В дослідженні наголошується, що прийняття рішень про ухилення від оподаткування базується на якості контрольних заходів і можливості здійснення податкового контролю. Масові податкові девіації великого бізнесу, зростання можливостей налагодження зовнішньоекономічних операцій актуалізують необхідність повернення практики перевірок з трансфертного ціноутворення. Задля підвищення якості таких перевірок необхідним є долучення податкових органів України до системи автоматичного обміну податковою інформацією між іншими країнами.*

**Ключові слова:** трансфертне ціноутворення, контрольовані операції, пов'язані особи, платники податків, податкова поведінка, ухилення від 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

**O. M. POSADNIEVA**

Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Finance, Accounting and Taxation  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-8721-5124

## GUIDELINES FOR MAKING DECISIONS ON TAX EVASION IN TRANSFER PRICING

*Transfer pricing is the most problematic in terms of tax evasion for all open economies. The possibility of artificially reducing the object of corporate taxation (corporate income tax) through transactions with related parties and with non-residents or branches in other jurisdictions is often used by business entities in different countries. Ukraine is no*

*exception. Tax evasion through transfer pricing was observed even before the full-scale invasion of Ukraine by the Russian Federation, and with the moratorium on tax audits during the war, the risk of an increase in their volume has increased dramatically. Research in this area is necessary to prevent criminal acts in the field of taxation, especially given the critical shortage of funds in the state budget. The problem of transfer pricing in Ukraine from the perspective of tax evasion is considered in the article. The definition of transfer prices is provided. The impossibility of avoiding transfer pricing due to economic, structural and organizational reasons for doing business is considered. A review of the national legislation on transfer pricing regulation is made. The concept of controlled transactions is defined. The criteria for related parties according to the Tax Code of Ukraine are described. The authors focus on the subjective factors of making a decision on tax evasion in transactions with related parties. The grouping of controlled transactions in accordance with the national legislation is provided. Additional conditions for recognizing transactions as controlled are assessed through the prism of the possibility of applying these conditions to avoid tax control measures. This research paper emphasizes that decision-making on tax evasion is based on the quality of control measures and tax control possibilities. Massive tax deviations of big business and growing opportunities for establishing foreign economic operations make it necessary to return to the practice of transfer pricing audits. In order to improve the quality of such audits, it is necessary for the tax service of Ukraine to join the system of automatic exchange of tax information between other countries.*

**Key words:** transfer pricing, controlled transactions, related parties, taxpayers, tax behavior, tax evasion.

### Постановка проблеми

Процеси глобалізації світової економіки та встановлення нових тісних економічних зв'язків між вітчизняними товаровиробниками та закордонними контрагентами призводять до все більш частого використання трансфертних цін. Трансфертне ціноутворення (далі – ТЦУ) не є особливістю української економіки – це світова тенденція, пов'язана з все зростаючим обсягом операцій, які здійснюють транснаціональні компанії та компанії, які мають підрозділи та пов'язаних контрагентів у різних країнах. Оскільки трансфертне ціноутворення за своєю суттю має як позитивні, так і негативні аспекти, усі країни з відкритою ринковою економікою намагаються вирішити проблему неналежного ТЦУ, яке несе ризики податкового шахрайства, шляхом його нормативного регулювання. Організація економічного співробітництва і розвитку (далі – ОЕСР) затвердила низку нормативних актів щодо регулювання трансфертного ціноутворення, оскільки це економічне явище, з одного боку, є ефективним механізмом внутрішньофірмового управління ресурсами та фінансовими результатами, а з іншого – поширеним засобом мінімізації податкових зобов'язань.

Ключового значення в умовах військових дій на території України набуває необхідність розширення економічних та господарських зв'язків з різними країнами задля забезпечення притоку валюти у вітчизняну економіку. Однак налагодження таких зв'язків не завжди призводить до позитивного економічного ефекту для країни. Так, при штучному заниженні вартості експортованих товарів експортер мінімізує свої формальні доходи та, відповідно, суму сплаченого податку на прибуток підприємств. З іншого боку, отримання кредиту від закордонних кредиторів із завищеною відсотковою ставкою дозволяє збільшувати витрати діяльності суб'єкта господарювання, що також мінімізує суму оподаткованого прибутку. І у першому, і у другому випадку Державний бюджет України втрачає потенційні бюджетні ресурси, акумульовані податковим методом. Разом з тим, Законом України «Про Державний бюджет України на 2024 рік» від 09.11.2023 р. № 3460-IX доходи бюджету визначені у сумі 1,8 трлн. грн., видатки – 3,3 млрд. грн., тобто видаткова частина майже удвічі перевищує дохідну. Дефіцит бюджетних ресурсів є катастрофічним. Отже, встановлення контролю за трансфертним ціноутворенням і мінімізація його негативних наслідків для бюджету є об'єктивною необхідністю в умовах гострої нестачі бюджетних коштів під час військових дій на території нашої держави.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Особливості та суперечності трансфертного ціноутворення висвітлені у багатьох наукових працях як зарубіжних, так і вітчизняних вчених. Серед зарубіжних науковців проблематикою трансфертного ціноутворення займаються С. Кумар, Нір. Пандеу, В.М. Лім, А.Н. Чаттерйєе, Ніт. Пандеу, А. Наварро та ін. Питання особливостей трансфертного ціноутворення активно досліджуються і у вітчизняній науковій думці. Такі сучасні українські вчені як О. Андрус, О. Білоусова, О. Іванов, В. Колдовський, С. Король, Т. Тишук, Г. Уманців, І. Шушакова та ін. присвятили свої праці аналізу трансфертного ціноутворення у вітчизняних реаліях. Незважаючи на існуючу значну кількість наукових робіт з цього питання, трансфертне ціноутворення залишається одним з основних сучасних механізмів ухилення від оподаткування, а тому потребує подальших поглиблених досліджень з врахуванням трансформацій податкового законодавства в умовах воєнного стану.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є аналіз стимулів та передумов прийняття рішень платниками податків про ухилення від оподаткування через законодавчі особливості трансфертного ціноутворення.

### Викладення основного матеріалу дослідження

З поглибленням глобалізаційних процесів та зростанням кількості міжнародних корпорацій трансфертне ціноутворення впевнено увійшло у практику фінансових розрахунків. Наразі ТЦУ стало предметом регулювання на



міжнародному рівні через його значну поширеність та високі можливості застосування у схемах ухилення від оподаткування.

Трансфертна ціна – це вартість, яка визначається під час господарських операцій між пов'язаними особами (компаніями, членами однієї групи), а також при операціях із суб'єктами низькоподаткових юрисдикцій і компаніями-неплатниками податку на прибуток (корпоративного податку) у країні їх реєстрації (підприємства організаційно-правової форми з «особливим» податковим статусом) [1]. Зазначимо, що низькоподаткові юрисдикції (оншори) не визначаються як офшори, але при дотриманні певних умов можуть бути використані в низькоподатковому режимі. Компанії, зареєстровані в оншорах, мають вести бухгалтерський облік, подавати податкову звітність місцевим регуляторам, а також проходити процедуру незалежного аудиту.

З огляду на зазначене, трансфертне ціноутворення відноситься до практики встановлення вартості товарів та ресурсів між пов'язаними суб'єктами господарювання, які перебувають у одній групі або під контролем одного бенефіціара (наприклад, бізнес-конгломерати, багатонаціональні підприємства). Незважаючи на негативне ставлення до трансфертного ціноутворення через високі можливості його використання у схемах ухилення від оподаткування, застосування ТЦУ є виправданим з багатьох причин, а саме:

- з економічних – підвищує ефективність у розподілі ресурсів;
- функціональних – дозволяє здійснити поділ організації на центри прибутку, які відповідальні як за доходи, так і за витрати;
- організаційних – надає можливість посилення інтеграції та диференціації в межах підрозділів організацій [2].

Тим не менш, трансфертне ціноутворення може бути об'єктом неетичного та незаконного використання для зменшення загального розміру корпоративного податку через маніпулювання доходами та витратами пов'язаних осіб з метою максимізації оподаткованого прибутку у суб'єкта господарювання, зареєстрованого у країні з низьким рівнем оподаткування, та його мінімізації у компанії, зареєстрованій у країні з високим рівнем оподаткування. Саме тому питаннями регулювання трансфертного ціноутворення займаються як національні, так і міжнародні організації зі стандартизації, такі як ОЕСР або ООН [3].

В Україні з 2013 року трансфертне ціноутворення регулюється національним законодавством і має свої особливі правила та вимоги. Зокрема, ст. 39 Податкового кодексу України (далі – ПКУ) регламентує засади трансфертного ціноутворення. Операції, в яких встановлюються трансфертні ціни, вимагають особливої уваги контролюючих органів та мають статус «контрольованих операцій».

Контрольовані операції визначимо як господарські операції платника податків, що можуть впливати на зменшення об'єкту оподаткування податком на прибуток підприємств, в основному за рахунок здійснення операцій з пов'язаними особами або нерезидентами, що знаходяться у низькоподаткових юрисдикціях. Вперше перелік таких юрисдикцій (93 країни) Кабінет Міністрів України опублікував у грудні 2013 року. З тих пір зазначений перелік неодноразово змінювався, після останньої редакції кількість низькоподаткових юрисдикцій, наведених в ньому, складала 79 країн світу. Зовнішньоекономічні операції з цими державами, за умови досягнення певних вартісних критеріїв, підпадають під контроль з ТЦУ, з необхідністю подання щорічного звіту до Державної податкової служби України про всі контрольовані операції й документацію з трансфертного ціноутворення із обґрунтуванням фактичних цін.

Критерії, за якими юридичні та фізичні особи вважаються пов'язаними особами, визначаються у пп. 14.1.159 Податкового кодексу України (табл. 1).

З огляду на зазначені у таблиці 1 критерії, слід зауважити, що наявність пов'язаних осіб в якості контрагентів у процесі здійснення господарських операцій може стати одним з чинників для прийняття рішення про ухилення від оподаткування, оскільки вірогідність виявлення факту отримання незаконної вигоди у межах однієї родини або тісно пов'язаних соціальними зв'язками осіб є досить низькою. У такому випадку егоїстичні мотиви щодо збільшення власних доходів (доходів сім'ї) можуть превалювати над острахом можливого покарання за податкові злочини.

Контрольовані операції, які визначені у ПКУ, мають бути об'єктами особливої уваги податкових органів через значні можливості приховування реальних їх обсягів (рис. 1).

Такі операції можуть впливати на об'єкт оподаткування податком на прибуток підприємств платника податків у бік його зменшення.

Господарські операції, описані на рис. 1 (крім операцій, що здійснюються між нерезидентом та його постійним представництвом в Україні), визнаються контрольованими, якщо одночасно виконуються такі умови:

- річний дохід платника податків від будь-якої діяльності, визначений за правилами бухгалтерського обліку, перевищує 150 млн. грн. (за вирахуванням непрямих податків) за відповідний рік;
- обсяг таких господарських операцій платника податків з кожним контрагентом, визначений за правилами бухгалтерського обліку, перевищує 10 млн. грн. (за вирахуванням непрямих податків) за відповідний рік [4].

Таблиця 1

## Критерії пов'язаності осіб згідно з Податковим кодексом України

Для юридичних осіб	Для фізичних та юридичних осіб	Для фізичних осіб
Одна юридична особа безпосередньо або опосередковано (через пов'язаних осіб) володіє <b>корпоративними правами</b> іншої юридичної особи у розмірі <b>25%</b> і більше	Фізична особа безпосередньо або опосередковано (через пов'язаних осіб) володіє <b>корпоративними правами</b> юридичної особи у розмірі <b>25%</b> і більше	Чоловік (дружина), батьки (у т.ч. усиновлювачі), діти (повнолітні/неповнолітні, у т.ч. усиновлені), повнорідні та неповнорідні брати і сестри, опікун, піклувальник, дитина, над якою встановлено опіку чи піклування.
Одна і та ж юридична або фізична особа безпосередньо або опосередковано володіє <b>корпоративними правами у кожній</b> такій юридичній особі у розмірі <b>25%</b> і більше		
Одна і та ж юридична або фізична особа <b>приймає рішення</b> щодо <b>призначення</b> (обрання) одноособових <b>виконавчих органів</b> кожної такої юридичної особи	Фізична особа має право <b>призначати</b> (обирати) одноособовий виконавчий орган такої юридичної особи або <b>призначати</b> (обирати)	
Одна й та ж юридична або фізична особа приймає рішення щодо <b>призначення</b> (обрання) <b>50%</b> і більше складу колегіального виконавчого органу або <b>наглядової ради</b> кожної такої юридичної особи	не менш як <b>50%</b> складу її колегіального <b>виконавчого органу</b> або <b>наглядової ради</b> .	
Принаймні <b>50%</b> складу колегіального виконавчого органу або <b>наглядової ради</b> кожної такої юридичної особи складають <b>одні і ті самі фізичні особи</b>	Фізична особа <b>здійснює повноваження одноособового виконавчого органу</b> в такій юридичній особі	
<b>Одноособові виконавчі органи</b> таких юридичних осіб призначені (обрані) за рішенням <b>однієї і тієї самої особи</b> (власника або уповноваженого ним органу)	Фізична особа є кінцевим <b>бенефіціарним</b> власником (контролером) юридичної особи	
<b>Юридична особа</b> має повноваження на <b>призначення</b> (обрання) одноособового виконавчого органу такої юридичної особи або на <b>призначення</b> (обрання) <b>50%</b> і більше складу її колегіального виконавчого органу або <b>наглядової ради</b>	<b>Сума всіх кредитів</b> (позик), поворотної фінансової допомоги від фізичної особи, наданих юридичній особі, або будь-яких кредитів (позик), поворотної фінансової допомоги від інших фізичних осіб, наданих юридичній особі, які надаються під гарантії цієї фізичної особи, перевищують суму власного капіталу більше ніж у <b>3,5 рази</b> (для фінансових установ та компаній, що провадять виключно лізингову діяльність, – більше ніж у <b>10 разів</b> )*	
Кінцевим <b>бенефіціарним</b> власником (контролером) таких юридичних осіб є <b>одна і та сама фізична особа</b>		
Повноваження <b>одноособового виконавчого органу</b> таких юридичних осіб здійснює <b>одна і та сама особа</b> .		
<b>Сума всіх кредитів</b> (позик), поворотної фінансової допомоги від однієї юридичної особи або кредитів (позик), поворотної фінансової допомоги від інших юридичних осіб, <b>гарантованих однією юридичною особою</b> , стосовно іншої юридичної особи перевищує суму власного капіталу більше ніж у <b>3,5 рази</b> (для фінансових установ та компаній, що провадять виключно лізингову діяльність, – більше ніж у <b>10 разів</b> )*		

\*При цьому сума таких кредитів (позик), поворотної фінансової допомоги та власного капіталу визначається як середнє арифметичне значення (на початок та кінець звітної періоду).

Джерело: складено авторами за даними [4]

Тобто, якщо ці умови не виконуються, то при наявності операцій з пов'язаними особами або з нерезидентами, які зареєстровані у країнах з низьким рівнем оподаткування, платник податків може уникнути заходів податкового контролю щодо його діяльності тільки через відсутність законодавчо встановленого мінімального обсягу здійснених операцій. З одного боку, це збільшує можливості для ухилення від оподаткування; з іншого, – таке ухилення або уникнення є легальним.

Щодо ситуації, яка складається у цьому випадку, у монографії В. Андрущенка і Т. Тучак «Морально-етичні імперативи податків та оподаткування (західна традиція)» приводиться думка видатного американського інвестора Дж. Моргана (1890–1913 рр.): «...Платники податків мають право користуватися дозволеними законодавством «податковими лазівками» (tax loopholes) допоки вони існують. Адже вина за надану можливість легалізованого применшення податків лежить на авторах відповідних законів, а не на платниках. Зрештою, останні не вправі вносити платежі, не передбачені законом, а податкова служба – їх адмініструвати. Вихід із ситуації – змінити закон у потрібному напрямку...» [5, с. 209], з якою важко не погодитися. Тобто, на нашу думку, операції, наведені на рис. 1, вже передбачають можливості легального або нелегального застосування схем мінімізації оподаткування, а додаткові умови щодо визнання операцій контрольованими тільки збільшують можливості використання «податкових лазівок».

Контрольовані операції	господарські операції, що здійснюються з пов'язаними особами - нерезидентами
	господарські операції, що здійснюються з пов'язаними особами - нерезидентами; зовнішньоекономічні господарські операції з продажу та/або придбання товарів та/або послуг через комісіонерів-нерезидентів
	господарські операції, що здійснюються з нерезидентами, зареєстрованими у державах (на територіях), включених до переліку держав (територій), затвердженого Кабінетом Міністрів України, або які є резидентами цих держав
	господарські операції, що здійснюються з нерезидентами, які не сплачують податок на прибуток (корпоративний податок), у тому числі з доходів, отриманих за межами держави реєстрації таких нерезидентів, та/або не є податковими резидентами держави, в якій вони зареєстровані як юридичні особи
	господарські операції (у тому числі внутрішньогосподарські розрахунки), що здійснюються між нерезидентом та його постійним представництвом в Україні

**Рис. 1. Операції, які вважаються контрольованими згідно з нормами податкового законодавства**

*Джерело: складено авторами за даними [4]*

Воєнний стан, який наразі впроваджений в Україні, також дає послаблення для платників податків щодо звітності по трансфертному ціноутворенню, що, своєю чергою, спонукає до девіантної поведінки деяких несумлінних платників податків. Так, Департамент трансфертного ціноутворення Державної податкової служби України 02.06.2022 року на офіційному сайті ДПСУ опублікував пояснення щодо особливостей подання звітності по трансфертному ціноутворенню під час воєнного стану [6]. До платників було доведено, що звітність з трансфертного ціноутворення мають подавати тільки ті платники податків, у яких є (території, підконтрольні Україні) або відновилася (деокуповані території) фактична можливість виконання податкових обов'язків. Платники податків, у яких відсутня фактична можливість подання звітності, наразі звільнені від відповідальності за умови відновлення обов'язку щодо виконання податкових зобов'язань протягом 6 місяців після скасування воєнного стану.

У цьому поясненні зазначено низку таких моментів щодо податкових перевірок з трансфертного ціноутворення:

- під час воєнного стану в Україні податкові перевірки з ТЦУ не можуть бути розпочаті, а розпочаті перевірки мають бути зупинені;
- терміни надання заперечень до акта завершених перевірок з ТЦУ та оскарження прийнятих податкових повідомлень-рішень призупиняються на період воєнного стану в Україні;
- терміни проведення раніше зупинених перевірок з ТЦУ призупиняються [6].

Тобто, навіть ті платники податків, які не звільнені від обов'язку подання звітності з ТЦУ, наразі не підлягають перевіркам з боку податкових органів, що також додає сумнівних стимулів для ухвалення платниками рішень про приховування реальних обсягів проведених операцій та мінімізації податкових зобов'язань. Крім того, до податкового законодавства були внесені зміни до «вартісних критеріїв» визначення контрольованих операцій при переході із загальної системи оподаткування на спрощену із сплатою єдиного податку за ставкою 2% доходу (третья група). Такі зміни застосовувалися до платників, які після скасування воєнного стану або змін у ПКУ знову перейдуть на загальну систему оподаткування:

- під час визначення обсягу річного доходу платника податків у розмірі 150 млн. грн. враховується весь звітний рік, зокрема дохід, отриманий за період, коли платник податків перебував на сплаті єдиного податку;
- під час визначення обсягу контрольованої операції у розмірі 10 млн. грн. не враховується обсяг операцій за період, коли платник податків перебував на сплаті єдиного податку.

Тобто навіть хоча з 01.08.2023 року податкові «воєнні» преференції українському бізнесу, реалізовані через третю (спеціальну) групу єдиного податку, були скасовані, але навіть після їх скасування діють певні послаблення

у контролі за трансфертним ціноутворенням, що у майбутньому генеруватиме застосування схем мінімізації через цей податковий механізм.

Світовий досвід державного регулювання процесів трансфертного ціноутворення засвідчує, що створення життєздатної системи протидії відтоку прихованого капіталу з національних економік за допомогою внутрішньо-корпоративних каналів ТНК вимагає додаткових витрат для податкових органів [7, с. 94]. Незважаючи на це, зазначені витрати мають виправдати себе через повернення коштів до відповідних бюджетів.

#### Висновки

За результатами проведеного дослідження зазначимо, що проблематика трансфертного ціноутворення є спільною для усіх країн з відкритою ринковою економікою. Рекомендації, прийняті ОЕСР, не враховують поведінкового чиннику платників податків. Особливо це стосується нашої країни, коли податковий контроль дуже послаблений через воєнний стан, що продукує збільшення зловживань у сфері оподаткування. Схильність до здійснення операцій з пов'язаними особами та з нерезидентами, які знаходяться на територіях з пільговим податковим режимом, завжди були притаманні вітчизняному бізнесу, оскільки це дозволяло значно мінімізувати свої податкові зобов'язання. Відсутність належного контролю під час війни тільки спонукає до зростання обсягів фіктивних операцій або експортних операцій із заниженням ціни. Наразі Україна не долучилася повною мірою до автоматичного обміну податковою інформацією, на відміну від багатьох країн світу, що також значно ускладнює процес контролю за трансфертним ціноутворенням не тільки для нашої країни, а і для країн-партнерів. Зазначене актуалізує необхідність долучення України до системи автоматичного обміну податковою інформацією між країнами та повернення контрольних дій щодо трансфертного ціноутворення у повному обсязі, за винятком об'єктивних причин неможливості їх здійснення на окупованих територіях та у зонах ведення бойових дій.

#### Список використаної літератури

1. Сухоліт І. Трансфертне ціноутворення в Україні. *Консалтингова компанія «Парето»*. URL : <https://tco-audit.com.ua/ua/chto-takoe-transferntnoe-cenoobrazovanie/> (дата звернення: 17.12.2023).
2. Kumar S., Pandey N., Chatterjee A.N., Pandey N., Lim W.M. What do we know about transfer pricing? Insights from bibliometric analysis. *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 134. Pp. 275–287.
3. Navarro A. An Introduction to Research in Transfer Pricing. *Working Paper of the Max Planck Institute for Tax Law and Public Finance*. 2023. No 6. URL : [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4389433](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4389433) (accessed 17.12.2023).
4. Податковий кодекс України : Закон України від 02.12.2010 р. № 2755-VI. Дата оновлення: 08.12.2023. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (дата звернення: 18.12.2023).
5. Андрущенко В. Л., Тучак Т. В. Морально-етичні імперативи податків та оподаткування (західна традиція) : монографія. Київ : Алєрта, 2013. 384 с.
6. Особливості контролю за трансфертним ціноутворенням в умовах воєнного стану. *Державна податкова служба України*. URL : <https://tax.gov.ua/media-tsentri/novini/586570.html> (дата звернення: 19.12.2023).
7. Король С. Я., Уманців Г. В., Шушакова І. К. Розвиток трансфертного ціноутворення в умовах глобалізації. *Економічна теорія та право*. 2021. № 2 (45). С. 87–100.

#### References

1. Suxolit I. (2023). Transferntne tsinoutvorennia v Ukraini [Transfer pricing in Ukraine]. *Konsaltinghova kompaniia «Pareto»*. Available at: <https://tco-audit.com.ua/ua/chto-takoe-transferntnoe-cenoobrazovanie/> (accessed 17.12.2023).
2. Kumar S., Pandey N., Chatterjee A.N., Pandey N., Lim W.M. (2021). What do we know about transfer pricing? Insights from bibliometric analysis. *Journal of Business Research*, vol. 134, pp. 275–287.
3. Navarro A. (2023). An Introduction to Research in Transfer Pricing. *Working Paper of the Max Planck Institute for Tax Law and Public Finance*, no 6, Available at: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4389433](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4389433) (accessed 17.12.2023).
4. Podatkovi kodeks Ukrainy : Zakon Ukrainy vid 02.12.2010 r. # 2755-VI. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text> (accessed: 18.12.2023).
5. Andrushchenko V. L., Tuchak T.V. (2013) Moralno-etychni imperatyvy podatkiv ta opodatkuvannia (zakhidna tradytsiia) [Moral and ethical imperatives of taxes and taxation (western tradition)]. Kyiv : Alerta. [in Ukrainian].
6. State Tax Service of Ukraine. (2022). Osoblyvosti kontroliu za transferntnym tsinoutvorenniam v umovakh voiennoho stanu [Peculiarities of transfer pricing control under martial law]. Available at: <https://tax.gov.ua/media-tsentri/novini/586570.html> (accessed: 19.12.2023).
7. Korol S. Ya., Umantsiv H. V., Shushakova I. K. (2021). Rozvytok transferntnoho tsinoutvorennia v umovakh hlobalizatsii [Development of transfer pricing in the conditions of globalization]. *Economic theory and law*, vol. 2 (45), pp. 87–100.

А. А. СТЕБА

старший викладач кафедри «Експлуатація флоту  
і технології морських перевезень»  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0000-0002-4882-7803

О. А. КРАВЧЕНКО

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри «Експлуатація флоту  
і технології морських перевезень»  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0000-0002-3085-7449

С. С. БОРОВИК

кандидат технічних наук,  
доцент кафедри «Експлуатація флоту  
і технології морських перевезень»  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0000-0003-4168-8537

## ПИТАННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА НАЛЕЖНУ ДБАЙЛИВІСТЬ ПРО МОРЕХІДНИЙ СТАН СУДНА МІЖ УЧАСНИКАМИ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ МОРЬСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

У даній роботі розглянуто питання відповідальності за належну dbайливість про приведення судна в морехідний стан у контексті практичного застосування морського права. У статті розглянуто існуючі нормативні акти щодо відповідальності та обов'язків перевізників, судновласників, а також екіпажів суден у забезпеченні збереження вантажів та безпеки мореплавання. Особлива увага приділяється міжнародним конвенціям та угодам, що регулюють стандарти безпеки у морі. Стаття надає огляд практики та аналіз випадків, пов'язаних з порушенням обов'язків щодо підтримки судна у належному стані перед відправленням у рейс. Розглядаються правові та інші наслідки неналежного обслуговування судна.

Також розглянуті питання тягаря доведення, випадки відсутності належної турботливості, фактор часу у приведенні судна у належний морехідний стан, теорії стадій мореплавства та ступінь прояву належної dbайливості. Окрім того розглянуто технічний аспект та елементи поняття «морехідний стан судна»: тлумачення морехідності корпусу судна, люкових закриттів, двигунів та генераторів, насосів і трубопроводів, навігаційного обладнання, підготовки екіпажу судна, бункерування та укладання вантажу. Окремо розглянуто питання належної турботи про морехідний стан судна в контексті використання непридатних методів під час експлуатації та підготовки судна до рейсу, співвідношення відповідальності у випадках арешту судна, випадки прояву належної dbайливості іншою уповноваженою особою.

Дослідження важливе для фахівців та науковців у сфері морського бізнесу, організації перевезень морським транспортом, зацікавлених у мінімізації ризиків та забезпеченні надійного захисту інтересів сторін у міжнародному морському співтоваристві.

**Ключові слова:** морехідний стан судна, відповідальність судновласника, відповідальність перевізника, належна dbайливість, ступінь прояву dbайливості, завдані збитки, претензія.

А. А. STEBA

Senior Lecturer at the Department "Operation of the Fleet  
and Technologies of Sea Transportation"  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0000-0002-4882-7803

О. А. KRAVCHENKO

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department "Operation of the Fleet  
and Technologies of Sea Transportation"  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0000-0002-3085-7449

S. S. BOROVİK

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor at the Department "Operation of the Fleet  
and Technologies of Sea Transportation"  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0000-0003-4168-8537

## THE ISSUE OF THE RELATIONSHIP OF RESPONSIBILITY FOR DUE DILIGENCE FOR THE MARITIME CONDITION OF THE VESSEL BETWEEN PARTICIPANTS IN THE PROCESS OF TRANSPORTATION OF CARGO BY MARINE TRANSPORT

*This paper examines the issue of responsibility for due diligence in bringing the vessel to seaworthy condition in the context of the practical application of maritime law. The article examines the existing regulatory acts regarding the responsibility and obligations of carriers, ship owners, as well as ship crews in ensuring the safety of cargo and navigational safety. Special attention is paid to international conventions and agreements regulating safety standards at sea. The article provides an overview of the practice and analysis of cases related to the violation of obligations to maintain the ship in proper condition before departure. Legal and other consequences of improper maintenance of the vessel are considered.*

*Issues of the burden of proof, cases of lack of due diligence, the time factor in bringing the vessel to a proper seaworthy condition, theories of seafaring stages and the degree of manifestation of due diligence are also considered. In addition, the technical aspect and elements of the concept of «seaworthiness of the ship» are considered: interpretation of the seaworthiness of the ship's hull, hatch covers, engines and generators, pumps and pipelines, navigation equipment, training of the ship's crew, bunkering and cargo stowage. The issue of due care for the seaworthiness of the vessel in the context of the use of unsuitable methods during the operation and preparation of the vessel for the voyage, the ratio of responsibility in cases of arrest of the vessel, cases of due diligence by another authorized person are separately considered.*

*The study is important for specialists and scientists in the field of maritime business, the organization of transportation by sea transport, interested in minimizing risks and ensuring reliable protection of the interests of the parties in the international maritime community.*

**Key words:** ship's seaworthiness, shipowner's responsibility, carrier's responsibility, due care, degree of care, damages, claim.

### Постановка проблеми

Питання щодо відповідальності за понесення збитків, пошкодження або втрату вантажу регламентується Кодексом торговельного мореплавства України (КТМУ), а саме Розділ IX «Надзвичайні морські події, Розділ X «Обмеження відповідальності судновласника» та Розділ XI «Претензії та позови» [1].

Гаазькі правила є основними нормами, що підтверджують повноту судового законодавства при транспортуванні вантажів по коносаментях, затверджені Міжнародною асоціацією юристів на конференціях у Гаазі в 1921 році. Після внесення змін, вони були остаточно прийняті та включені до Міжнародної конференції з уніфікації чинних правил про коносаменти, що відбулася у Брюсселі у 1924 році (Брюссельська конвенція 1924 року). Гаазькі правила мають на меті перешкодження одностороннім діям умов коносаментів у міжнародних морських перевезеннях, гармонізуючи інтереси суддів, представників вантажовласників та морських страховиків. Завдяки Гаазьким правилам відбувається перехід від відмови від відповідальності за збитки, спричинені форс-мажорними обставинами, такими як непереборна сила, карантинні обмеження, воєнні дії, стихійні лиха, масові страйки, затримки в порту, недбалість та прорахунки капітана [2]. У 1968 році до Гаазьких правил були внесені поправки, внаслідок чого вони були перейменовані на Гаазько-Вісбійські правила. Крім того, Гаазько-Вісбійські правила були адаптовані в Гамбурзькі правила, поданих Конвенцією ООН про перевезення вантажів морем (1978 рік). Ця Конвенція ООН набула чинності у листопаді 1992 року і є обов'язковою для всіх учасників міжнародних морських перевезень вантажів. Хоча Гамбурзькі правила не ратифіковано Україною як міжнародний договір, вони найчастіше застосовуються до відносин перевізника та вантажовідправника за згодою сторін як документ приватно-уніфікації права [3].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Правові основи та технологічні аспекти співвідношення належної дбайливості про морехідний стан судна досліджено та розглянуто в роботах [4–8], де висвітлено практичне застосування міжнародних конвенцій та національного законодавства в сфері морських перевезень, зокрема в США, Великобританії, Канаді, Китаї.

Окремі питання морехідності судна в певних умовах, відповідальності судновласника розглянуто в роботах [9–10]. Питання нарахування претензій щодо пошкодження вантажу відповідно до Гаазько-Вісбійських правил досліджено у [11].

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження та формалізація співвідношення відповідальності за належну дбайливість про морехідний стан судна між учасниками процесу перевезення вантажів морем виходячи з національного законодавства та діючих міжнародних правил.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Одним з найбільш суперечливих питань міжнародних правил та національного законодавства в сфері морських перевезень вантажів, пасажирів та багажу є співвідношення належної дбайливості про морехідний стан судна та відповідальності учасників за понесені збитки. Законодавство України визначає поняття «морехідний стан судна» у статті 143 КТМУ. Більш ґрунтовно цей термін надано у Положенні про класифікацію, порядок розгляду та урахування аварійних морських подій, пов'язаних з цим судном [12]. Згідно з цим документом, морехідний стан судна визначається як комплекс властивостей, що забезпечують його експлуатацію відповідно до призначення відповідно до норм, критеріїв та вимог, встановлених класифікаційним суспільством, яке здійснює технічний нагляд за судном. Згідно із статтею 3 (1) Гаазьких правил перевізник зобов'язаний перед рейсом та на його початку проявити належну дбайливість в тому, що:

- a) привести судно у морехідний стан;
- b) у належний спосіб укомплектувати екіпажем, спорядити та забезпечити судно;
- c) привести трюми, рефрижераторні та холодильні приміщення, а також всі інші частини судна, в яких перевозяться вантажі, до стану, що придатний та безпечний для їх приймання, перевезення та збереження.

*Тягар доведення* прояву належної дбайливості про морехідний стан судна за міжнародними правилами лежить на перевізникові та має бути виконаний до того, як він зможе звільнитися від відповідальності згідно статті 4 (2) Гаазьких правил. Варто відмітити, що до появи цих правил та згідно деяких національних законодавств зобов'язання перевізника по належній дбайливості по приведенню судна у морехідний стан носили абсолютний характер. В сучасних умовах перевізник не зобов'язаний доводити те, що він проявив належну дбайливість по відношенню до всіх випадків не пов'язаних із понесеними збитками. Якщо шкода або втрата були понесені частково в результаті відсутності будь-яких морехідних якостей судна, перевізник зобов'язаний довести прояв належної дбайливості лише по відношенню до таких якостей.

Неморехідність судна повинна бути причиною понесених збитків. Тягар доведення причино-наслідкового зв'язку між будь-яким порушенням морехідних якостей судна та заподіяною шкодою лежить на вантажовласнику [13].

При визначенні неморехідного стану судна суди насамперед беруть до уваги письмові докази, якими можуть бути: експертний висновок про технічну експлуатацію; акт технічного стану судна; акт приймання-передачі судна; висновок сюрвейерського огляду; записи в судовому та машинному журналі.

Відсутність класифікаційного свідоцтва чи інших судових документів також унеможливає використання судна. Стан судна є неморехідним, якщо перед початком експлуатації він вимагає проведення ремонтних робіт.

Якщо причина збитків невідома жодній із сторін суперечки та у випадках загибелі судна з невідомих (недоведених) причин, вважається, що загибель судна сталася з причини неморехідності судна та відповідальність за понесені збитки буде покладено на перевізника [14].

У випадку, коли причиною шкоди, втрати вантажу та збитків є як відсутність належної дбайливості про морехідний стан судна, так і обставини, за яких перевізник не несе відповідальності суд більшості країн (США, Канада, Китай, ЄС) виносить рішення щодо відповідальності перевізника за весь обсяг збитків, керуючись наступним тлумаченням: «за наявністю двох причин збитків, шкоди або втрати вантажу, однією з яких є відсутність належної дбайливості будь-яке питання стосовно належної дбайливості трактується обмежувально проти перевізника» [15].

*Морехідність судна* є важливим аспектом морського перевезення, оскільки безпосередньо належить до відповідальності перевізника. Норма українського права, яка встановлює обов'язок останнього забезпечити до початку рейсу морехідний стан судна, є імперативною, тобто сторони не можуть передбачати положення договору інші, ніж зазначені у частині 1 статті 143 КТМУ. Один з важливих аспектів відповідальності за стан морехідності судна полягає в тому, що якщо під час рейсу судно прийде в неморехідний стан, діє презумпція вини перевізника. Останній може бути вільним від відповідальності, якщо буде доведено, що такий стан судна було викликано прихованими недоліками, які не могли бути виявлені при прояві перевізником належної дбайливості.

Морехідний стан судна включає такі морехідні якості, як стійкість, міцність, водонепроникність, непотоплюваність, плавучість і керованість. Більшість випадків, що провокують виникнення претензій та судових позовів пов'язані із наступними елементами морехідності судна:

Корпус судна. За міжнародними правилами морехідність судна перш за все означає добрий стан корпусу судна, переборок, обшивки та з'єднанні елементів конструкції судна.

Люки та люкові закриття є постійним джерелом спричинення шкоди вантажу, тому повинні бути герметичними, комінгси люків не повинні мати отворів та тріщин [16].

Двигуни, котли та генератори повинні знаходитись в справному робочому стані перед рейсом та на його початку. Всі заміри показників обладнання щодо технічного стану, внесення записів про такий огляд повинні проводитись своєчасно та у придатний спосіб.

Насоси, трубопроводи, клапани, також обладнання цих систем, написи, графіки та інше інформаційне забезпечення повинні бути в справному робочому стані, зачищені, захищені від зовнішніх умов.

Навігаційне обладнання. Судно повинно мати в справному робочому стані навігаційне обладнання, прилади. Морські карти, лоції, геоінформаційні системи повинні бути актуалізованими на останню дату. Набір офіційних морських карт на суді є обов'язковим згідно з Правилами 2.10 Міжнародної конвенції SOLAS [17]. Системи відображення електронних карт та інформації (ECDIS) повинні відповідати стандарту [18].

Екіпаж судна має бути повністю укомплектованим, кваліфікованим, досвідченим, підготовленим до експлуатації судна. Судновласник має вжити заходів щодо перевірки належним чином інструктування та інформування екіпажу щодо специфічних властивостей вантажу та спеціалізації та особливостей експлуатації судна.

*Непридатні методи виконання технологічних робіт.* Використання таких методів або практики під час експлуатації судна (зачистка танків, трюмів, баластування та ін.) може привести до втрати морехідності судна, створюючи необґрунтований ризик пошкодження або втрати вантажу.

*Часовий фактор впровадження належної дбайливості* про морехідний стан судна є одним із важливих, але суперечливих питань співвідношення відповідальності. Згідно міжнародних правил належна дбайливість повинна бути проявлена до початку рейсу, що трактується «до того, як почалось завантаження і поки судно не зналось з якоря або швартових». На практиці точний момент початку рейсу визначити складно, однак можна зробити загальний висновок, що це такий момент, коли всі люки на судні закриті, всі відвідувачі покинули судно, дана команда, згідно якої судно фактично вже рухається за допомогою власного двигуна та/або за допомогою буксирів.

*Ступінь дбайливості про морехідний стан судна.* У випадках, коли мають місце прецеденти певного типу, потрібно проявляти більший ступінь дбайливості про морехідний стан судна.

*Впровадження дбайливості про морехідний стан судна іншою уповноваженою особою.* Перевізник має право винайняти іншу уповноважену особу з метою приведення судна у морехідний стан. Будь-які документи, що підтверджують кваліфікацію і досвід уповноваженої особи не є доказом прояву належної дбайливості. Якщо така уповноважена особа не проявить належної дбайливості, відповідальність за наслідки такого випадку буде покладено на перевізника.

*Відповідальність за належну дбайливість про морехідність судна при фрахтуванні.* Критерій придатності судна до мореплавства є ключовим аспектом взаємовідносин між власником судна і фрахтувальником, що випливають з угоди про чартер. Відповідно до статті 207 КТМУ, власник судна зобов'язаний передати судно фрахтівнику у стані, придатному для використання згідно з умовами договору чартеру. Відповідно до цього, стаття 212 кодексу встановлює право фрахтувальника не сплачувати власнику судна фрахт за період, коли судно не могло бути використане через неморехідний стан, за винятком випадків, коли непридатність судна була викликана діями фрахтувальника. Це право також відображено у відповідних умовах чартер-партії. Оскільки законодавство в повній мірі не розглядає технічні аспекти неморехідного стану судна, при передачі спору на розгляд суд може стикнутися з труднощами визначення ступеня вини кожної зі сторін у втраті судном морехідних якостей.

#### Висновки

У статті досліджено питання співвідношення відповідальності за належну дбайливість про морехідний стан судна, розглянуто підходи до тлумачення термінів «Морехідний стан судна», «належна дбайливість» та трактування випадків понесення збитків з причини неморехідності судна з точки зору національного права України, інших держав та міжнародних правил щодо перевезення вантажів морем. Формалізовано аспекти відповідальності учасників процесу перевезення.

#### Список використаної літератури

1. Кодекс торговельного мореплавства України/ URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 20.11.2023)
2. International Convention for the Unification of Certain Rules Concerning Bill of Lading (Hague Rules). – Brussels, 25 August 1924. URL: <http://www.admiraltylawguide.com/conven/haguerules1924.html> (дата звернення 24.11.2023)
3. UN Convention on the Transport of Goods by Sea (1978) URL: [https://uncitral.un.org/sites/uncitral.un.org/files/media-documents/uncitral/en/hamburg\\_rules\\_e.pdf](https://uncitral.un.org/sites/uncitral.un.org/files/media-documents/uncitral/en/hamburg_rules_e.pdf) (дата звернення 24.11.2023)
4. MARINE CARGO CLAIMS (3rd Edition) by William Tetley, Q.C., B.A., LL.L., Professor of Law, McGill University. Blais, Montreal (1988, cxi and 1107 pp., plus Appendices 161 pp. and Index 35 pp.). Hardback.
5. Comparison of shipowners' limitation of liability schemes. Katie Smith Matison. URL: [https://www.lanepowell.com/portalresource/lookup/poid/Z1tO19NPluKPfDNlqLMRV56Pab6TfzcRXncKbDtRr9tObDdErKJCn0!/file.name=/matisonk\\_002.pdf](https://www.lanepowell.com/portalresource/lookup/poid/Z1tO19NPluKPfDNlqLMRV56Pab6TfzcRXncKbDtRr9tObDdErKJCn0!/file.name=/matisonk_002.pdf) (дата звернення 20.11.2023)
6. Шемякін О.М. Міжнародне приватне морське право. Одеса: Латстар, 2000. 271 с.



7. Транспортне право України: підручник / [М.Л. Шелухін, О.І. Антонюк, В.О. Вишнівецька та ін.]; за ред. М.Л. Шелухіна. К.: Ін Юре, 2008. 893 с.
8. Limitation of Liability for Maritime Claims: A Study of U.S. Law, Chinese Law, and International Conventions by Xia Chen. Martinus Nijhoff Publishers, Jan 1, 2001 – Law – 168 pages.
9. Onyshchenko S., & Melnyk, O. (2020). Modelling of changes in ship's operational condition during transportation of oversized and heavy cargo. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(2(56)), 66–70. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.221653>
10. Красільнікова О.С. Формування інституту страхування відповідальності судновласника / О.С. Красільнікова // Актуальні проблеми держави і пра-ва. 2005. Вип. 24. С. 299–303. URL:[http://nbuv.gov.ua/UJRN/apdp\\_2005\\_24\\_45](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apdp_2005_24_45) (дата звернення 21.11.2023)
11. Лапкін О.І. Вартісна оцінка претензії щодо недостачі або пошкодження вантажу // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць, 2020. No2(71). С. 113–123. DOI 10.31375/2226-1915-2020-2-113-123.
12. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 29.05.2006 № 516 «Про затвердження Положення про класифікацію, порядок розслідування та обліку аварійних морських подій із суднами» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0959-06#Text> (дата звернення 21.11.2023)
13. Temple Bar [1942] AMC 1125. American Maritime Cases. Maritime Law Association of the United States, Association of Average Adjusters of the United State. Incorporated, 1942.
14. Heinz Horn/Marie Horn [1968] AMC 2548. American Maritime Cases. Maritime Law Association of the United States, Association of Average Adjusters of the United State. Incorporated, 1968.
15. Dir Gen. of India Supp. Miss. v. SS. Maru [1972] AMC 1238. American Maritime Cases. Maritime Law Association of the United States, Association of Average Adjusters of the United State. Incorporated, 1972.
16. Liberty Shipping [1973] AMC 2241. American Maritime Cases. Maritime Law Association of the United States, Association of Average Adjusters of the United State. Incorporated, 1973.
17. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974 URL:[https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) (дата звернення 24.11.2023)
18. International Standart. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Electronic chart display and information system (ECDIS) – Operational and performance requirements, methods of testing and required test results URL: [https://webstore.iec.ch/p-preview/info\\_iec61174%7Bed3.0%7Den.pdf](https://webstore.iec.ch/p-preview/info_iec61174%7Bed3.0%7Den.pdf) (дата звернення 24.11.2023)

#### References

1. Ukraine. (1995). Code of Commercial Shipping of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176/95-%D0%B2%D1%80#Text> (Accessed: November 20, 2023)
2. International Convention for the Unification of Certain Rules Concerning Bill of Lading (Hague Rules). (1924, August 25). Brussels. URL: <http://www.admiraltylawguide.com/conven/haguerules1924.html> (Accessed: November 24, 2023)
3. UN Convention on the Transport of Goods by Sea (1978). URL: [https://uncitral.un.org/sites/uncitral.un.org/files/media-documents/uncitral/en/hamburg\\_rules\\_e.pdf](https://uncitral.un.org/sites/uncitral.un.org/files/media-documents/uncitral/en/hamburg_rules_e.pdf) (Accessed: November 24, 2023)
4. Tetley, W. (1988). MARINE CARGO CLAIMS (3rd Edition). Montreal: Blais.
5. Matison, K. S. (n.d.). Comparison of shipowners' limitation of liability schemes. URL: [https://www.lanepowell.com/portalresource/lookup/poid/Z1tO19NPluKPtDNIqLMRV56Pab6TfzcRXncKbDtRr9tObDdErKJcN0!/file.name=/matisonk\\_002.pdf](https://www.lanepowell.com/portalresource/lookup/poid/Z1tO19NPluKPtDNIqLMRV56Pab6TfzcRXncKbDtRr9tObDdErKJcN0!/file.name=/matisonk_002.pdf) (Accessed: November 20, 2023)
6. Shemyakin, O.M. (2000). International Private Maritime Law. Odessa: Latstar.
7. Shelukhin, M.L., Antoniuk, O.I., Vyshnivetska, V.O., et al. (Eds.). (2008). Transport Law of Ukraine: A textbook. Kyiv: In Yure.
8. Onyshchenko, S., & Melnyk, O. (2020). Modelling of changes in a ship's operational condition during the transportation of oversized and heavy cargo. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(2(56)), 66–70. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.221653>
9. Chen, X. (2001). Limitation of Liability for Maritime Claims: A Study of U.S. Law, Chinese Law, and International Conventions. Martinus Nijhoff Publishers.
10. Krasilnikova, O.S. (2005). Formation of the shipowner's liability insurance institute. *Actual Problems of State and Law*, 24, 299–303. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/apdp\\_2005\\_24\\_45](http://nbuv.gov.ua/UJRN/apdp_2005_24_45) (Accessed: November 21, 2023)
11. Lapkin, O.I. (2020). Valuation of a claim for shortage or damage to cargo. *Development of Management and Economic Methods in Transport: Collection of scientific works*, 2(71), 113–123. DOI 10.31375/2226-1915-2020-2-113-123.

12. Ukraine. (2006). Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine dated May 29, 2006, No. 516 «On Approval of the Classification, Investigation, and Accounting of Maritime Accidents with Ships». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0959-06#Text> (Accessed: November 21, 2023)
13. Temple Bar [1942] AMC 1125. American Maritime Cases. Maritime Law Association of the United States, Association of Average Adjusters of the United States. Incorporated, 1942.
14. Heinz Horn/Marie Horn [1968] AMC 2548. American Maritime Cases. Maritime Law Association of the United States, Association of Average Adjusters of the United States. Incorporated, 1968.
15. Dir Gen. of India Supp. Miss. v. SS. Maru [1972] AMC 1238. American Maritime Cases. Maritime Law Association of the United States, Association of Average Adjusters of the United States. Incorporated, 1972.
16. Liberty Shipping [1973] AMC 2241. American Maritime Cases. Maritime Law Association of the United States, Association of Average Adjusters of the United States. Incorporated, 1973.
17. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. URL: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) (Accessed: November 24, 2023)
18. International Standard. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Electronic chart display and information system (ECDIS) – Operational and performance requirements, methods of testing and required test results. URL: [https://webstore.iec.ch/p-preview/info\\_iec61174%7Bed3.0%7Den.pdf](https://webstore.iec.ch/p-preview/info_iec61174%7Bed3.0%7Den.pdf) (Accessed: November 24, 2023)

**О. М. ТЕЛІЖЕНКО**доктор економічних наук, професор,  
старший науковий співробітникНауково-дослідного інституту енергоефективних технологій  
Сумський державний університет

ORCID: 0000-0001-9864-4098

**С. В. ШАШКОВ**кандидат економічних наук,  
старший науковий співробітникНауково-навчального центру моделювання процесів у складних системах  
кафедри прикладної математики та моделювання складних систем

Сумський державний університет

ORCID: 0009-0001-8734-5460

## НАПРЯМКИ ДІЯЛЬНОСТІ З АГРЕГАЦІЇ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ НА ОСНОВІ РОЗВИТКУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

*В статті розглянуто основні структурні та підструктурні елементи розумних електромереж та їх класифікацію. Визначено потребу реалізації комплексу законодавчих, організаційних, технічних, економічних та інших заходів з метою розвитку вітчизняного ринку електроенергії.*

*Одним з перспективних напрямків впровадження розумних електромереж є розвиток розподіленої генерації. Опрацьовані визначення та трактування цього поняття. Визначено класифікацію об'єктів та ресурси розподіленої генерації. Розглянуто переваги її впровадження, якими насамперед є покращення якості електропостачання, зниження технологічних втрат електроенергії, підвищення енергоефективності, зростання рівня енергетичної безпеки, створення нових робочих місць. Водночас зауважено і на недоліки та перешкоди на шляху розвитку розподіленої генерації, якими можуть виступати їх висока початкова інвестиційна вартість та витрати на технічне обслуговування. Визначено комплекс заходів, необхідних для активного впровадження розподіленої генерації керуючись успішним досвідом європейських країн.*

*Окрему увагу приділено агрегації як новому для нашої держави виду ліцензованої господарської діяльності на ринку електричної енергії, яка пов'язана з об'єднанням електроустановок, призначених для виробництва, зберігання та електричної енергії. Визначені основні терміни, цілі та функції діяльності, пов'язаної з агрегацією, а також можливості для нових учасників ринку шляхом координації об'єднання об'єктів розподіленої генерації джерелами енергії та управління їхньою участю на ринку електричної енергії.*

*На основі аналізу нормативних документів ЄС, які регламентують діяльність учасників ринку електричної енергії, визначений комплекс базових завдань та вимог щодо впровадження та функціонування агрегації на ринку електричної енергії України на шляху до європейської інтеграції.*

**Ключові слова:** розумні мережі, розподілена генерація, діяльність, агрегація, агрегатор, управління.

**О. М. TELIZHENKO**

Doctor of Economic Sciences, Professor,

Senior Research Fellow of Research Institute of Energy Efficient Technologies

Summy State University

ORCID: 0000-0001-9864-4098

**S. V. SHASHKOV**

Candidate of Economic Sciences,

Senior Research Fellow of Research Educational Center of Processes Modeling

in Complex Systems of Department of Applied Mathematics

and Complex Systems Modeling

Summy State University

ORCID: 0009-0001-8734-5460

## DIRECTIONS OF AGREGATION IN ELECTRICAL POWER INDUSTRY ACTIVITY BASED ON DISTRIBUTED GENERATION DEVELOPMENT

*The article considers the main structural and substructural elements of smart grids and their classification. Identified the need of set of legislative, organizational, technical, economic and other measures realization in order to develop the domestic electricity market.*

*One of the promising directions for the introduction of smart power grids is the development of distributed generation. Elaborated the definitions and interpretations of this concept. Considered the advantages of its implementation, which primarily include improving the quality of electricity supply, reducing technological losses of electricity, increasing energy efficiency, increasing the level of energy security, creating new jobs. At the same time, noted the shortcomings and obstacles on the way to the development of distributed generation, which may include their high initial investment cost and maintenance costs. A set of measures necessary for the active implementation of distributed generation based on the successful experience of European countries has been determined.*

*Particular attention paid to aggregation as a new type of licensed economic activity in the electricity market for our country, which related to the combination of electrical installations designed for the production, storage and electrical energy. Defined the main terms, goals and functions of activities related to aggregation, as well as opportunities for new market participants by coordinating the integration of distributed generation facilities with energy sources and managing their participation in the electricity market.*

*Based on the analysis of EU regulatory documents that regulate the activities of electricity market participants, a set of basic tasks and requirements for the implementation and functioning of aggregation on the electricity market of Ukraine on the way to European integration has been determined.*

**Key words:** smart grid, distributed generation, activity, aggregation, aggregator, management.

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день в Україні дуже гостро стоїть питання модернізації електричних мереж які, з причин фізичної та моральної зношеності, а також пошкоджень внаслідок бойових дій, здебільшого перебувають в незадовільному, а подекуди в критичному стані. Крім того, історично склалось, що внаслідок концентрації на «потужній генерації», особливо в умовах нинішніх реалій, процес постачання електричної енергії в ланцюгу «потужна електростанція – магістральні мережі – розподільчі мережі –кінцевий споживач» є доволі складним та має багато ризиків. Як наслідок, у вітчизняній електроенергетиці спостерігається ряд негативних тенденцій, зокрема:

– зниження надійності електропостачання, про що свідчить зростання індексів SAIDI та SAIFI;

– зростання технологічних втрат електричної енергії, що як в комплексі, так і окремо, може становити причину зниження рівня енергетичної безпеки.

Окрім технічної складової, істотного реформування вимагає і ринок електричної енергії. Незважаючи на кардинальні зміни, впроваджені в 2019 році, існує потреба в усуненні недоліків, які виникли в результаті функціонування нової моделі.

Одним із напрямків вирішення даних проблемних питань є впровадження розумних мереж, в концепції розвитку яких важливе місце, на наш погляд, буде займати агрегація в електроенергетиці.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

За останні роки дослідженнями економічних аспектів розумних мереж займалась низка науковців, зокрема Вакуленко І.А., Денисюк С.П., Кангтінг Ч, Кириленко О.В., Колосок С.І., Лівей Д., Стогній Б.С., Тульчинська С.О., Шевчук О.А. та інші. Питання розвитку розподіленої генерації в своїх працях досліджували Бойко С.М., Гільорме Т.В., Кубатко О.В., Ландау Ю.О., Лежнюк П. Д., Сінчук О.М., Сотник І.М., Чернюк А.М. та інші вчені.

В той же час, стан наукових досліджень щодо механізмів розвитку розподіленої генерації в Україні знаходиться на початковому етапі, тому існує потреба у проведенні досліджень в даному напрямку. Більш того, враховуючи той факт, що така функція розподіленої генерації як агрегація в електроенергетиці є порівняльно новою для вітчизняного ринку електроенергії, це питання потребує особливого дослідження.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження структури розумних мереж, перспектив та шляхів їх впровадження на основі розвитку такого елемента як розподілена генерація, а також дослідження агрегації в електроенергетиці, як нового виду ліцензованої діяльності.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Розумна енергосистема майбутнього включає в себе широкий набір структурних та підструктурних елементів, які представлені науковцями [1] наступним чином (табл. 1).

Аналізуючи дані елементи стає очевидним, що для успішного впровадження та розвитку концепції розумних мереж в Україні, окрім значних капіталовкладень, необхідна реалізація суттєвого комплексу законодавчих, організаційних, технічних, економічних та інших заходів.

В жовтні 2022 року Кабінетом міністрів України було схвалено Концепцію впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року та затверджено план заходів щодо її реалізації [2]. В рамках даної Концепції окрема увага приділяється необхідності поширення та ефективної інтеграції розподіленої генерації. Об'єктом розподіленої генерації, в трактуванні законодавства України, визначається електростанція встановленою потужністю 20 МВт та менше, приєднана до системи розподілу електричної енергії [3]. В свою чергу, на нашу думку, визначення цього терміну більш розгорнуто розкриває представлення розподіленої генерації як системи виробництва та передачі енергії, яка передбачає велику кількість споживачів, що водночас є виробниками електрики та тепла для власних потреб, і мають можливість передавати надлишки виробленої енергії до загальної мережі [4]. Агенцією з охорони довкілля США [5] визначено наступні ресурси розподіленої генерації:

Таблиця 1

## Структурні та підструктурні елементи розумних енергосистем

№	Структурні елементи	Підструктурні елементи
1	Інтелектуальний облік	автоматичне зняття показників дистанційне управління приладами управління даними обліку двостороння комунікація
2	Розумна мережа	дистанційне керування мережею автоматичне керування мережею оптимізація втрат оптимізація планування мережі
3	Енергоефективність	управління регулюванням навантаження інтервальна тарифікація збереження електроенергії формування культури енергоспоживання
4	Технології споживачів	інтелектуальні побутові прилади електромобілі розподілена генерація

- сонячні електростанції;
- вітрові електростанції;
- малі гідроелектростанції;
- комбіновані теплоенергетичні системи;
- електростанції, що працюють за рахунок спалювання біомаси або природного газу;
- електростанції, що працюють на використанні біомаси;
- електростанції, що працюють на використанні твердих паливних відходів;
- дизельні та бензинові генератори.

Впровадження системи розподіленої генерації в кінцевому результаті має наступні переваги [4; 6; 7]: зниження технологічних втрат електричної енергії при транспортуванні; покращення якості електроенергії; покращена стабільність роботи; висока ефективність роботи; можливість виступати джерелом аварійного електропостачання; надання допоміжних послуг включаючи реактивну потужність; зниження витрат на землекористування; зниження вразливості до пошкоджень в результаті атак; підвищення стійкості інфраструктури; підвищення рівня енергонезалежності; зростання інвестицій на рівні місцевих громад; створення локальних робочих місць; зниження негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Разом з тим, основними недоліками розвитку об'єктів розподіленої генерації є, як правило, їх висока початкова інвестиційна вартість та витрати на технічне обслуговування. В той же час при комплексному підході, незважаючи на вказані перешкоди, впровадження розподіленої генерації в кінцевому результаті матиме високу економічну ефективність.

На рис. 1 наведені ряд необхідних основних передумов, визначених фахівцями на основі успішного досвіду активного впровадження розподіленої генерації в європейських країнах [4]. Слід відмітити, що вказані заходи повинні, на нашу думку, бути максимально взаємопов'язаними та не виключати один одного.

Розробка та реалізація комплексу заходів, направлених на розвиток розподіленої генерації потребує всебічної адаптації ринку електричної енергії, зокрема формування правових засад, організаційних та економічних зв'язків, введення нових видів діяльності неактуальних учасників тощо.

Донедавна Законом України «Про ринок електричної енергії» [3] був визначений наступний перелік видів господарської діяльності на ринку електричної енергії, провадження яких вимагає отримання відповідної ліцензії: виробництво електричної енергії; передача електричної енергії; розподіл електричної енергії; постачання електричної енергії споживачам; зберігання енергії; трейдерська діяльність; здійснення функцій оператора ринку; здійснення функцій гарантованого покупця; зберігання енергії.

В червні 2023 року Законом України «Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та «зеленої» трансформації енергетичної системи України» [8] було внесено ряд змін до Закону України «Про ринок електричної енергії», направлених на вирішення ряду існуючих проблем ринку електричної енергії, в тому числі з відновлюваних джерел, а також на імплементацію до європейського ринку. Змінами було розширено наведений вище перелік видів господарської діяльності такими як розподіл електричної енергії малими системами розподілу та агрегація.

Крім того, в рамках організації діяльності з агрегації, на законодавчому рівні було введено ряд термінів та їх визначень, наведених в табл. 2.

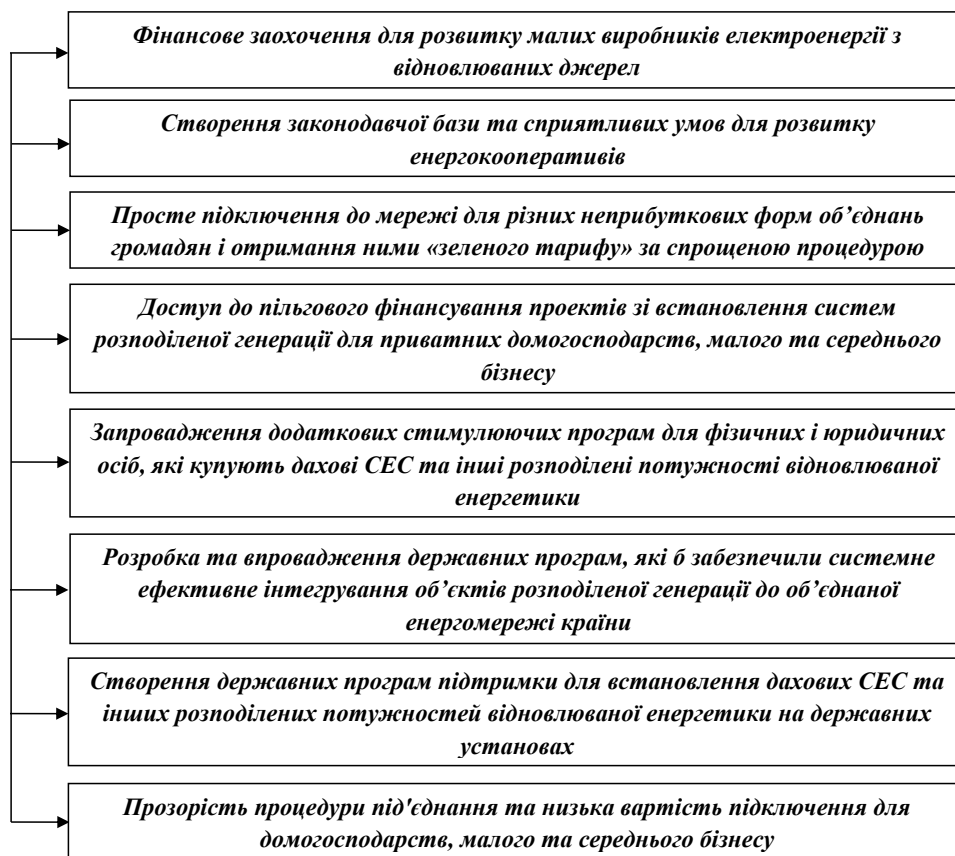


Рис 1. Передумови активного впровадження розподіленої генерації [4]

Впровадження діяльності з агрегації, насамперед, має на меті спростити учасникам агрегованої групи процес реалізації електричної енергії на ринку шляхом консолідації розподілених енергетичних ресурсів в одну віртуальну електростанцію. Крім того, агрегатор створює можливість участі в ринку електроенергії для дрібних учасників, які не мають можливості або компетенції для самостійної участі. Таким чином, функцію агрегатора можна також узагальнити як координацію об'єднання об'єктів розподіленої генерації джерелами енергії та управління їхньою участю на ринку електричної енергії, а також відповідний розподіл прибутку між учасниками групи.

Таблиця 2

Основні терміни та їх визначення, пов'язані з діяльністю з агрегації

№	Термін	Визначення	
		У відповідності до Закону України «Про ринок електричної енергії» [3]	У відповідності до Директиви (ЄС) 2019/944 [9]
1.	Агрегатор	Незалежний агрегатор або інший учасник ринку електроенергії, який здійснює діяльність з агрегації.	
2.	Агрегація.	Діяльність на ринку електричної енергії, що здійснює суб'єкт господарювання, пов'язана з об'єднанням електроустановок, призначених для виробництва та/або споживання, та/або зберігання електричної енергії з метою купівлі-продажу електричної енергії, надання допоміжних послуг та/або послуг з балансування на ринку електричної енергії.	Функція, що виконується фізичною або юридичною особою, яка поєднує навантаження або вироблену електроенергію декількох споживачів для продажу, купівлі або торгівлі через аукціон на будь-якому ринку електроенергії
3.	Агрегована група.	Учасники ринку електричної енергії, електроустановки яких входять до однієї одиниці агрегації та агрегуються агрегатором.	
4.	Одиниця агрегації.	Сукупність електроустановок, призначених для агрегації.	
5.	Незалежний агрегатор.	Учасник ринку, що здійснює діяльність з агрегації та який неафілійований з електропостачальником та/або постачальником універсальних послуг споживача, електроустановки якого агрегуються таким учасником ринку.	Учасник ринку, що займається агрегацією, який не є афілійованим з постачальником споживача

Директивою (ЄС) 2019/944 Європейського Парламенту і Ради від 05.05.2019 про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії [8] передбачено, що всі групи споживачів (промислові, комерційні та домогосподарства) повинні мати доступ до ринків електроенергії для торгівлі своїми гнучкими навантаженнями та електроенергією власного виробництва, а також мати можливість повністю використовувати переваги агрегації виробництва та постачання. Крім того, даною Директивою визначено, що держави-члени ЄС повинні:

- забезпечити законодавчу базу рамки для повноцінного функціонування незалежних агрегаторів та належної компенсації для приєднаних до них споживачів;
- обрати модель імплементації та підхід до управління незалежною агрегацією, яка повинна містити прозорі та справедливі правила, котрі дозволять незалежним агрегаторам виконувати свою роль посередників і гарантувати, що кінцевий споживач отримує адекватну вигоду від їхньої діяльності;
- дозволяти та заохочувати участь в агрегації, забезпечуючи її на всіх ринках електроенергії нарівні з виробниками на недискримінаційній основі;
- забезпечити недискримінаційне ставлення по відношенню до учасників ринку, що займаються агрегацією з боку операторів системи передачі та операторів системи розподілу;
- забезпечити включення в їх нормативно-правову базу щонайменше таких елементів:
- право кожного учасника ринку, що займається агрегацією, включаючи незалежних агрегаторів, виходу на ринки електроенергії без згоди інших його учасників;
- недискримінаційні та прозорі правила, які чітко розподіляють ролі та обов'язки між усіма електроенергетичними підприємствами та споживачами;
- недискримінаційні та прозорі правила та процедури обміну даними між учасниками ринку, що займаються агрегацією та іншими учасниками ринку на рівних умовах, а також повний захист комерційної інформації та персональних даних споживачів.
- обов'язок учасників ринку, що займаються агрегацією, нести фінансову відповідальність за спричинені в системі небаланси;
- незастосування неналежних платежів, штрафів, інших договірних обмежень з боку постачальників по відношенню до кінцевих споживачів;
- механізм вирішення конфліктів між учасниками ринку, що займаються агрегацією та іншими учасниками ринку, включаючи відповідальність за небаланси;
- забезпечити щоб регуляторні органи або, в залежності національно-правової системи, оператори системи передачі та оператори системи розподілу, в співпраці з учасниками ринку та кінцевими споживачами, встановили технічні вимоги до участі в управлінні попитом на всіх ринках електроенергії.

#### Висновки

З метою покращення стану електричних мереж в Україні на шляху до євроінтеграції в частині ринку електричної енергії, на законодавчому рівні необхідно розробити, прийняти та адаптувати до законодавства ЄС низку нормативно-правових документів, пов'язаних з агрегацією в електроенергетиці. В той же час дані заходи потрібно здійснювати виходячи існуючих реалій вітчизняної енергетики і законодавства з врахуванням трансформації до європейських стандартів. Однією з необхідних умов реалізації цих заходів постає потреба створення організаційно-економічних механізмів діяльності з агрегації, які будуть максимально повно враховувати структуру, задачі, обов'язки та функції учасників, а також економічні взаємовідносини між ними.

#### Список використаної літератури

1. Шевчук О. А., Борданова Л. С., Наухацька Т. А. Оптимізація енергоефективності економіки за допомогою технологічної концепції Smart Grid. Економічний вісник НТУУ «КПІ». 2019. № 16. С. 400–414.
2. Про схвалення Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 908-р від 14.10.2022.
3. Закон України «Про ринок електричної енергії».
4. Чому в Україні слід розвивати децентралізовану енергетику вже сьогодні? Брифінг Центру екологічних ініціатив «Екодія». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2018/06/Brief-rozpodilena-generacia-s.pdf>.
5. Офіційний сайт Агенції з охорони довкілля США. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.epa.gov>.
6. Офіційний сайт Міністерства енергетики США. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.energy.gov>.
7. Stein Zach. Distributed Generation (DG). Carbon Collective Corporation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.carboncollective.co/sustainable-investing/distributed-generation-dg>
8. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо відновлення та «зеленої» трансформації енергетичної системи України».
9. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (recast).

**References**

1. Shevchuk O.A., Bordanova L.S., Nauhatska T.A. (2019) Optymizacija energoefektyvnosti ekonomiky za dopomogyu koncepcii Smart Grid [The economy energy efficiency optimization using Smart Grid technological concept]. Ekonomichnyi visnuk NTUU «KPI», no. 16, pp. 400-414.
2. Pro skhvalennia Kontseptsii vprovadzhennia «rozumnykh merezh» v Ukraini do 2035 roku. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy № 908-r vid 14.10.2022 [On the approval of the Concept of implementation of “smart grids” in Ukraine until 2035. Order of the cabinet of Ministers of Ukraine of 14.10.2022 № 908-r].
3. Zakon Ukrainy «Pro rynek elektrychnoi enerhii» [Law of Ukraine «On the Electric Energy Market»]
4. Chomu v Ukraini slid rozvyvaty detsentralizovanu enerhetyku vzhe sohodni? Bryfinh Tsentru ekolohichnykh initsiatyv «Ekodiiia». [Why should Ukraine develop decentralized energy already today? Briefing of the Center for Environmental Initiatives «Ekodia»]. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2018/06/Brief-rozpodilena-generacia-s.pdf>.
5. Ofitsiinyi sait Ahentsii z okhorony dovkillia SShA. [Official website of U.S. Environmental Protection Agency]. URL: <https://www.epa.gov>.
6. Ofitsiinyi sait Ministerstva enerhetyky SShA. [Official website of U.S. Department of Energy]. URL: <https://www.energy.gov>.
7. Stein Zach. Distributed Generation (DG). Carbon Collective Corporation. URL: <https://www.carboncollective.co/sustainable-investing/distributed-generation-dg>
8. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy shchodo vidnovlennia ta «zelenoi» transformatsii enerhetychnoi systemy Ukrainy» [The Law of Ukraine «On Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding the Restoration and «Green» Transformation of the Energy System of Ukraine»]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3220-IX#Text>
9. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (recast).



О. В. ЦЯТКОВСЬКА

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри податкового менеджменту та фінансового моніторингу  
Київський національний економічний університет  
імені Вадима Гетьмана  
ORCID: 0000-0001-8825-9778

## ОСОБЛИВОСТІ ОБЛІКУ ПРОЦЕСУ НАДХОДЖЕННЯ НЕФІНАНСОВИХ АКТИВІВ ДЕРЖАВНИХ УСТАНОВ

*У статті досліджено особливості обліку процесу надходження як створених, так і нестворених нефінансових активів державних установ.*

*Систематизовано та узагальнено основні етапи процесу надходження нефінансових активів у державних установах. Оскільки процес надходження нефінансових активів в бюджетних установах включає в себе різні елементи, а саме визначення необхідності в об'єкті нефінансових активів, планування та оцінка витрат, процедуру закупівлі та належний облік та збереження отриманих активів, тому своєчасність, правильність та відповідна черговість відповідних етапів забезпечить ефективне управління нефінансовими активами та державними фінансами загалом.*

*Процес надходження нефінансових активів в державних установах має бути документально підтверджений та відображений на субрахунках бухгалтерського обліку, а також узагальнений у звітності.*

*Метою статті є дослідження теоретичних основ щодо процесу надходження та методологічних особливостей побудови обліку процесу надходження нефінансових активів державних установ відповідно до нормативно-правових документів та діяльності установ. Необхідним є узагальнення та систематизація документального супроводження безоплатно отриманих активів державною установою.*

*Систематизовано та узагальнено основні етапи процесу надходження нефінансових активів у державних установах. Оскільки процес надходження нефінансових активів в бюджетних установах включає в себе різні елементи, а саме визначення необхідності в об'єкті нефінансових активів, планування та оцінка витрат, процедуру закупівлі та належний облік та збереження отриманих активів, тому своєчасність, правильність та відповідна черговість відповідних етапів забезпечить ефективне управління нефінансовими активами та державними фінансами загалом. Крім того, запропоновано шляхи вирішення проблеми щодо документального підтвердження безоплатного надходження нефінансових активів, узагальнено особливості відображення на субрахунках бухгалтерського обліку інформації процесу надходження нефінансових активів та запропоновано алгоритм відображення на субрахунках бухгалтерського обліку витрат на поліпшення нестворених нефінансових активів.*

**Ключові слова:** створені нефінансові активи, нестворені нефінансові активи, бухгалтерський облік, державні установи, документування, процес надходження.

O. V. TSIAKOVSKA

Ph.D. (in Economics), Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Tax Management  
and Financial Monitoring  
Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman  
ORCID: 0000-0001-8825-9778

## FEATURES OF THE ACCOUNTING PROCESS OF RECEIPT OF NON-FINANCIAL ASSETS OF STATE INSTITUTIONS

*The article examines the peculiarities of accounting for the receipt of both created and uncreated non-financial assets of state institutions.*

*The main stages of the process of receipt of non-financial assets in state institutions are systematized and summarized. Since the process of receipt of non-financial assets in budget institutions includes various elements, namely, determining the need for non-financial assets in the object, planning and estimating costs, the procurement procedure and proper accounting and preservation of the received assets, therefore the timeliness, correctness and appropriate sequence of the relevant stages will ensure effective management of non-financial assets and public finances in general.*

*The process of receipt of non-financial assets in state institutions must be documented and reflected in accounting sub-accounts, as well as summarized in reporting.*

*The purpose of the article is to study the theoretical foundations of the receipt process and methodological features of the construction of accounting for the receipt process of non-financial assets of state institutions in accordance with regulatory and legal documents and the activities of institutions. It is necessary to generalize and systematize the documentary support of the assets received free of charge by the state institution.*

*The main stages of the process of receipt of non-financial assets in state institutions are systematized and summarized. Since the process of receipt of non-financial assets in budget institutions includes various elements, namely, determining the need for non-financial assets in the object, planning and estimating costs, the procurement procedure and proper accounting and preservation of the received assets, therefore the timeliness, correctness and appropriate sequence of the relevant stages will ensure effective management of non-financial assets and public finances in general. In addition, ways of solving the problem of documentary confirmation of free receipt of non-financial assets are proposed, the peculiarities of displaying information on the process of receipt of non-financial assets on accounting sub-accounts are summarized, and an algorithm for displaying expenses for improving uncreated non-financial assets on accounting sub-accounts is proposed.*

**Key words:** *created non-financial assets, non-created non-financial assets, accounting, government institutions, documentation, receipt process.*

### Постановка проблеми

Обліковий процес в державних установах має певні стадії, яким відповідають відповідні облікові технології. Одним із ключових елементів облікового процесу в державних установах є саме процес надходження нефінансових активів. Оскільки саме від належним чином організованого та реалізованого процесу надходження залежать наступні етапи облікового процесу. Особливості обліку процесу надходження нефінансових активів мають різні проблемні питання, оскільки надходження нефінансових активів до державної установи здійснюється різними шляхами.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зокрема проблемні питання щодо обліку, первісного визнання та оцінки саме необоротних активів такими провідними науковцями, як М. Т. Білуха, М.І. Бондар, Ф. Ф. Бутинець, Ю. А. Верига, З. В. Гуцайлук, З.-М. В. Задорожний, Г. Г. Кірейцев, Я. Д. Крупка, М. В. Кужельний, В. Г. Лінник, В. Б. Моссаковський, М. Ф. Огійчук, В. К. Орлова та ін. Результати досліджень науковців загалом формують необхідні умови для забезпечення й подальшого розвитку системи обліку необоротних активів, але не щодо проблемних питань обліку нефінансових активів.

Кондратюк І. О. та Лондаренко О. О. досліджували саме питання щодо придбання нефінансових активів в бюджетних установах [2], а Свірко С. В. – історичні традиції та сучасні тенденції щодо оцінки нефінансових активів у бюджетних установах [8], Черкашена Т. В. – класифікацію нефінансових активів у бюджетних установах [10].

Отже, питання обліку необоротних активів загалом досліджувалися достатньо у наукових доробках, крім того об'єктом дослідження були питання обліку, аналізу та аудиту необоротних активів саме у бюджетних установах. Але на сьогодні залишається невирішеними питання щодо обліку нефінансових активів в державних установах в умовах застосування НП(С)БОДС та вітчизняної бюджетної системи.

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Процес надходження нефінансових активів в державних установах має бути документально підтверджений та відображений на субрахунках бухгалтерського обліку, а також узагальнений у звітності. Оскільки надходження нефінансових активів може здійснюватися різними шляхами, тому є проблема щодо формування загальної системи обліку процесу надходження нефінансових активів відповідно до чинного законодавства та діяльності установ. Крім того необхідним є дослідження процесу надходження нефінансових активів та документальне супроводження безоплатно отриманих активів державною установою. Оскільки ці проблемні питання не мають єдиного підходу щодо формування облікової інформації у розпорядників бюджетних коштів.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження теоретичних основ щодо процесу надходження та методологічних особливостей побудови обліку процесу надходження нефінансових активів державних установ відповідно до нормативно-правових документів та діяльності установ. Необхідним є узагальнення та систематизація документального супроводження безоплатно отриманих активів державною установою.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Процес надходження нефінансових активів – це сукупність послідовних та взаємопов'язаних дій в державній установі, які спрямовані на спостереження, вимірювання, реєстрацію, систематизацію та групування інформації щодо надходження нефінансових активів.

Як встановлено в результаті дослідження до складу нефінансових активів належать як необоротні, так і оборотні активи. Але аналіз наукових досліджень показав, що саме порушення проблематики в наукових дослідженнях полягало у розрізі необоротних та оборотних активів.

Державні установи у процесі фінансово-господарської діяльності можуть отримувати у своє розпорядження та оперативне управління різні об'єкти нефінансових активів. Відповідно від процесу надходження залежить не тільки визнання та класифікація активів, але і оцінка та відображення на субрахунках бухгалтерського обліку.

Процес надходження нефінансових активів в державних установах може відрізнятися залежно від типу активу, способу надходження, джерела фінансування та державної установи. Але процес надходження нефінансових активів у результатів придбання скрадатиметься з таких елементів, які подано на рис. 1.



**Рис. 1. Основні елементи процесу придбання нефінансових активів в державних установах**

*Джерело: сформовано автором*

Отже, кожен елемент процесу придбання є важливою складовою при формуванні ефективної системи управління нефінансовими активами. Зокрема перед придбанням нефінансового активу бюджетна установа визначає потребу в конкретному нефінансовому активі, наприклад, обладнанні, транспорті, будівлях тощо, та має проводити оцінку своїх потреб у даному активі та визначає, чи є він необхідним для її роботи. І якщо бюджетна установа вирішує придбати нефінансовий актив, вона включає витрати на його придбання до свого кошторису на бюджетний період або вносить зміни до затвердженого кошторису.

Після того, як прийняте рішення про придбання нефінансового активу державна установа має розпочати процедуру публічних закупівель, де оприлюднюється вся тендерна документація та проект договору про закупівлю та інші документи [7]. Отже, державна установа здійснює процедуру закупівлі необхідного активу відповідно до законодавства про публічні закупівлі. Цей етап може включати проведення торгів, конкурсів або вибір з постачальників, які пройшли попередній відбір. За результатами процедури закупівлі відбувається визначення постачальника та укладення договору на придбання об'єкту нефінансових активів.

Після укладення договору та сплати відповідної суми грошей державна установа отримує нефінансовий актив і зобов'язана відобразити господарську операцію щодо оприбуткування отриманих нефінансових активів на субрахунках бухгалтерського обліку відповідно до положень про облікову політику та організацію бухгалтерського обліку з відповідними підтверджувальними документами.

Наступним етапом після отримання нефінансового активу бюджетна установа має розпочати експлуатацію у відповідності з призначенням активу та інструкціями виробника. І в результаті експлуатації можуть виникати додаткові витрати, які пов'язані з обслуговуванням та ремонтом нефінансових активів, які перебувають у її власності.

Коли нефінансовий актив втрачає свою функціональну цінність або вийшов з ладу і є непридатним до використання, то відповідно відбувається списання такого активу та зняття з обліку.

Всі ці кроки процесу надходження об'єктів нефінансових активів, які описано та узагальнено на рис. 2 відбуваються в рамках бюджетного процесу та здійснюються з дотриманням законодавства, внутрішніх правил бюджетної установи та економічної доцільності.

Досліджуючи взаємозв'язок управління державними фінансами країни та нефінансовими активами державної установи встановлено, що через фінансування бюджету та основних джерел покриття витрат на формування нефінансових активів.

Саме від виду процесу надходження нефінансових активів залежить порядок їх відображення в бухгалтерському обліку та процес формування первісної вартості. Отже важливим елементом в організації бухгалтерського обліку для визначення особливостей обліку процесу надходження нефінансових активів є саме спосіб надходження активів.

Усі витрати понесені при придбанні передбачені НП(С)БОДС 121 «Основні засоби» обліковуються за дебетом рахунка 13 «Капітальні інвестиції», після того, як всі необхідні витрати понесені та актив готовий до експлуатації, вся накопичена сума на рахунку 13 списується на рахунки класу 1 «Нефінансові активи» з відповідними субрахунками (рис. 2).

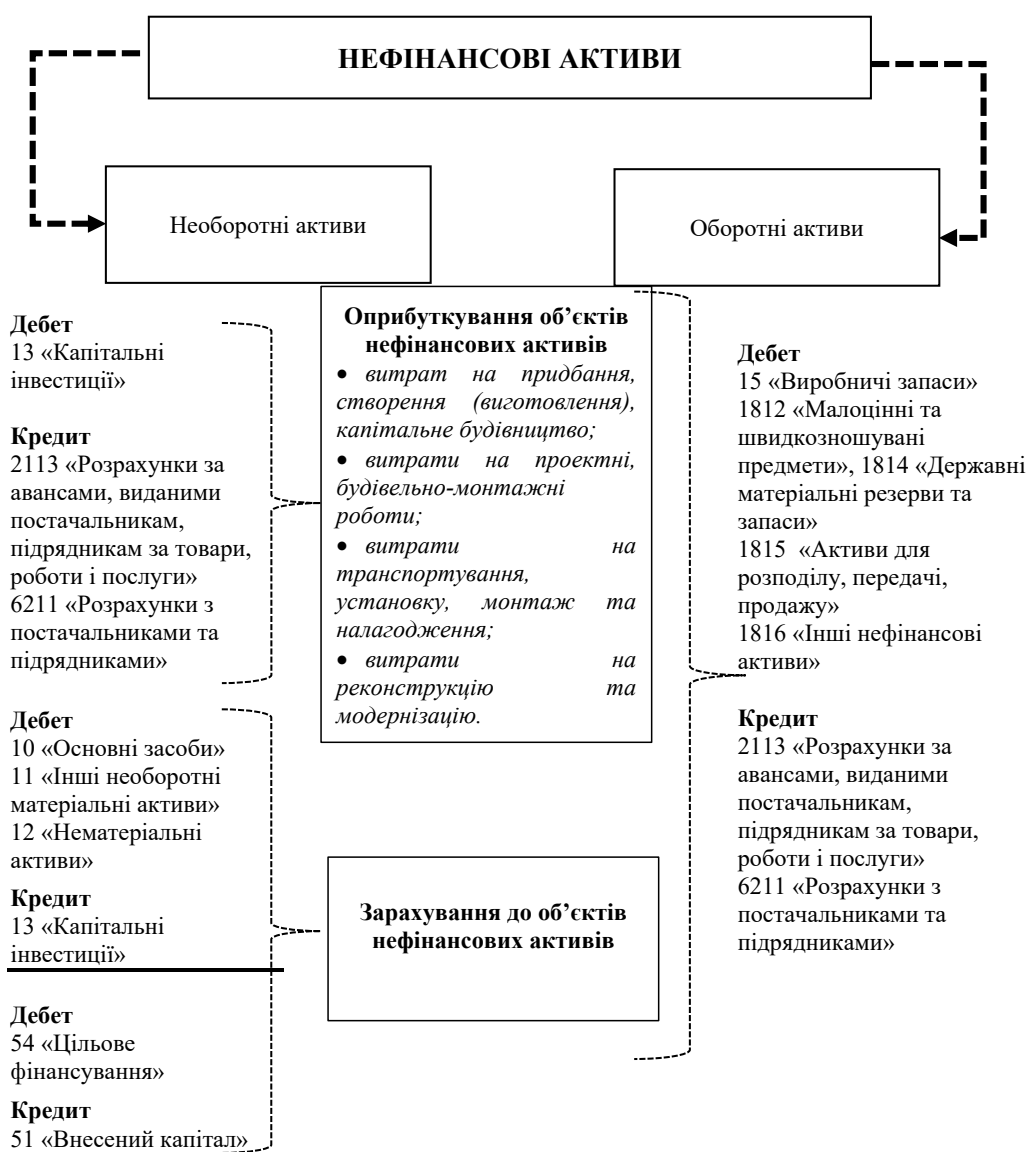


Рис. 2. Особливості відображення на рахунках бухгалтерського обліку інформації процесу надходження нефінансових активів

Джерело: сформовано автором

Саме від виду процесу надходження нефінансових активів залежить порядок їх відображення в бухгалтерському обліку та процес формування первісної вартості

Нефінансові активи можуть надходити до установи різними способами, але на сьогодні залишаються проблемними деякі особливості відображення на рахунках бухгалтерського обліку інформації щодо безоплатно отриманих нефінансових активів та їх документальне оформлення.

З урахуванням реалій діяльності державних установ з року в рік стає актуальним саме питання обліку надходження нефінансових активів безоплатно. Саме від того хто передає безоплатно до установ державного сектору нефінансові активи і залежить процес обліку надходження активів. В цьому питанні є певні проблеми щодо документального оформлення та облікового відображення на субрахунках бухгалтерського обліку. Державні установи зобов'язані дотримуватися норм Бюджетного кодексу України та Порядку отримання благодійних (добровільних) внесків бюджетними установами, а також дані бюджетного планування, які узагальнені у кошторисі державної установи [6].

Всі господарські операції в державних установах для їх відображення на субрахунках бухгалтерського обліку обов'язково мають бути документально підтвердженими. Саме тому документальне супроводження господарських операцій має важливе значення під час обліку процесу надходження нефінансових активів. Саме тому у табл. 1 узагальнено та систематизовано документальне супроводження безоплатно отриманих активів державною установою.

Таблиця 1

### Документальне оформлення безоплатно отриманих основних засобів

№ п/п	Спосіб надходження	Документальне оформлення
1	Безоплатно отриманий основний засіб	Договір дарування, який оформляється при отриманні дарунків від суб'єктів господарювання приватного сектору. Якщо ж дарунок надходить від інших бюджетних установ, то має бути рішення вищого розпорядника бюджетних коштів, керівника іншої бюджетної установи.
		Акт приймання-передачі основних засобів, форма якого затверджена наказом Мінфіну від 13.09.2016 р. № 818. Відповідний акт складає комісія державної установи, яка приймає основний засіб чи їх набір.
		Довідка про надходження у натуральній формі (додаток 26 до Порядку казначейського обслуговування місцевих бюджетів (наказ Мінфіну від 23.08.2012 р. № 938) або додаток 37 до Порядку казначейського обслуговування державного бюджету за витратами (наказ Мінфіну від 24.12.2012 р. № 1407)).
		Довідка про зміни до кошторису. Вона складається у довільній формі та містить розрахунки первісної вартості дарованого основного засобу та їх обґрунтування. Ця довідка потрібна, тому що за вимогою п. 4 Порядку № 1222 потрібно внести зміни до спецфонду кошторису установи за напрямками видатків.
		Акт приймання-передачі основних засобів за формою з постанови Кабміну від 21.09.1998 р. № 1482.

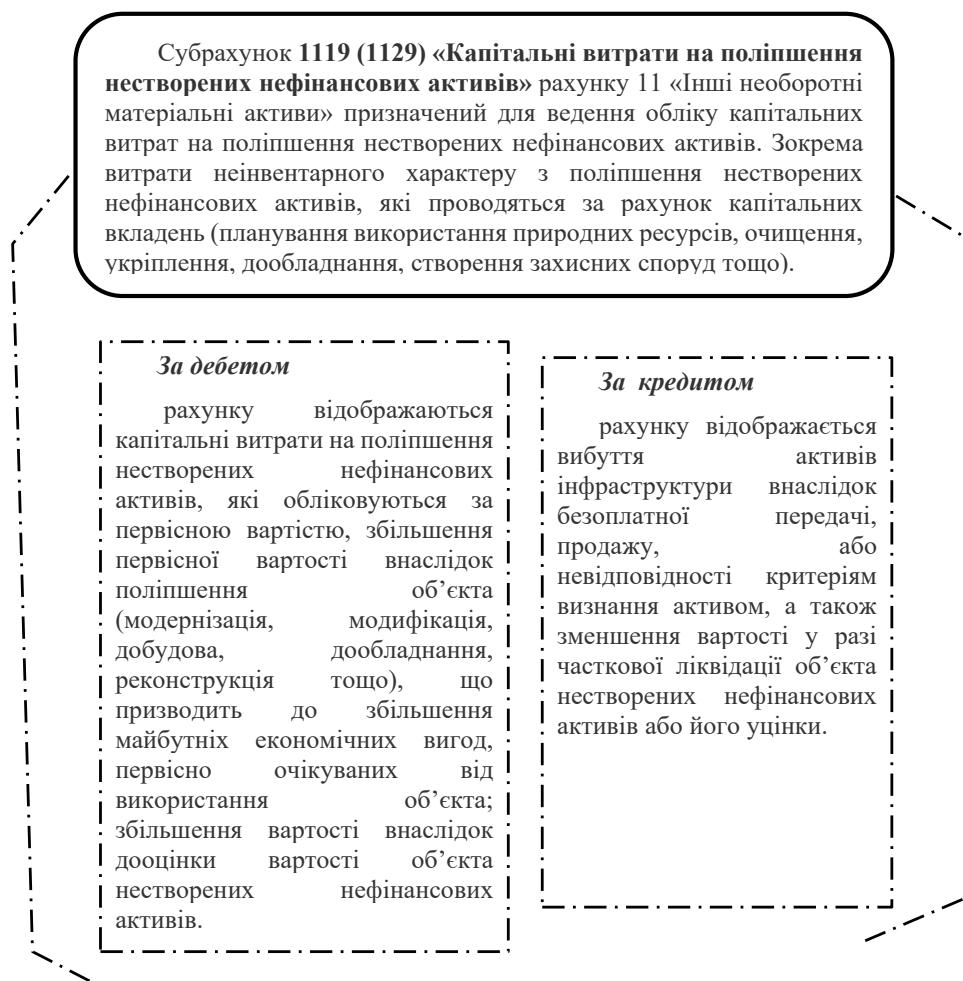
*Джерело: узагальнено та сформовано автором*

Іншою проблемою на сьогодні є відображення на субрахунках бухгалтерського обліку та оцінки витрат на поліпшення нестворених нефінансових активів як окремого об'єкту обліку, або як витрати на поліпшення нестворених нефінансових активів.

Оскільки нестворені нефінансові активи державних установ – це ресурси, які контролюються державними установами у результаті минулих подій, створення яких не пов'язано з процесом виробництва та здійснення капітальних інвестицій на них, а також, які приносять економічну вигоду у результаті володіння на правах оперативного управління або використання їх протягом певного періоду. До складу нестворених нефінансових активів можна віднести такі активи, як надра, водні ресурси, природні копалини, некультивовані біологічні активи, контракти, договори оренди, ліцензії, набутий гудвіл, маркетингові активи та інші нестворені нефінансові активи [9, с. 44].

Саме тому один із способів щодо відображення витрат на поліпшення нестворених нефінансових активів може бути накопичення всіх витрат на окремому субрахунку, як капітальні витрати на поліпшення нестворених нефінансових активів. Зокрема до таких витрат, які будуть капіталізуватися можна віднести такі витрати, як планування використання природних ресурсів, очищення, укріплення, дообладнання, створення захисних споруд тощо.

Перевагою такого способу відображення в обліку витрат на поліпшення нестворених нефінансових активів є те, що переважна більшість нестворених нефінансових активів оцінюються за умовною вартістю і відповідно збільшувати первісну вартість нефінансових активів буде не доречно. Для вирішення даного питання необхідно внести зміни до Плану рахунків і доповнити субрахунком 1119 (1129) «Капітальні витрати на поліпшення нестворених нефінансових активів» і на рис. 3 подано за допомогою структурно-логічної схеми порядку застосування субрахунку бухгалтерського обліку 1119 (1129) «Витрати на поліпшення нестворених нефінансових активів».



**Рис. 3. Структурно-логічна схема порядку застосування субрахунку бухгалтерського обліку 1119 (1129) «Витрати на поліпшення нестворених нефінансових активів»**

Джерело: сформовано автором

### Висновки

Систематизовано та узагальнено основні етапи та елементи процесу надходження нефінансових активів у державних установах. Оскільки процес надходження нефінансових активів в бюджетних установах включає в себе різні елементи, а саме визначення необхідності в об'єкті нефінансових активів, планування та оцінка витрат, процедуру закупівлі та належний облік та збереження отриманих активів, тому своєчасність, правильність та відповідна черговість відповідних етапів забезпечить ефективне управління нефінансовими активами та державними фінансами загалом. Систематизовано особливості відображення на субрахунках бухгалтерського обліку інформації щодо процесу надходження нефінансових активів відповідно до чинного законодавства, а також запропоновано вдосконалення цього алгоритму через накопичення інформації щодо поліпшення нестворених нефінансових активів на окремому субрахунку, що забезпечить формування актуальної та достовірної інформації щодо нестворених нефінансових активів та всіх витрати, які здійснюються на їх поліпшення з метою забезпечення формування ефективних управлінських рішень.

### Список використаної літератури

1. Бондар М.І. Оцінка та оцінювання в бухгалтерському обліку. *Фінанси, облік і аудит. Збірник наукових праць*. 2009. Вип. 13. С. 175.
2. Кондратюк І.О., Лондаренко О.О. Облік витрат на придбання нефінансових активів бюджетних установ: управлінський аспект. *Фінанси, облік і аудит*. 2015. Вип. 1. С. 210–230. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Foa\\_2015\\_1\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Foa_2015_1_18).
3. Національне положення (стандарт) бухгалтерського обліку в державному секторі 101 «Подання фінансової звітності»: Наказ Міністерства фінансів України від 24.12.2010 № 1629. Дата оновлення 01.01.2015. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0095-11#Text> (дата звернення 05.09.2023)

4. Національне положення (стандарт) бухгалтерського обліку в державному секторі 121 «Основні засоби»: Наказ Міністерства фінансів України від 12.10.2010 № 1202. Дата оновлення 01.01.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1017-10#Text> (дата звернення 05.09.2023)

5. Про затвердження Плану рахунків бухгалтерського обліку в державному секторі: затв. наказом Міністерства фінансів України від 31.12.2013 р. № 1203. Дата оновлення 21.01.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення 05.09.2023).

6. Про затвердження Порядку отримання благодійних (добровільних) внесків і пожертв від юридичних та фізичних осіб бюджетними установами і закладами освіти, охорони здоров'я, соціального захисту, культури, науки, спорту та фізичного виховання для потреб їх фінансування: Постанова КМУ № 1222 від 04.08.00 зі змінами і доповненнями. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1222-2000-%D0%BF#Text>

7. Про публічні закупівлі. Закон України від 25.12.2015 № 922-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19#Text> (дата звернення 07.08.2023)

8. Свірко С.В. Розвиток оцінки нефінансових активів у бюджетних установах: історичні традиції та сучасні тенденції. *Незалежний аудитор*. 2013. № 5. С. 23–34. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Na\\_2013\\_5\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Na_2013_5_6).

9. Цятковська О. Облік нефінансових активів в управлінні суб'єктами державного сектору. *Інститут бухгалтерського обліку, контроль та аналіз в умовах глобалізації*. 2021. Випуск 3–4. С. 40–47.

10. Черкашина Т. В. Нефінансові активи: оцінка і класифікація у державному секторі. *Причорноморські економічні студії*. 2017. Вип. 23. С. 201–206. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses\\_2017\\_23\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2017_23_39).

### References

1. Bondar M.I. (2009) Otsinka ta otsiniuvannia v bukhgalterskomu oblik [Assessment and evaluation in accounting]. *Finansy, oblik i audyt. Zbirnyk naukovykh prats*. Vyp. 13. P. 175. [in Ukraine].

2. Kondratjuk I.O. & Londarenko O.O. (2015). Oblik vytrat na prydbannja nefinansovykh aktyviv bjudzhetnykh ustanov: upravlins'kyj aspekt [Accounting for the acquisition of non-financial assets of budgetary institutions: management aspect]. *Finansy, oblik i audit [Finance, accounting and auditing]*, 1. 210–230. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Foa\\_2015\\_1\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Foa_2015_1_18). [in Ukrainian].

3. Nakaz Ministerstva finansiv Ukrainy Pro Nacionaljne polozhennja (standart) bukhgalters'kogho obliku v derzhavnomu sektori 101 «Podannja finansovoji zvitnosti» vid 24.12.2010 № 1629 Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0095-11#Text>. [in Ukrainian].

4. Nakaz Ministerstva finansiv Ukrainy Pro Nacionaljne polozhennja (standart) bukhgalters'kogho obliku v derzhavnomu sektori 121 «Osnovni zasoby» vid 12.10.2010 № 1202 Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1017-10#Text>. [in Ukrainian].

5. Nakaz Ministerstva finansiv Ukrainy Pro zatverdzhennja Planu rakhunkiv bukhgalters'kogho obliku v derzhavnomu sektori vid 31.12. 2013 r. № 1203 Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua>. [in Ukrainian].

6. Pro zatverdzhennja Porjadku otrymannja blaghotodijnykh (dobrovilnykh) vneskiv i pozhertv vid jurydychnykh ta fizychnykh osib bjudzhetnymy ustanovamy i zakladamy osvity, okhorony zdorov'ja, social'nogho zakhystu, kul'tury, nauky, sportu ta fizychnogho vykhovannja dlja potreb jikh finansuvannja [On approval of the Procedure for receiving charitable (voluntary) contributions and donations from legal entities and individuals by budgetary institutions and institutions of education, health care, social protection, culture, science, sports and physical education for the needs of their financing]: Postanova KМУ № 1222 vid 04.08.00 zi zminamy i dopovnennjamy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1222-2000-%D0%BF#Text>. [in Ukrainian].

7. The Law of Ukraine On Public Procurement (2015) dated 25.12.2015, № 922-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19#Text> (accessed 07 August 2023).

8. Svirko S. V. (2013). Rozvytok ocinky nefinansovykh aktyviv u bjudzhetnykh ustanovakh: istorychni tradyciji ta suchasni tendenciji [Development of valuation of non-financial assets in budgetary institutions: historical traditions and modern trends] *Nezalezhnyj audytor [Independent auditor]*, 5. 23–34. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Na\\_2013\\_5\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Na_2013_5_6). [in Ukrainian].

9. Cjatkovs'ka O. (2021) Oblik nefinansovykh aktyviv v upravlinni sub'jektamy derzhavnogho sektoru [Accounting of non-financial assets in the management of public sector entities]. *Instytut bukhgalters'kogho obliku, kontrolj ta analiz v umovakh globalizaciji*. Vypusk 3–4. 3. 40–47. [in Ukrainian].

10. Cherkashyna T. V. (2017). Nefinansovi aktyvy: ocinka i klasyfikacija u derzhavnomu sektori [Nonfinancial assets: valuation and classification in the public sector]. *Prychornomors'ki ekonomichni studiji*. 2017. Vyp. 23. p. 201–206. Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses\\_2017\\_23\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2017_23_39). [in Ukrainian].

## ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 351.14

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.38>

М. П. БЕГАН

аспірант кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-2471-9100МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ  
НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ

У статті визначено особливості формування системи продовольчої безпеки на місцевому рівні в Україні. Досліджено продовольчу безпеку України в умовах воєнного стану. Розкрито механізми забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні в Україні. Мета статті полягає у визначенні механізмів забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні, а також особливості формування системи продовольчої безпеки на місцевому рівні. Система продовольчої системи являє собою множинну елементів, які певним чином впорядковані, взаємопов'язані та взаємодіють між собою, складаючи цілісність. В сучасних умовах в Україні ці процеси вимагають врахування низки ризиків і загроз, пов'язаних з наслідками повномасштабного російського вторгнення. Визначені вітчизняні особливості формування системи забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні в сучасних умовах. Механізм забезпечення продовольчої безпеки – це система організаційно-економічних, нормативно-правових, інформаційних та фінансових заходів із запобігання загрозам, що охоплює такі елементи: об'єктивний і всебічний моніторинг економіки й суспільства з метою виявлення та прогнозування внутрішніх і зовнішніх загроз у сфері продовольчого забезпечення; діяльність щодо виявлення та запобігання внутрішнім і зовнішнім загрозам у сфері продовольчого забезпечення; створення нормативно-правової бази у сфері безпеки аграрної сфери; кредитування і підтримка національного виробника продуктів харчування і його конкурентоспроможності; надійний захист здоров'я споживачів харчових продуктів; збалансованість продовольчих продуктів для різних вікових та професійних груп населення. До складових елементів комплексного механізму забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні доцільно віднести: нормативно-правовий, організаційно-економічний, інформаційний та фінансовий механізми. Визначені типові проблеми щодо забезпечення продовольством мешканців територіальних громад та створення продовольчого фонду для реалізації продовольчої продукції за їх межі.

**Ключові слова:** продовольча безпека, механізми забезпечення продовольчої безпеки, місцевий рівень продовольчої безпеки, механізми забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні.

М. П. БЕГАН

Postgraduate Student at the Department of Public Administration  
and Local Self-Government  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-2471-9100

## MECHANISMS FOR ENSURING FOOD SECURITY AT THE LOCAL LEVEL

The article defines the peculiarities of the formation of the food security system at the local level in Ukraine. The food security of Ukraine under martial law was studied. The mechanisms for ensuring food security at the local level in Ukraine have been revealed. The purpose of the article is to determine the mechanisms for ensuring food security at the local level in Ukraine, as well as the peculiarities of the formation of the food security system at the local level. The system of the food system is a set of elements that are ordered in a certain way, interconnected and interact with each other, forming a whole. In modern conditions in Ukraine, these processes require taking into account a number of risks and threats associated with the consequences of a full-scale Russian invasion. The domestic features of the formation of the food security system at the local level in modern conditions are determined. The mechanism for ensuring food security is a system of organizational, economic, regulatory, information and financial measures to prevent threats, which includes the following elements: objective and comprehensive monitoring of the economy and society in order to identify and forecast internal and external threats in the field of food security; activities related to detection and prevention of internal and external threats in the field of food supply; creation of a legal framework in the field of agricultural safety; crediting and support of the national food producer and its competitiveness; reliable protection of the health of food consumers; balanced food products for different age and professional population groups. The constituent elements of a complex mechanism for ensuring food security at the local level should include: normative-legal, organizational-economic, information and financial mechanisms. Typical problems related to the provision of food to residents of territorial communities and the creation of a food fund for the sale of food products outside their borders have been identified.

**Key words:** food security, mechanisms for ensuring food security, local level of food security, mechanisms for ensuring food security at the local level.



### Постановка проблеми

З початком повномасштабної війни, з-поміж інших загроз і небезпек, перед Україною, чи не вперше з часів незалежності, постало питання продовольчої безпеки з акцентом не на «продовольча», а на ключовому слові – «безпека». Забезпечення українців найнеобхіднішими харчовими продуктами та водою в зоні воєнних дій, на окупованих територіях, у територіальних громадах, що стали транзитом для сотень біженців, тоді як російські загарбники руйнують продовольчі підприємства, знищують та забруднюють родючий чорнозем обстрілами й мінуваннями, випалюють ферми та сади, – завдання не з простих. Водночас, не слід забувати, що економіка держави напряму залежить від ефективності місцевого економічного розвитку та податкових надходжень на місцях. Саме тому особливо важливе значення для гарантування продовольчої безпеки держави має розвиток громад та локального бізнесу. Більше того, місцевий економічний розвиток може стати ключем до продовольчої безпеки в умовах війни.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Більшість науковців розглядали продовольчу безпеку як складову забезпечення національної безпеки, не враховуючи той факт, що виробництво та реалізація продовольства можлива тільки при успішному та безпечному веденні сільського господарства у будь-якій країні. Дослідженню фундаментальних основ формування продовольчої безпеки присвячено праці багатьох відомих вчених, серед яких А. Бабенко, М. Бабич, О. Гойчук, В. Залізнюк, А. Мостова, І. Румик, О. Сидоренко та ін. Водночас, незважаючи на значний науковий доробок із зазначеної проблематики, питання визначення ключових механізмів забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні потребує додаткового вивчення.

### Формулювання мети дослідження

Мета статті полягає у визначенні механізмів та формування системи забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні в Україні.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Найсуттєвіші соціальні катаклізми, притаманні кожному етапу розвитку людства історично пов'язують саме з голодом. Як зазначає Ю. Хараровський, «історичні корені формування поняття «продовольча безпека» безпосередньо пов'язані із сприйняттям нашими предками голоду як фізіологічного явища, що пов'язано із відсутністю необхідних продуктів для підтримання життєздатності організму на належному рівні» [11].

Так, французький історик І. Бродель стверджував, що «протягом багатьох віків голод повертався з такою настирливістю, що став елементом біологічного режиму людей, однією зі структур їхнього буденного життя» [1]. Дійсно, у XIX ст. через неврожай картоплі Європа періодично зазнавала суттєвих втрати людських ресурсів. Значний вплив голоду на соціальні процеси у переважній більшості країн зберігся і в XX ст., прикладом цього можуть слугувати катастрофічні людські втрати України в 30-х роках.

Суттєво вплинула на продовольче забезпечення громадян у більшості європейських країнах друга світова війна. Це стало поштовхом для консолідації зусиль їхніх урядів з метою вдосконалення механізмів систематичного і безперервного постачання продуктів харчування споживачам, зокрема і за рахунок активізації міжнародної торгівлі та інтенсифікації розвитку сільського господарства.

У 1943 р. у США пройшла конференція присвячена питанням сільського господарства і продовольства, де розглядалися можливості досягнення «свободи від потреби» у сфері сільського господарства і продовольства, в якій взяла участь представники 44 держав. В ході конференції було сформульовано уявлення про «свободу від потреби» як про «надійне, належне та відповідне забезпечення будь-якого чоловіка, жінки та дитини продовольством» [6]. У цьому контексті під словом «надійне» мається на увазі наявність стійкого та постійного доступу до продовольства, «належне» визначається кількісною достатністю, а «відповідне» – належну калорійність продуктів харчування. Таким чином, на конференції 1943 р. були визначені засади комплексного підходу до визначення та оцінки продовольчої безпеки шляхом виділення її складових. Враховуючи викладене, в структуру категорії «свобода від потреби» було включено ряд елементів продовольчої безпеки, а саме: наявність продовольства, його якісні та споживчі характеристики, а також стабільність постачання продовольством [6].

У 50–60-х роках минулого століття більшість країн орієнтувалися на забезпечення власної продовольчої незалежності шляхом збільшення виробництва сільськогосподарської продукції, насамперед пшениці та рису. Отже, продовольча безпека асоціювалася із досягненням виробництва необхідного обсягу продуктів харчування та мінімізацією залежності від її експорту.

Водночас, ідея досягнення «свободи від потреби через боротьбу з бідністю у світі» поступово випадає з реального порядку денного осіб, уповноважених на прийняття політичних та управлінських рішень. На практиці була надана перевага альтернативі вищезгаданої концепції: позбавлення населення світу потреби – не шляхом боротьби з бідністю і повсюдним розвитком економіки та створенням належної кількості робочих місць, а через надання прямої продовольчої допомоги нужденним з боку розвинених країн (нехай і більш адресної) [6].

Ситуація зазнала суттєвих змін вже у 70-х роках XX століття, коли внаслідок різких змін об'ємів вирощування зернових культур відбулося різке зростання цін на світовому ринку, внаслідок чого значну частину населення була позбавлена можливості придбавати необхідні продукти харчування.

Зазначене стало поштовхом для організації Світової продовольчої конференції у Римі за участі представників 134 країн світу. За результатами конференції було визначено одне з перших офіційних формулювань поняття «продовольча безпека» як «наявність у будь-який час необхідних світових продовольчих запасів основних продуктів харчування, достатніх для підтримки стійкого та розширеного споживання, і для компенсації коливань обсягів виробництва та цін» [7].

У науковій роботі лауреата Нобелівської премії А. Сена, де автором було акцентовано увагу на важливості вирішення проблем забезпечення продовольчої безпеки не лише на національному рівні, але й із приділенням уваги рівню окремих осіб та домогосподарств, було здійснено уточнення трактування цього поняття. Науковець наполягав на необхідності врахування інтересів потенційно вразливих категорій населення, які не можуть самостійно забезпечити необхідний рівень продовольчої безпеки.

Всесвітня рада з продовольства при ООН розглядає національну продовольчу безпеку як «політику, що дозволяє країні досягнути найбільш високого рівня самозабезпечення продовольством, як результат інтегрованих зусиль із збільшення виробництва необхідних продуктів, покращання систем постачання, споживання продовольства, ліквідації недоїдання і голоду» [7].

Система продовольчої системи являє собою множину елементів, які певним чином впорядковані, взаємопов'язані та взаємодіють між собою, складаючи цілісність.

Ми погоджуємося з думкою О. Гойчук, яка полягає в тому, що «концептуально формування системи продовольчої безпеки може бути представлено у вигляді логічної моделі, де виділяють наступні підсистеми: забезпечення, функціональна, цільова, контролююча і регулююча» [3].

«Функціональна підсистема – охоплює виробництво продовольства, формування і розподіл продовольчих ресурсів. Цільова підсистема реалізує головну ціль продовольчої безпеки споживання продуктів харчування. Продовольча система пов'язана із підсистемами фінансового, матеріально-технічного, інформаційного, кадрового та наукового забезпечення. Підсистема управління охоплює як ринкові механізми регулювання, так і заходи державного управління, які коригують дію ринкових регуляторів відповідно до стану і згідно з показниками контролюючої підсистеми» [3].

Виконання завдання формування системи забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні передбачає комплексний підхід та акумуляцію зусиль держави та органу місцевого самоврядування у кожній конкретній територіальній громаді.

Крім того, система забезпечення продовольчої безпеки кожної територіальної громади має відповідати змісту її програми соціально-економічного розвитку та мати на меті підвищення рівня і якості життя мешканців громади.

Суб'єктами формування системи забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні є:

- органи місцевого самоврядування;
- виробники, експортери та імпортери продовольчої продукції;
- асоціації споживачів;
- ЗМІ;
- організації громадянського суспільства в територіальних громадах та ін.

Підкреслимо, що в сучасних умовах в Україні ці процеси вимагають врахування низки ризиків і загроз, пов'язаних з наслідками повномасштабного російського вторгнення.

Водночас, не слід забувати, що їх актуальність і гострота достатньо диференційована і великою мірою залежить від того, до якого типу належить та чи інша територіальна громада: громади, які перебувають на лінії фронту, громади, на території яких велися активні бойові дії, деокуповані громади, громади, які знаходилися поза зоною бойових дій.

Суттєвим фактором, який впливає на потенціал розвитку громади є також віддаленість від зони бойових дій, яка визначає масштаби втрат населення, у тому числі через евакуацію, та кількість внутрішньо переміщених осіб в громадах.

Варто зауважити, що значна частина проблем, пов'язаних із забезпеченням продовольчої безпеки на місцевому рівні, були актуальними ще до війни.

Зокрема, на думку експертів, основними причинами складнощів з організацією виробництва та переробки харчової продукції в територіальних громадах були:

- диспаритет цін на сільськогосподарську продукцію в порівнянні з промисловою;
- неповнота розпочатих інституційних реформ;
- недостатній розвиток ринкової інфраструктури (фінансово-кредитного механізму, організованих оптових ринків, системи страхування тощо);
- малоефективна підтримка нерентабельних господарств, відсутність реального діючого механізму банкрутства сільськогосподарств;
- протиріччя між державними та місцевими підходами щодо здійснення реформ;

– проблемні аспекти у питаннях утримання соціальної інфраструктури в сільській місцевості [8].

Повномасштабна війна в Україні вимагає врахування ще низки факторів.

Так, на рівні національної економіки спостерігається:

– 30% падіння реального ВВП за підсумками 2022 року;

– проблема падіння виробництва;

– вкрай ускладненим, зважаючи на воєнні ризики, вилучення трудових ресурсів до лав ЗСУ, енергетичного терору, логістичних проблем, є інвестиційний розвиток України;

– внаслідок звуження податкової економічної бази та зростання потреб у видатках відбувається розбалансування сфер державних та місцевих фінансів;

– за підсумками 2022 року середня реальна заробітна плата скоротилася на 17%, безробіття зросло втричі (до 28% від робочої сили), а реальні споживчі витрати населення впали на 20% [4].

Складна ситуація і у громадах:

– за період війни росія зруйнувала тисячі об'єктів інфраструктури (руйнування тривають й досі, тому їх точну кількість не можливо оцінити на сучасному етапі), в тому числі тих, які є дуже важливими для відновлення громад;

– негативний вплив на розвиток громад, навіть достатньо віддалених від лінії фронту, чинять постійні обстріли цивільної, транспортної та логістичної інфраструктури;

– близько 13-ти мільйонів осіб були змушені покинути свої домівки, з них майже 8 мільйонів – виїхали за межі України [5];

– відтік бізнесу і громадян працездатного віку призвів до того, що громади в середньому стали ще «старішими», таким чином зросли потреби у соціальній підтримці.

Таким чином, до вітчизняних особливостей формування системи забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні в сучасних умовах доцільно віднести:

– наявність складнощів з організацією виробництва та переробки харчової продукції в територіальних громадах, які виникли ще до війни, щодо: диспаритету цін на сільськогосподарську продукцію в порівнянні з промисловою, неповноти розпочатих інституційних реформ, недостатнього розвитку ринкової інфраструктури, малоефективної підтримки нерентабельних господарств, відсутності реального діючого механізму банкрутства сільськогосподарських підприємств, протиріччя між державними та місцевими підходами щодо здійснення реформ, проблемних аспектів у питаннях утримання соціальної інфраструктури в сільській місцевості;

– негативні тенденції розвитку національної економіки, а саме: 30% падіння реального ВВП за підсумками 2022 року; падіння виробництва, значні труднощі інвестиційного розвитку, розбалансування сфер державних та місцевих фінансів, скорочення у 2022 році реальної заробітної плати на 17%, зростання безробіття до 28% від робочої сили, падіння реальних споживчих витрат населення на 20%;

– складнощі розвитку громад, пов'язані з наслідками військової агресії, в частині: триваючого руйнування інфраструктурних об'єктів, загроз обстрілів цивільної, транспортної та логістичної інфраструктури, відтоку бізнесу і громадян працездатного віку, що призвів до «старіння» і зростання соціального навантаження.

Одним із ключових питань в теорії продовольчої безпеки є питання щодо механізмів її забезпечення. Як основу механізму забезпечення продовольчої безпеки слід розглядати сукупність об'єктивних залежностей і зв'язків між явищами та процесами економічного життя в їхньому саморозвитку, у динаміці. Механізм забезпечення безпеки здатний змінюватися, мати адаптивний характер, тобто адекватно відображати зміни у виробничих взаєминах та продуктивних силах суспільства.

Механізм забезпечення продовольчої безпеки – це система організаційно-економічних, нормативно-правових, інформаційних та фінансових заходів із запобігання загрозам, що охоплює такі елементи: об'єктивний і всебічний моніторинг економіки й суспільства з метою виявлення та прогнозування внутрішніх і зовнішніх загроз у сфері продовольчого забезпечення; діяльність щодо виявлення та запобігання внутрішнім і зовнішнім загрозам у сфері продовольчого забезпечення; створення нормативно-правової бази у сфері безпеки аграрної сфери; кредитування і підтримка національного виробника продуктів харчування і його конкурентоспроможності; надійний захист здоров'я споживачів харчових продуктів; збалансованість продовольчих продуктів для різних вікових та професійних груп населення.

До складових елементів комплексного механізму забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні доцільно віднести: нормативно-правовий, організаційно-економічний, інформаційний та фінансовий механізми (рис. 1).

Так, нормативно-правовий механізм забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні може включати:

– запровадження екологічних норм для стимулювання виробництва продуктів харчування;

– визначення концептуальних засад місцевої політики у сфері забезпечення продовольчої безпеки тощо.

Ми розділяємо позицію стосовно того, що, на сучасному етапі, основою організаційно-економічного механізму забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні є затвердження в територіальних громадах програм продовольчої безпеки на середньострокову перспективу.



**Рис. 1. Структура комплексного механізму забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні**

Зазначена програма має включати в себе низку питань, що відносяться до компетенції органів місцевого самоврядування. Мова йде, насамперед, про належний рівень забезпечення продуктами харчування, доступність питної води та безпечність наявних продуктів харчування. Досягнення зазначених цілей має розглядатися в комплексі з конкретними кроками, які дозволять досягнути поставлених завдань з розвитку продовольчої безпеки.

Початок роботи над програмою передбачає з'ясування реальної ситуації, визначення наявних проблем і варіантів їх вирішення. Важливо залучати до цього процесу широке експертне коло, а також представників громадянського суспільства, як з числа мешканців громади, так і переселенців. Загалом, стейкхолдером цієї програми є кожне домогосподарство.

Загалом, типовими проблемами щодо забезпечення продовольством мешканців територіальних громад та створення продовольчого фонду для реалізації продовольчої продукції за їх межі є:

- недостатня кількість окремих видів основних харчових продуктів, що виробляються у громаді для мінімізації ризиків їх постачання у громаду у воєнний та повоєнний період;
- недостатня обізнаність та психологічна неготовність більшості населення щодо самозабезпечення харчовими продуктами, сподівання на гарантоване постачання у торговельних мережах;
- не використання усіх земельних ресурсів, які можуть бути використаними для вирощування необхідних продуктів;
- використання індивідуальними домогосподарствами маловрожайних та схильних до хвороб сортів овочів;
- брак відповідної с/г техніки та паливно-мастильних матеріалів, зокрема для обробітку земель комунальної власності;
- відсутність традицій та обладнання для переробки/збереження готової продукції комунальними підприємствами та індивідуальними домогосподарствами;
- відсутність практичного досвіду та спроможності у сфері реалізації надлишків сільськогосподарської продукції, невпорядкованість заготівельно-збутової діяльності тощо [10].

Крім того, програма має передбачати:

- оцінку ризиків продовольчої безпеки територіальної громади;
- оцінка потреб громади у питній воді та продуктах харчування;

- пошук місцевого потенціалу для забезпечення цих потреб шляхом інвентаризацію ресурсів та можливостей забезпечити вирощення, збір, переробку та зберігання на території громади продуктів харчування;
- розробка плану дій для забезпечення харчовими продуктами;
- залучення ресурсів та втілення розробленого плану.

Перспективними напрямками реалізації програми можуть стати також:

- аудит активів громади;
- залучення комунальних підприємств, закладів освіти територіальної громади з метою вишукування резервів посівних площ для вирощування усіх необхідних видів продуктів харчування;
- покращення координації та чіткого планування проведення польових робіт; активізацію всієї територіальної громади, включаючи залучення внутрішньо переміщених осіб;
- будівництво, відновлення або розширення підприємств, які здійснюють вирощування, переробку та виробництво сільськогосподарської продукції;
- покращення координації та чіткого планування проведення польових робіт;
- придбання та розподіл необхідних матеріалів, техніки, інвентаря, обладнання для вирощування, збереження та переробки виробленої продукції;
- пошук шляхів виробництва органо-мінеральних добрив на основі перероблених поживних речовин;
- можливість постачання продукції сільськогосподарського виробництва в мережі роздрібною торгівлі та до кінцевого споживача для врегулювання платоспроможного попиту на продукти харчування для мешканців громади;
- надання допомоги по облаштуванню пасовищ, придбання насіння, добрив чи палива для домогосподарств;
- співфінансування створення переробних потужностей, які стосуватимуться заморозки ягід, переробки молока;
- створення фермерських ринків;
- започаткування нових видів сільськогосподарської діяльності у громадах;
- розвиток органічного сільського господарства;
- започаткування програм міжмуніципального співробітництва у сфері продовольчої безпеки;
- трансформація домогосподарств у підприємницькі ініціативи в агросфері тощо.

Зазначимо, що наявність програми продовольчої безпеки у територіальній громаді дає розуміння реального стану продовольчої безпеки в громаді, завдяки чому органи місцевого самоврядування отримують можливість ефективніше планувати фінансові витрати, зважаючи на наявні та майбутні потреби. Крім того, у разі звернення за зовнішньою допомогою (міжнародні гранти, проекти, гуманітарна та благодійна допомога) представники громади завжди матимуть чіткий перелік реальний потреб [2].

Інформаційний механізм забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні може передбачати:

- проведення в громаді масштабної інформаційно-просвітницької кампанії з питань продовольчої безпеки;
- консультаційну підтримку населення з питань переробки, збереження, реалізації продуктів харчування;
- надання інформації про гранти;
- інформаційно-комунікаційні заходи, направлені на формування культури виробництва і споживання продуктів харчування тощо.

Слід зауважити, що, як зазначає Т. Савченко, «найбільший вплив на структуру споживання продуктів харчування населенням України чинять економічні фактори: випередження темпів росту сукупних витрат домогосподарств, рівень і співвідношення цін на продукти харчування та обов'язкові платежі примушують домогосподарства до економії і, як наслідок, покупки більш дешевих продуктів харчування» [9].

Таким чином, на нашу думку, проведення інформаційно-комунікаційних заходів, направлених на формування культури харчування та розвитку принципів здорового харчування дозволить вплинути на суспільне здоров'я в територіальних громадах.

Фінансовий механізм забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні може передбачати:

- конкретні фінансові механізми у вигляді фінансової допомоги або кредитної підтримки виробників окремих продуктів харчування (додаткова фінансова підтримка фізичним особам у галузі бджільництва за бджолині сім'ї, дотації за утримання свійських тварин та вирощування плодово-ягідних культур тощо);
- встановлення податкових пільг зі сплати місцевих податків і зборів для сільгоспвиробників тощо.

#### Висновки

Показано, що цілями забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні є: визначення потреби у продуктах харчування, створення продовольчої ресурсної бази, виробництво продуктів харчування, їх розподіл, споживання та управління системою забезпечення продовольчої безпеки.

До вітчизняних особливостей формування системи забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні в сучасних умовах віднесено:

– наявність складнощів з організацією виробництва та переробки харчової продукції в територіальних громадах, які виникли ще до війни, щодо: диспаритету цін на сільськогосподарську продукцію в порівнянні з промисловою, неповноти розпочатих інституційних реформ, недостатнього розвитку ринкової інфраструктури, малоефективної підтримки нерентабельних господарств, відсутності реального діючого механізму банкрутства сільськогосподарських підприємств, протиріччя між державними та місцевими підходами щодо здійснення реформ, проблемних аспектів у питаннях утримання соціальної інфраструктури в сільській місцевості;

– негативні тенденції розвитку національної економіки, а саме: 30% падіння реального ВВП за підсумками 2022 року; падіння виробництва, значні труднощі інвестиційного розвитку, розбалансування сфер державних та місцевих фінансів, скорочення у 2022 році реальної заробітної плати на 17%, зростання безробіття до 28% від робочої сили, падіння реальних споживчих витрат населення на 20%;

– складнощі розвитку громад, пов'язані з наслідками військової агресії, в частині: триваючого руйнування інфраструктурних об'єктів, загроз обстрілів цивільної, транспортної та логістичної інфраструктури, відтоку бізнесу і громадян працездатного віку, що призвів до «старіння» і зростання соціального навантаження.

Відзначено, що виконання доходної частини бюджетів об'єднаних територіальних громад відіграє ключову роль у їх фінансовому забезпеченні та є фінансовим підґрунтям для формування системи забезпечення їх продовольчої безпеки.

Визначено, що комплексний механізм забезпечення продовольчої безпеки на місцевому рівні включає нормативно-правовий, організаційно-економічний, інформаційний та фінансовий механізми.

Показано можливі інструменти формування зазначених механізмів шляхом: запровадження екологічних норм для стимулювання виробництва продуктів харчування; визначення концептуальних засад місцевої політики у сфері забезпечення продовольчої безпеки; затвердження у територіальних громадах програм продовольчої безпеки на середньострокову перспективу з метою розуміння реального стану продовольчої безпеки в громаді та підвищення ефективності планування фінансових витрат органами місцевого самоврядування; проведення в громаді масштабної інформаційно-просвітницької кампанії з питань продовольчої безпеки; консультаційної підтримки населення з питань переробки, збереження, реалізації продуктів харчування; надання інформації про гранти; проведення інформаційно-комунікаційних заходів, направлених на формування культури виробництва і споживання продуктів харчування; визначення конкретних фінансових механізмів у вигляді фінансової допомоги або кредитної підтримки виробників окремих продуктів харчування; встановлення податкових пільг зі сплати місцевих податків і зборів для сільгоспвиробників тощо.

### Список використаної літератури

1. Бродель Ф. Матеріальна цивілізація, економіка і капіталізм, XV-XVIII. URL: [https://chtyvo.org.ua/authors/Fernand\\_Braudel/Materialna\\_tsyvilizatsiia\\_ekonomika\\_i\\_kapitalizm\\_XV-XVIII\\_st\\_Tom\\_1/](https://chtyvo.org.ua/authors/Fernand_Braudel/Materialna_tsyvilizatsiia_ekonomika_i_kapitalizm_XV-XVIII_st_Tom_1/)
2. Волохатий С. Експерти U-LEAD допомагають громадам розробляти програми продовольчої безпеки. URL: <https://u-lead.org.ua/news/58>
3. Гойчук О. Продовольча безпека: монографія. Житомир: Полісся, 2004. 348 с.
4. Данилишин Б. Як забезпечити економічне зростання в умовах війни. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/03/697664/>
5. Дацишин М. Як відновити місцеве самоврядування від наслідків війни? URL: <https://www.pravda.com.ua/columns/2022/08/5/7362004/>
6. Залізнюк В.П. Еволюція поняття та підходів щодо виміру продовольчої безпеки. Державне управління: удосконалення та розвиток. 2016. № 8. URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1249>
7. Румик І.І. Понятійні аспекти продовольчої безпеки як складової національної безпеки України. Вчені записки університету «КРОК». Серія : Економіка. 2014. Вип. 35. С. 22–32.
8. Румик І.І. Територіальні особливості формування системи продовольчого забезпечення. Економіка та управління національним господарством. 2016. № 2. С. 162–170.
9. Савченко Т.В. Фактори впливу на структуру споживання продуктів харчування населенням України. Економіка і суспільство. 2016. № 5. С. 304–310.
10. Типова Програма підтримки самозабезпечення харчовими продуктами. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/15256>
11. Харабовський Ю.І. Теоретичні основи забезпечення продовольчої безпеки. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління. 2020. Том 31(70). № 6. С. 78–82.
12. FAO: its origins, formation and evolution, 1945–1981. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1981. P. 11. URL: <http://www.fao.org/docrep/009/p4228e/P4228E04.htm>

## References

1. Brodel F. Materialna tsyvilizatsiia, ekonomika i kapitalizm, XV-XVIII: [https://chtyvo.org.ua/authors/Fernand\\_Braudel/Materialna\\_tsyvilizatsiia\\_ekonomika\\_i\\_kapitalizm\\_XV-XVIII\\_st\\_Tom\\_1/](https://chtyvo.org.ua/authors/Fernand_Braudel/Materialna_tsyvilizatsiia_ekonomika_i_kapitalizm_XV-XVIII_st_Tom_1/)
2. Volokhatyi S. Eksperty U-LEAD dopomahaiut hromadam rozroblaty prohramy prodovolchoi bezpeky. URL: <https://u-lead.org.ua/news/58>
3. Hoichuk O. (2004) Prodovolcha bezpeka: monohrafiia. Zhytomyr: Polissia, 348 s.
4. Danylyshyn B. Yak zabezpechyty ekonomichne zrostantia v umovakh viiny? URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/03/3/697664/>
5. Datsyshyn M. Yak vidnovyty mistseve samovriaduvannia vid naslidkiv viiny? URL: <https://www.pravda.com.ua/columns/2022/08/5/7362004/>
6. Zalizniuk V.P. (2016) Evoliutsiia poniattia ta pidkhodiv shchodo vymiru prodovolchoi bezpeky. Derzhavne upravlinnia: udoskonalennia ta rozvytok.
7. Rumyk I.I. (2014) Poniatiini aspekty prodovolchoi bezpeky yak skladovoi natsionalnoi bezpeky Ukrainy. Vcheni zapysky universytetu «KROK». Seriiia : Ekonomika. Vyp. 35. S. 22–32.. 2016. No. 2. P. 162–170.
8. Rumyk I.I. (2016) Terytorialni osoblyvosti formuvannia systemy prodovolchoho zabezpechennia. Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom. # 2. S. 162–170.
9. Savchenko T.V. (2016) Faktory vplyvu na strukturu spozhyvannia produktiv kharchuvannia naseleнням Ukrainy. Ekonomika i suspilstvo. # 5. S. 304–310.
10. Typova Prohrama pidtrymky samozabezpechennia kharchovymy produktamy. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/15256>
11. Kharabovskiy Yu.I. (2020) Teoretychni osnovy zabezpechennia prodovolchoi bezpeky. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriiia: Ekonomika i upravlinnia. Tom 31(70). # 6. S. 78–82.
12. FAO: its origins, formation and evolution, 1945–1981. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1981. P. 11. URL: <http://www.fao.org/docrep/009/p4228e/P4228E04.htm>

О. О. БІЛИК

кандидат технічних наук, доцент, проректор  
Комунальний заклад вищої освіти  
«Вінницька академія безперервної освіти»  
ORCID: 0000-0001-5088-1115

В. ЗАБУРАНИЙ

студент  
Комунальний заклад вищої освіти  
«Вінницька академія безперервної освіти»

## СТРАТЕГІЧНІ КОМУНІКАЦІЇ В ПУБЛІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ДЕРЖАВИ ЯК МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРОННОГО УПРАВЛІННЯ

*У статті звертається увага на формування публічного середовища держави та стратегій електронного управління. Будь-яка організація і установа, де відбуваються управлінські процеси, на сьогоднішній день характеризуються оснащенням технічними засобами комунікації і зв'язку, комп'ютерами, мережними технологіями, що в комплексі є утворенням ІКТ (інформаційно-комунікаційних технологій). Процеси управління в державній службі, які відображаються у роботі організацій та установ, їхніх територіальних відділень та служб, підпорядкованих закладів, то е-управління розуміється як просторове середовище, де за рахунок ІКТ здійснюються комунікації під час управлінських та регулюючих дій.*

*Зауважується, що державна служба відповідно до вимог сучасності, які стосуються здійснення управлінських процесів через вищезазначені профільні структури в супроводі із використанням ІКТ, відображає е-управління, потребує стратегічного розвитку у подальшій перспективі. Оскільки науково-технічний прогрес розвивається більш швидкими темпами, в результаті чого розробляються і впроваджуються більш нові, за широкими експлуатаційними характеристиками та у значній мірі сучасніші технічні засоби, які рано чи пізно з'являтимуться до профільних структур державних служб. Слід розглядати стратегію у будь-яких організаціях і установах взагалі, тому що саме від цього залежать перетворюючі процеси у державній службі. Поряд з тим доцільно зазначити, що у вітчизняній та світовій практиці виникнення систем управління, стратегічних напрямів, і так само – широке впровадження ІКТ для забезпечення досконалості здійснення керівних і регулюючих дій розпочиналося у промисловості та організаціях, які працюють на комерційній основі. Таким чином впровадження ІКТ набувало цілісності, довершеності, сформованості, після чого в подальшому впроваджувалося для ведення управлінських процесів у державній службі, у результаті чого виникло е-управління. Так визначається сучасний стан у галузі державного управління як осередку для автоматизації обсягів виконання покладених функцій.*

**Ключові слова:** стратегія, державне управління, е-управління, структура, публічне середовище, технології.

О. О. BILYK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector  
Public Higher Educational Establishment  
“Vinnytsia Academy of Continuing Education”  
ORCID: 0000-0001-5088-1115

V. ZABURANY

Student  
Public Higher Educational Establishment  
“Vinnytsia Academy of Continuing Education”

## THE STATE STRATEGIC COMMUNICATIONS IN THE PUBLIC ENVIRONMENT AS A MECHANISM OF ELECTRONIC GOVERNANCE

*The article draws attention to the formation of the public environment of the state and electronic management strategies. Any organization and institution where management processes take place today is characterized by the equipment of technical means of communication, computers, network technologies, which in the complex is the formation of ICT (information and communication technologies). Management processes in the public service, which are reflected in the work of organizations and institutions, their territorial branches and services, subordinate institutions, then e-governance is understood as a spatial environment where communications during management and regulatory actions are carried out through ICT.*



*It is noted that the civil service, in accordance with the requirements of modern times, which relate to the implementation of management processes through the above-mentioned specialized structures accompanied by the use of ICT, reflects e-governance, needs strategic development in the future. Since scientific and technical progress is developing at a faster pace, as a result of which newer, wider operational characteristics and significantly more modern technical means are developed and implemented, which sooner or later will appear in the specialized structures of public services. Strategy should be considered in any organizations and institutions in general, because it is precisely on this that transformative processes in the public service depend. At the same time, it is appropriate to note that in domestic and global practice, the emergence of management systems, strategic directions, and also the wide implementation of ICT to ensure the excellence of management and regulatory actions began in industry and organizations operating on a commercial basis. In this way, the implementation of ICT acquired integrity, perfection, and formation, after which it was subsequently implemented to conduct management processes in the public service, as a result of which e-governance arose. This is how the current state in the field of public administration is determined as a center for automating the scope of performance of assigned functions.*

**Key words:** strategy, governance, e-management, structure, public environment, technologies.

### Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку державного управління узагальнюється системоутворюючими трансформаціями структурної побудови, чим ґрунтується стратегічні напрями комунікацій між структурами, відділеннями, службами. Цим характеризується сучасний рівень розвитку державної служби через впровадження у їх структурну побудову більш прогресивних технічних засобів комунікацій і зв'язку таких як ІКТ (інформаційно-комунікаційні технології), поєднаних між собою мережними технологіями. І тоді у загальному вигляді стратегічний розвиток комунікаційних процесів у організаціях, установах, та їх територіальних відділеннях і службах означає проведення діалогів та дискусій у онлайн-режимі, zoom-форматі, відео- конференцій та форматів, тому що повсякденне сьогоднішнє постійно вимагає застосування хмарних пристроїв та смарт-технологій. Але у першу чергу це пов'язано із розглядом та дослідженням особливостей стратегії, відштовхуючись від загального розкриття системи управління взагалі, що у повній мірі стосується визначення загальних питань, оскільки цим ґрунтується формування такого простору, як е-управління. Оскільки основою е-управління є розкриття загального значення інформаційних потоків, узагальнення системи управління, обґрунтування зовнішнього середовища щодо її впливу на організацію і установи державної влади і місцевого самоврядування, оперативністю прийняття і реалізації рішень органами державної влади та місцевого самоврядування, висвітлення організаційного розвитку шляхом її структурного формування.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

З наукової точки зору до стратегічних комунікацій, і так само стратегії взагалі, слід віднести таких науковців, як М. Портера, А.А. Томпсона, А.Дж. Стрікланда, Кунца та ін.

І поряд з тим науковими дослідженнями щодо виникнення і функціонування е-управління в державі – як засобу доступу на публічну сферу доцільно зазначити вчених І.П. Лопушинського, В.М. Дрешпака, А.І. Семенченка та ін.

Але і водночас виникають найбільші питання щодо проведення наукових досліджень оскільки цей напрям має більш високу актуальність через інтенсивне зростання науково-технічного прогресу, що викликається повсюдним впровадженням ІКТ (інформаційно-комунікаційних технологій) у сфери суспільної діяльності та взаємовідносин.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є загальне висвітлення існуючих стратегічних комунікацій в державі, які відбуваються за рахунок функціонування е-управління – як простору для виходу на публічну сферу.

### Викладення основного матеріалу дослідження

В даний час існує безліч визначень стратегії, але всі їх об'єднує поняття стратегії як свідомої та зумовленої сукупності норм і правил, що лежать в основі розробки і прийняття перспективних рішень, здатні впливати на майбутній стан організації і установи, зокрема у державній службі – на основі е-управління. Тому що стратегія – це генеральна програма дій, що виявляє пріоритети проблем і ресурси для досягнення головної мети. А така мета розподіляється на конкретні цілі в супроводі із основними шляхами їх досягнення, чим відображається єдиний напрям розвитку [1, с. 78–80].

Тоді як стратегічні комунікації у державі за рахунок функціонування е-управління ґрунтуються інформаційним наповненням – це коли збільшується міра невизначеності зовнішнього середовища при одночасному послабленні сигналів про зміни, і відповідно, зменшується інформаційне наповнення системи управління. Тому виникають чинники розвитку більш чуткіших систем інформаційного спостереження за зовнішнім середовищем. Це означає, що будь-яка системи управління постійно потребує змін, і тим самим – мати орієнтування на зростаючий рівень нестабільності і все меншу передбачуваність майбутнього, враховуючи таку класифікацію:

- управління на основі контролю виконання (постфактум);
- управління на основі екстраполяції, коли темп змін прискорюється, але майбутнє ще можна передбачити, розглядаючи тенденції минулого;

– управління на основі передбачення змін – незважаючи на їх прискорення, зумовлюється можливістю передбачити шанси і небезпеку зовнішнього оточення і врахувати їх при розробці стратегічного плану;

– управління на основі гнучких екстрених рішень, коли багато важливих завдань виникають настільки швидко, що їх неможливо вчасно припустити і сприйняти.

Стратегію як напрям для здійснення комунікацій слід розглядати як динамічну сукупність взаємопов'язаних управлінських процесів, що логічно взаємодоповнюють один одного [2]. Однак існує стійкий зворотній зв'язок і відповідно такий самий вплив кожного процесу на інші та на всю їх сукупність. І таким чином узагальнюється важлива особливість структури організацій і установ в державній службі, чим задається формування е-управління, як простору для широкої реалізації стратегії комунікацій, що наведено на рис. 1.

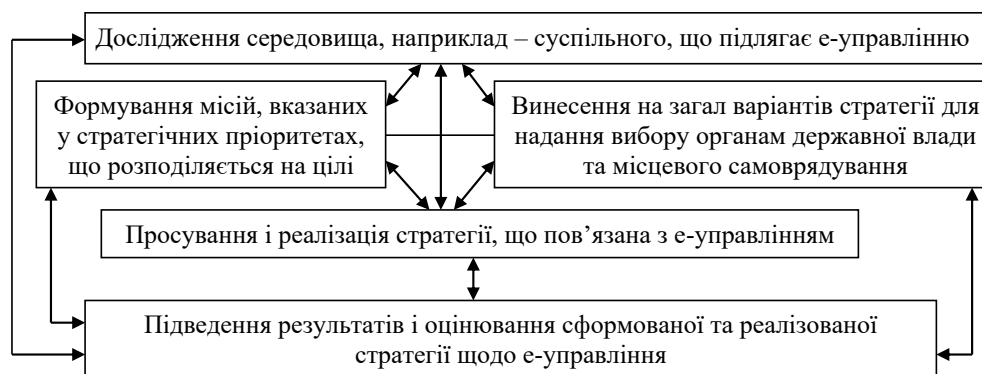


Рис. 1. Модель стратегії розвитку державної служби на основі е-управління

Загальний стан зовнішнього середовища може бути визначений за такими чинниками [3, с. 254–256]:

1. Стан економіки та ринків (економічні фактори):

- характер економіки та економічних процесів (у тому числі інфляція або дефляція);
- система оподаткування та якість економічного законодавства;
- масштаби економічної підтримки окремих галузей (підприємств);
- загальна кон'юнктура національного ринку;
- інвестиційні процеси.

2. Діяльність уряду (політико-інституційні фактори):

- стабільність уряду;
- державна політика приватизації;
- державний контроль і регулювання діяльності підприємств;
- рівень протекціонізму;
- міждержавні угоди з іншими урядами;
- рішення уряду щодо підтримки окремих галузей;
- вимоги забезпечення рівня зайнятості;
- рівень економічної свободи держави.

3. Структурні тенденції:

- структура галузей національної економіки;
- виникнення нових галузей;
- згорання діяльності застарілих галузей;

4. Науково-технічні тенденції:

- технологічні прориви;
- скорочення або продовження життєвого циклу технологій;
- питома вага наукоємких виробництв і продукції;
- вимоги до науково-технічного рівня виробництва, що забезпечує конкурентоспроможність;
- вимоги до кваліфікації кадрів високотехнологічного виробництва;
- вимоги до науково-технічного рівня конкурентоспроможної продукції.

5. Природно-економічна складова:

- наявність корисних копалин, природних ресурсів і покладів заліза;
- територіальне розміщення рекреаційних та санаторно-курортних зон;
- розміщення великих промислових і сільськогосподарських центрів;
- ефективність законодавства з природоохоронних питань;

– стан екологічного середовища та його вплив на виробництво.

6. Соціально-культурна складова:

- сприяння / недовіра до приватного бізнесу;
- відносини підприємства – громадські організації;
- ставлення до іноземців;
- профспілкова активність;

7. Міжнародне середовище:

- структура господарства країни;
- середній рівень заробітної плати;
- вартість та розгалуженість транспортних послуг;
- рівень ВВП.

Головне значення щодо функціонування е-управління в державі ґрунтується результативним вивченням стану компонент макроточення, де з точки зору стратегії комунікацій виникає спеціальна система спостереження у державній службі за зовнішнім середовищем [4]. Проведення спостережень може здійснюватися за допомогою різних способів, де серед найбільш поширених є такі:

- аналіз матеріалів, опублікованих у періодичній пресі, книгах, інших інформаційних виданнях;
- участь у професійних конференціях;
- аналіз досвіду діяльності організацій і установ;
- вивчення думки співробітників організацій і установ;
- проведення зборів обговорень усередині організацій і установ.

Потреба найефективнішого використання стратегічних комунікацій в е-управлінні зумовлює приєднання до структури державної служби ІКТ, що являє собою оптимальний обсяг технічного забезпечення, включаючи у собі комплекс ряду досліджень у напрямку сутності й механізмів функціонування зовнішнього середовища, широкими аналітичними можливостями для проведення оціночних процедур.

Тому що організації і установи для визначення можливостей забезпечення технікою та технологією найчастіше використовують основні засоби, як комп'ютери і оргтехніка, що, звісно, мають пряме відношення до е-управління та є найбільшими складниками ІКТ за такими потребами:

- обсягів запланованих робіт (речова і відтворювальна частина стратегічних комунікацій);
- комплектації технічного забезпечення згідно з планом;
- створення таких комплексів, як інформаційно-обчислювальних центрів;
- створення або реорганізація найбільш важливих структур державної служби, розширення діючих технічних можливостей;
- заміни технічного забезпечення відповідно до нових функціональних вимог на основі наукових досліджень і розробок;
- збільшення обсягів здійснення стратегічних комунікацій і врегулювання інформаційними потоками.

Залежно від ситуації кожна організація чи установа у державній службі – як для ведення комунікацій між собою, так і для функціонування е-управління, обирає різні за змістом і розмахом змін стратегії щодо технічного переоснащення, де важливу роль відіграють витрати конверсії, а також можливості до залучення відповідних обсягів фінансування, включаючи і самофінансування із зовнішнього середовища.

Дуже специфічним ресурсом сучасної діяльності в організаціях і установах стає інформація, що є умовою та елементом е-управління як системи. Це пояснюється тим, що все більше місця в діяльності суспільного середовища займають інформаційні технології, які мають підключення до мережі Інтернет, де її найбільша цінність відображається у такому вигляді:

- даних про складові частини суспільного середовища, як групи і категорії населення, громадських організацій та ін.;
- науково-технічних розробок нових програмних продуктів, за стосунків, пристроїв, технологій тощо;
- методик сучасних форм і методів планування, контролю, аналізу тощо;
- розробок відносно організаційної побудови е-управління, чим характеризуються державні структури разом з комунікаціями у суспільстві;
- пакетів програм для обробки економічної, науково-технічної, соціально-політичної інформації, для підтримки системи прийняття рішень у е-управлінні, де зразком є сфера промисловості;
- документів (законів, інструкцій тощо), які регулюють діяльність організацій і установ, де особливим чином відображаються комунікації із суспільним середовищем;
- банки даних і знань загального та спеціального спрямування тощо.

І після цього слід навести приклади стратегій загального управління (рис. 2), які перетворюються у е-управління, спираючись на інформаційні потоки організацій і установ [5, с. 192–194]:

1. Стратегії формування та вдосконалення системи управління: розподіл праці та створення спеціалізованих відділень і служб; універсалізація діяльності управлінських ланок; децентралізація системи управління на основі підвищення ефективності її функціонування; забезпечення гнучкості організаційних структур.
2. Стратегії технічного забезпечення системи управління: розширення можливостей центрального процесора; придбання нового центрального процесора; розширення існуючих розподільчих мікропроцесорів; придбання нових процесорів і мереж; використання централізованого спеціалізованого програмного забезпечення.
3. Забезпечення рівноваги щодо «стратегічного набору» за рахунок використання ІКТ (інформаційно-комунікаційних технологій), як: створення та експлуатація системи спостереження за ситуацією в зовнішньому та внутрішньому середовищі; впровадження системи підтримки управлінських рішень; створення інформаційних систем для поліпшення обслуговування широких верств населення у вигляді муніципальних послуг; створення нових варіантів інформаційних систем «на продаж» тощо.
4. Стратегія створення / розвитку процесів планування і розподілу, наприклад:
  - стратегія матеріально-технічного постачання;
  - комплексна ресурсна стратегія та ін.



Рис. 2. Приклади стратегій загального управління, які перетворюються у е-управління

### Висновки

Таким чином, саме стратегія є визначальним процесом розвитку будь-якої сфери діяльності – чи-то промисловість, чи-то малий і середній бізнес, чи-то організації і установи у сфері державного управління. І тут ґрунтується стратегія, пов'язана із застосуванням е-управління, оскільки такі вищезазначені сфери діяльності постійно потребують подальшого розвитку. А саме е-управління, як технологічний комплекс для державної служби,

узагальнюється через підключені до мережних технологій, дозволяє оптимально, сконцентровано і досконало виконувати завдання і функції органам державної влади та місцевого самоврядування, отримуючи зворотній зв'язок від власних сфер і сегментів підпорядкування.

### Список використаної літератури

1. Porter, Micheal E. & Kramer, Mark R. (2006) «Strategy and Society: The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility», Harvard Business Review, December 2006, pp. 78–92.
2. Thompson Arthur A., Strickland Alonzo J. Strategic management : concepts and Cases. Edition, 12, illustrated; Publisher, Irwin, McGraw-Hill Education, 2001. 1079 p.
3. Шершньова З.Є., Оборська С.В. Стратегічне управління : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 1999. 384 с.
4. Діброва А. В. Конспект лекцій з дисципліни «Стратегічне управління». Київський інститут інвестиційного менеджменту. *Часопис «Наша справа»*. 2001. № 1е. URL : [http://distant.isu.edu.ua/lib/add/discipliny/\\_zz\\_Strategich\\_upravlenie/\\_zz\\_Strat\\_upr/konsp\\_u.html](http://distant.isu.edu.ua/lib/add/discipliny/_zz_Strategich_upravlenie/_zz_Strat_upr/konsp_u.html)
5. Стратегічний менеджмент : навчальний посібник. / За загальною редакцією Бутка М. П. [М.П. Бутко, М.Ю. Дітковська, С.М. Задорожна та ін.] Київ : «Центр учбової літератури», 2016. 376 с.
6. Sas, N., Mosiakova, I., Zharovska, O., Bilyk, O., Drozd, T., & Shlikhtenko, L. (2023). Innovative Trends in Educational Management in a Globalized World: Organizational Neuroscience. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 14(3), 450–468. <https://doi.org/10.18662/brain/14.3/484>
7. Kravchenko, T., Prysiazniuk, L., Artemchuk, L., Zharovska, O., Bilyk, O., & Popruzna, A. (2023). Anti-Crisis Management of an Educational Institution at War: Reforms, Changes, and Innovations in Education. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 15(4), 117–131. <https://doi.org/10.18662/rrem/15.4/784>
8. OLEG BILYK, OKSANA BASHTANNYK, ROMAN PASICHNYI, ANATOLIY KALYAYEV, OLENA BOBROVSKA (2023). FORMATION AND IMPLEMENTATION OF MECHANISMS OF ELECTRONIC MANAGEMENT OF THE REGIONAL EDUCATION SYSTEM *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research open journal – 13/02-XXXVIII*. (.pdf, 6,7 MB). OPEN ACCESS journal 162 pages 6–15. <https://doi.org/10.33543/j.130238.615> <https://www.magnanimitas.cz/13-02-xxxviii> [https://www.magnanimitas.cz/ADALTA/130238/papers/A\\_01.pdf](https://www.magnanimitas.cz/ADALTA/130238/papers/A_01.pdf)

### References

1. Porter, Micheal E. & Kramer, Mark R. (2006) «Strategy and Society: The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility», Harvard Business Review, December 2006, pp. 78–92.
2. Thompson Arthur A., Strickland Alonzo J. (2001). Strategic management : concepts and Cases. Edition, 12, illustrated; Publisher, Irwin, McGraw-Hill Education. 1079 p.
3. Shershnova Z.Ie., Oborska S.V. (1999). Stratehichne upravlinnia [Strategic management]: navchalnyi posibnyk. Kyiv : KNEU. 384 s.
4. Dibrova A. V. (2001). Konspekt lektzii z dystsypliny «Stratehichne upravlinnia» [Synopsis of lectures on the discipline «Strategic management»]. Kyivskiy instytut investytsiinoho menedzhmentu. *Chasopys «Nasha sprava»*. № 1е. URL : [http://distant.isu.edu.ua/lib/add/discipliny/\\_zz\\_Strategich\\_upravlenie/\\_zz\\_Strat\\_upr/konsp\\_u.html](http://distant.isu.edu.ua/lib/add/discipliny/_zz_Strategich_upravlenie/_zz_Strat_upr/konsp_u.html)
5. Stratehichnyi menedzhment [Strategic management]: navchalnyi posibnyk (2016). / Za zahalnoiu redaktsiieiu Butka M. P. [M.P. Butko, M.Iu. Ditkovska, S.M. Zadorozhna ta in.] Kyiv : «Tsentr uchbovoi literatury». 376 s.
6. Sas, N., Mosiakova, I., Zharovska, O., Bilyk, O., Drozd, T., & Shlikhtenko, L. (2023). Innovative Trends in Educational Management in a Globalized World: Organizational Neuroscience. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 14(3), 450–468. <https://doi.org/10.18662/brain/14.3/484>
7. Kravchenko, T., Prysiazniuk, L., Artemchuk, L., Zharovska, O., Bilyk, O., & Popruzna, A. (2023). Anti-Crisis Management of an Educational Institution at War: Reforms, Changes, and Innovations in Education. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 15(4), 117–131. <https://doi.org/10.18662/rrem/15.4/784>
8. OLEG BILYK, OKSANA BASHTANNYK, ROMAN PASICHNYI, ANATOLIY KALYAYEV, OLENA BOBROVSKA (2023). FORMATION AND IMPLEMENTATION OF MECHANISMS OF ELECTRONIC MANAGEMENT OF THE REGIONAL EDUCATION SYSTEM *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research open journal – 13/02-XXXVIII*. (.pdf, 6,7 MB). OPEN ACCESS journal 162 pages 6–15. <https://doi.org/10.33543/j.130238.615> <https://www.magnanimitas.cz/13-02-xxxviii> [https://www.magnanimitas.cz/ADALTA/130238/papers/A\\_01.pdf](https://www.magnanimitas.cz/ADALTA/130238/papers/A_01.pdf)

О. О. БІЛИК

кандидат технічних наук, доцент, проректор  
Комунальний заклад вищої освіти  
«Вінницька академія безперервної освіти»  
ORCID: 0000-0001-5088-1115

## ОСВІТНЯ ГАЛУЗЬ В УКРАЇНІ ЯК ПРІОРИТЕТ Е-УРЯДУВАННЯ І ЙОГО УДОСКОНАЛЕННЯ

*Система державного управління, як і суспільне середовище, пронизана технічними засобами нового покоління. Пріоритети у діяльності державних служб мають відповідати за здійснення впливу і керівних дій сфер суспільного життя і діяльності шляхом урядування. Належне місце в цьому приділяється освітній галузі, тому що саме у ній зосереджуються широкі прошарки населення, які характеризуються ініціативними групами, соціальним статусом тощо. Внаслідок цього виникає необхідність у дослідженні передумов е-урядування, тобто електронного урядування, що означає виконання власних функцій органами державної влади та місцевого самоврядування через повсюдне застосування технічних засобів нового покоління. Це свідчить про автоматизацію системи державного управління, що розповсюджена через підвідомчі установи до всіх сфер життя і діяльності суспільного середовища, де кожному громадянину наданий розширений доступ до будь-якої структури для отримання належних послуг поряд із правилами, вимогами, зобов'язаннями.*

*Процес впровадження технічних засобів нового покоління, таких як комп'ютери із широкоекранним діапазоном, хромбуки, інтерактивне обладнання, мультимедійні пристрої, смартфони і планшети, інші різновиди інформаційно-комунікаційних технологій здійснюється органами державної влади і місцевого самоврядування під час співпраці із навчальними закладами у вигляді спільних стейкхолдерів. Саме навчальні заклади, які звісно характеризують освітню галузь в державі, є своєрідними платформами таких впроваджень, що є підтримуючими і стимулюючими процесами для підвідомчих установ. Рівень автоматизації урядових дій, якими забезпечуваний вихід до суспільного середовища – як досконалі умови й спільний розвиток складових державного управління – визначає широкі експлуатаційні можливості технічних засобів для впливу на суспільне середовище, де перебувають широкі верстви населення і ведеться господарська чи комерційна діяльність, збираються запити через здійснення зворотного зв'язку, надаються необхідні громадянам послуги.*

**Ключові слова:** державне управління, освіта, е-урядування, технології, мобільні пристрої, державні послуги.

О. О. BILYK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector  
Public Higher Educational Establishment  
“Vinnytsia Academy of Continuing Education”  
ORCID: 0000-0001-5088-1115

## EDUCATION IN UKRAINE AS A PRIORITY OF E-GOVERNMENT AND ITS IMPROVEMENT

*The public administration system, like the public environment, is permeated with new generation technical means. Priorities in the activities of public services should be responsible for influencing and leading actions in the spheres of public life and activity through governance. A proper place in this is given to the educational sector; because it is in it that broad strata of the population, characterized by initiative groups, social status, etc., are concentrated.*

*As a result, there is a need to study the prerequisites of e-governance, that is, electronic governance, which means the performance of their own functions by state and local self-government bodies through the widespread use of new generation technical means. This testifies to the automation of the state administration system, which is spread through subordinate institutions to all spheres of life and the public environment activity, where every citizen is given extended access to any structure to receive proper services along with rules, requirements, and obligations.*

*The process of introducing new generation technical means, such as computers with a wide-screen range, Chromebooks, interactive equipment, multimedia devices, smartphones and tablets, other types of information and communication technologies is carried out by state authorities and local self-government bodies during cooperation with educational institutions in the form of joint stakeholders. It is educational institutions, which, of course, characterize the educational sphere in the state, are a kind of platforms for such implementations, which are supporting and stimulating processes for sub-departmental institutions. The level of automation of government actions, which provide access to the public environment – as perfect conditions and joint development of the components of public administration – determines the broad operational capabilities of technical means to influence the public environment, where there are wide areas of the population and economic or commercial activities are conducted, requests are collected through the implementation feedback, services necessary for citizens are provided.*

**Key words:** public administration, education, e-government, technologies, mobile devices, public services.

### Постановка проблеми

Освіта є тим середовищем, яке у повному обсязі підлягає державному управлінню, оскільки вона нерозривно пов'язана із суспільством і навіть економічним сектором. Так само освіта має пряме відношення до розвитку сучасного суспільства і напрямів діяльності у ньому. Бо саме освітою зумовлюється науково-технічні досягнення у всіх галузях життя і діяльності суспільства, через неї проходить виникнення нових, більш сучасних машин, механізмів, технічного обладнання, засвоюються передові підходи і напрями для оновлення і осучаснення середовищ, охопленими між собою ІКТ (інформаційно-комунікаційними технологіями). І тому впровадження більш сучасних технічних засобів в усі галузі, через які суспільство веде власні відносини, нерозривно пов'язано саме із освітою. Бо, здійснюючи освітній процес, як викладання дисциплін, проведення практичних вправ, проходження навчальних і виробничих практик, дуальною освітою супроводжується необхідністю на сьогоднішній день використання комп'ютерів останнього покоління, технічних засобів комунікації і зв'язку.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

До науковців, які у всезагальному обсязі досліджували освітню галузь через е-урядування, слід віднести С. Домбровську, В. Дрешпака, А. Семенченка, В. Сиченка, С. Чукута та ін. Але, незважаючи на це, більш докладного дослідження потребують сучасні тенденції трансформації як системи державного управління щодо здійснення урядових функцій у автоматизованому режимі, тобто – е-урядування взагалі та його вплив і здійснення керівних дій на освітню галузь зокрема, враховуючи використання технічних засобів, як комп'ютерів, ІКТ, смартфонів, мережних технологій тощо.

### Формулювання мети дослідження

Полягає у дослідженні тенденцій е-урядування та його ролі в удосконаленні освітньої сфери шляхом застосування комп'ютерів і технічних засобів комунікації і зв'язку за своїм високим функціоналом.

### Викладення основного матеріалу дослідження

В одному з найперших проєктів Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР), що розроблений у 2001 р. [8], регламентовано діяльність автоматизованих платформ в урядових структурах під назвою «електронний уряд». Такий напрям фокусується на впровадженні в державні урядові структури та повсюдному використанні нових, більш досконалих за технічними особливостями і можливостями інформаційних і комунікаційних технологій, які призначені для надання муніципальних послуг і здійснення виконавчих функцій органами державної влади та місцевого самоврядування. Цим зумовлюється так званий програмний потенціал, який під'єднує мережу інтернет до сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, що є трансформаційною ознакою системи державного управління за її організаційною структурою згідно сучасних умов, зокрема тих, які відбуваються у суспільній діяльності.

Метою зазначеного проєкту ОЕСР була ідентифікація стратегій і технічних рішень щодо забезпечення державних урядових структур, чим характеризується «електронний уряд» за призначенням ведення управлінських дій у суспільному середовищі та її сферами діяльності, як наприклад освіта, де обґрунтовані досягнення й отримання результатів на сьогоднішній час, на який впливає інформаційний простір. Така ініціатива, яка впливала із ОЕСР, передбачала перетворювальні процеси, пов'язані із впровадженням новітніх технічних засобів для охоплення і удосконалення всього спектру управлінських дій, до яких відносяться надання муніципальних послуг, вироблення політики, методів і процедур регулювання, посилюючись на структурованість держави.

Функціонування електронного уряду стосується не лише державних урядових структур і підвідомчих установ, але, і головним чином суспільних інституцій, галузей, системоутворюючих організацій, бюджетних установ, включаючи всіх зацікавлених учасників інформаційних перетворень у кожній країні, як стейкхолдерів. Такі трансформаційні зміни класифікуються за трьома основними напрямками: 1) можливі майбутні моделі разом із методами, які застосовуються для аналізу і оцінки впровадження новітніх технічних засобів; 2) найбільш розповсюджені і вдалі практики разом із підходами; 3) процедури спостереження і перевірки перетворюючих дій у державних структурах.

Найбільш поширеним компонентом електронного уряду, який доходить до суспільного середовища і широких верств населення, котрий також стосується освітньої сфери, є мобільний уряд. Особливістю мобільного уряду є використання мобільних та бездротових комунікаційних технологій в публічній адміністрації для надання інформаційних та трансакційних послуг для зацікавлених сторін урядування (наприклад, громадян та бізнесу). Мобільне урядування – це аспект підключеного уряду, який відноситься до сукупності державних послуг і програм, доступ до яких можливий лише за допомогою мобільних телефонів, портативних комп'ютерів та інших портативних розумних пристроїв (наприклад, ноутбуків, персональних цифрових помічників тощо). Для підключення використовується інфраструктура бездротового Інтернету.

Отже, електронне урядування – це процес вироблення, прийняття та реалізації управлінських рішень за допомогою сучасних ІКТ за участю громадян задля задоволення їх потреб. Невід'ємною складовою електронного урядування є електронна демократія, сутність якої полягає у залученні громадян до процесу вироблення, прийняття та реалізації державних рішень за допомогою сучасних інформаційних комунікаційних технологій. На

нашу думку, найкраще сутність електронного урядування можна відобразити як сукупність двох її основних складових – технічної оснащеності і мобільного урядування.

Останнім часом активно використовується поняття «цифрове урядування», під яким розуміється використання цифрових технологій, як комплексної частини стратегії модернізації урядів, для створення громадської цінності. Застосовуються цифрові технології, включаючи Інтернет, мобільні технології та пристрої, а також дані аналітики, що використовуються для поліпшення генерації, збору, обміну, агрегації, поєднання, аналізу, доступу, пошуку і представлення цифрового контенту, в тому числі для розробки сервісів і додатків.

Головна відмінність цифрового урядування від електронного уряду полягає в тому, що відбуваються зміни у використанні технологій для формування результатів державного управління, а не просто для підтримки урядових процесів, це в свою чергу, вимагає послідовного і стратегічного планування політики використання цифрових технологій у всіх сферах і на всіх рівнях управління.

Електронне урядування постійно трансформується та адаптується відповідно до ІКТ. Наразі, в контексті розвитку розумних міст, слід вести мову про розумне урядування як процес вироблення та прийняття управлінських рішень за допомогою сучасних ІКТ, насамперед технології інтернет-речей, для об'єднання та інтеграції інформації, процесів, інститутів та інфраструктури для задоволення потреб громадян і бізнесу. Розумне урядування ґрунтується на застосуванні цифрових технологій для забезпечення участі громадян у досягненні високого рівня орієнтованості задоволення його потреб, так і на прийнятті керованих даними рішень з метою покращення якості життя громадян.

З метою координації зусиль міжнародного співтовариства профільний департамент ООН з економічних та соціальних питань, розпочинаючи з 2001 року формує звіти, в яких визначається рівень розвитку кожної країни-члена ООН та зазначаються проблеми, які потрібно вирішити для впровадження електронного урядування в цих країнах [9; 10].

З моменту свого створення в 2001 р. Департаментом економічних і соціальних питань ООН проводиться опитування, яке стало незамінним інструментом рейтингу, картування та вимірювання розвитку цифрових міністрів, політиків і аналітиків, які заглиблюються в порівняльний аналіз і сучасні дослідження електронного урядування [6]. Дослідження оцінює глобальний та регіональний розвиток електронного уряду через порівняльний рейтинг національних урядових порталів відносно один одного. Він призначений для надання короткого огляду тенденцій у країні та відносного рейтингу розвитку електронного урядування в реалізації Цілей сталого розвитку. І тут слід зазначити, що за 2022 р. проводилися 11 оціночних досліджень, за якими виявлений рівень-розвитку е-урядування у державах – членах ООН, а саме – ті, які займають лідируючі позиції, тому що вони знаходяться на верхівці рейтингу (рис. 1).



Рис. 1. Звіт ООН з е-урядування 2022 [10]



Таке дослідження свідчить, що е-урядування серед цих досліджених країн означає реалізацію у автоматизованій формі економічних, політичних та адміністративних повноважень для управління державними справами на всіх рівнях виконавчої влади та місцевого самоврядування. Все це включає у собі механізми, процеси та інститути, за допомогою яких громадяни та суспільні групи через інформаційно-комунікаційні технології пересилають свої запити, враховуючи власні законні права разом із обов'язками і відповідальністю.

В подальшому е-урядування містить у собі автоматизовану платформу з інтерфейсним полем під назвою «веб-уряд», за яким державні послуги підлягають персоналізації, за яким надаються для кожного громадянина широкі можливості взаємозв'язків із державними установами, після чого виникаюча інформація вноситься у бланки документів для проведення аналітичних досліджень в подальшому.

А така автоматизована платформа під назвою «веб-уряд» так само є веб-порталом, тобто – багатофункціональним веб-сайтом, який є безперервно формуючим шлюзом до існуючих послуг, надаваних державою, а точніше – органами виконавчої влади та місцевого самоврядування, які вказані у веб-каталогах, де разом з тим існують можливості пошуку та посилення на інші веб-ресурси, що поєднані з даною електронною сторінкою. Для прикладу зазначимо інтернет-платформу «Дія», за якими держава збирає запити від суспільства і висуває їй переліки надаваних нею послуги [8].

Технічним забезпеченням для функціонування автоматизованої платформи під назвою «веб-уряд» є хмарні технології, що по-іншому називаються «хмарні обчислення». Це є той технічний осередок, в якому накопичуються інформаційні ресурси, які мають значний розмір і здатні діяти в режимі реального часу, тобто – у відео-форматі, маючи при цьому інтерактивний пристрій. Важливо зазначити, що такі технології багато в чому мають спільне із звичайною комп'ютерною технікою, оскільки вони містять у файли, бази даних, програмне забезпечення, апаратне забезпечення та послуги сторонніх розробників, які мають повну здатність надавати через мережі доступи для інших користувачів із веб-браузера через Інтернет.

Таким чином виникає е-урядування на основі цифрових технологій та їх функціональних можливостей, чим ґрунтується сучасний стан здійснення виконавчих функцій органами державної влади та місцевого самоврядування, і за допомогою яких через державні підвідомчі установи відбуваються взаємозв'язки із суспільним середовищем, в якій перебувають широкі верстви населення. Цілком доречно зазначити, що тут цифрові технології, звісно, разом із мережею Інтернет, підключені до засобів мобільного зв'язку і пристроїв, де інформаційними джерелами є також дані аналітики, що використовуються для поліпшення генерації, збору, обміну, агрегації, поєднання, аналізу, доступу, пошуку і представлення цифрового контенту, в тому числі для розробки сервісів і додатків [8].

Результатом є структурування державної служби із застосування новітнього технічного забезпечення, якими разом із комп'ютерами є ще й інформаційна інфраструктура, що складається із АСУ (автоматизовані системи управління) разом із АРМами (автоматизовані робочі місця), інформаційні ресурси у базах даних, телекомунікаційні пристрої, які підключені між собою мережами, якими користувачам надаються канали передачі даних, інтерфейсні повідомлення у засобах комунікації, де спрямовуються інформаційні потоки, які так само розміщуються у інших технічних засобах. Цим і обґрунтовується створення також організаційно-технічних структур державних підвідомчих установ, що поєднані із механізмами стосовно її функціонування [3].

Важливо, що структурування державної служби у автоматизованому, тобто машинному вигляді узагальнює доступ користувачів через Інтерфейси прикладного програмування (API), які розташовані всередині комп'ютерної техніки, так само мають вихід до смартфонів, якими найпоширеніше користуються значна частина суспільства, куди вкладені відповідні застосунки. А такі Інтерфейси мають пряме підключення до АСУ, чим забезпечується доступ до баз даних і автоматично ведеться реєстр мобільних зв'язків у електронних масивах.

В результаті цього на державному рівні сформоване мобільне урядування – це аспект здійснення виконавчих функцій органами державної влади та місцевого самоврядування за рахунок підключених технічних пристроїв, звідкіля широким верствам населення, які перебувають у суспільному середовищі, надається значний перелік державних послуг, які закріплені цільовими комплексними програмами, на екранах мобільних пристроїв, як смартфон, портативних комп'ютерів чи хромбуків, та інших портативних смарт-пристроїв (наприклад, персональних цифрових помічників тощо).

Важливо, що електронне урядування є тим повним комплексом технічного забезпечення, яке під'єднано і навіть підключено до системи державного управління, для надання державних послуг, які супроводжуються із пересилання користувачами, віддалених один від одного, інформаційних комунікаційних транзакцій (переказів, до яких слід віднести і грошові кошти), інтеграції різних автономних систем і послуг між урядом і громадянами (G2C), урядом і суб'єктами підприємництва чи комерційного сектору економіки (G2B), від уряду до організацій державної служби та підвідомчих установ (G2G), і так само – до органів державної влади, місцевого самоврядування, старостатами територіальних округів (G2E) [3].

Також до технічних пристроїв, які на державному рівні є найбільш поширеними серед європейських країн, є Інтернет речей (IoT), що являє собою комплекс взаємопов'язаних між собою датчиків, мікросхем, цифрових пристроїв, елементів керування, за якими користувачами здійснюється збір й аналізування даних за різноманітними

інформаційними джерелами стосовно конкретних видів діяльності у суспільстві, перебуваючих і перетікаючих у ньому об'єктів, процесів, явищ, які перетинаються із громадянами, ініціативними групами, працівниками організацій і установ, щоб вести діалоги і взаємозв'язки, а також здійснювати процедури, які раніше були ручні, наприклад – анкетування, соціологічні дослідження, опитування та ін.



Рис. 2. Стрімкі темпи розвитку е-урядування України у 2022 р.

І тому, за останніми оцінками ООН, в Україні більш стрімко розвинулося е-урядування як автоматизований осередок в системі державного управління, який ґрунтує масштабні трансформаційні зміни, за рахунок чого наша держава має належний вигляд в удосконаленні здійснення виконавчих функцій органами державної влади та місцевого самоврядування поряд із розширеним переліком надання державних послуг, порівняно у певній мірі навіть з високорозвиненими країнами. Але до таких країн, де стрімкішими темпами відбувався розвиток держави через е-урядування, доцільно віднести Грузію, Сербію, та латиноамериканську країну Перу (рис. 2).

Зауважимо, що е-урядування являє собою повсюдне застосування ІКТ в системі державного управління для оптимізації його внутрішніх і зовнішніх функцій. Е-урядування взагалі відображається такими категоріями, як електронний уряд, цифровий уряд, веб-уряд, онлайн-уряд, або в певному контексті трансформаційний уряд. Тому що е-урядування зводиться до використання інтернет-технологій у вигляді платформи для обміну інформацією, надання послуг та здійснення операцій з громадянами, організаціями на комерційній основі, та іншими органами влади і місцевого самоврядування. Це означає, що важливе значення е-урядування проявляється на регіональному рівні – через підключення ІКТ – таких як Інтернет та мобільні комп'ютери – до органів місцевого самоврядування, тобто місцевих органів влади, як муніципалітетів – з метою надання суспільним сферам онлайн-послуг відповідно до їхньої діяльності й предметів взаємовідносин, чим ґрунтується досягнення ефективності виконання власних функцій згідно здійснення керівних дій органами державної влади, які тісно співпрацюють із органами місцевого самоврядування, чим забезпечується підвищена прозорість і здійснюється активна громадянська участь.

Такі трансформаційні процеси в країнах Світу і зокрема в Україні обґрунтували створення підзвітності, щоб вимірювати, аналізувати і оцінювати стан і успіхи е-урядування в системі державного управління, яка має здатність розповсюджуватися до всіх сфери життя і діяльності в суспільстві, зокрема – промисловість, комерція, освіта, культура та ін.

Оскільки електронне відображення урядової інформації, що внесені і розкриті у формах документів, сформоване засобами інформаційно-телекомунікаційних систем (у тому числі Єдиним державним веб-порталом електронних послуг) у порядку, встановленому законом або актом Кабінету Міністрів України [4]. В подальшому трансформаційні процеси, які відбувалися і уряді, переносилися до освітньої сфери, де найбільш виразнішим осередком являється е-освіта (електронна освіта чи цифрова освіта).

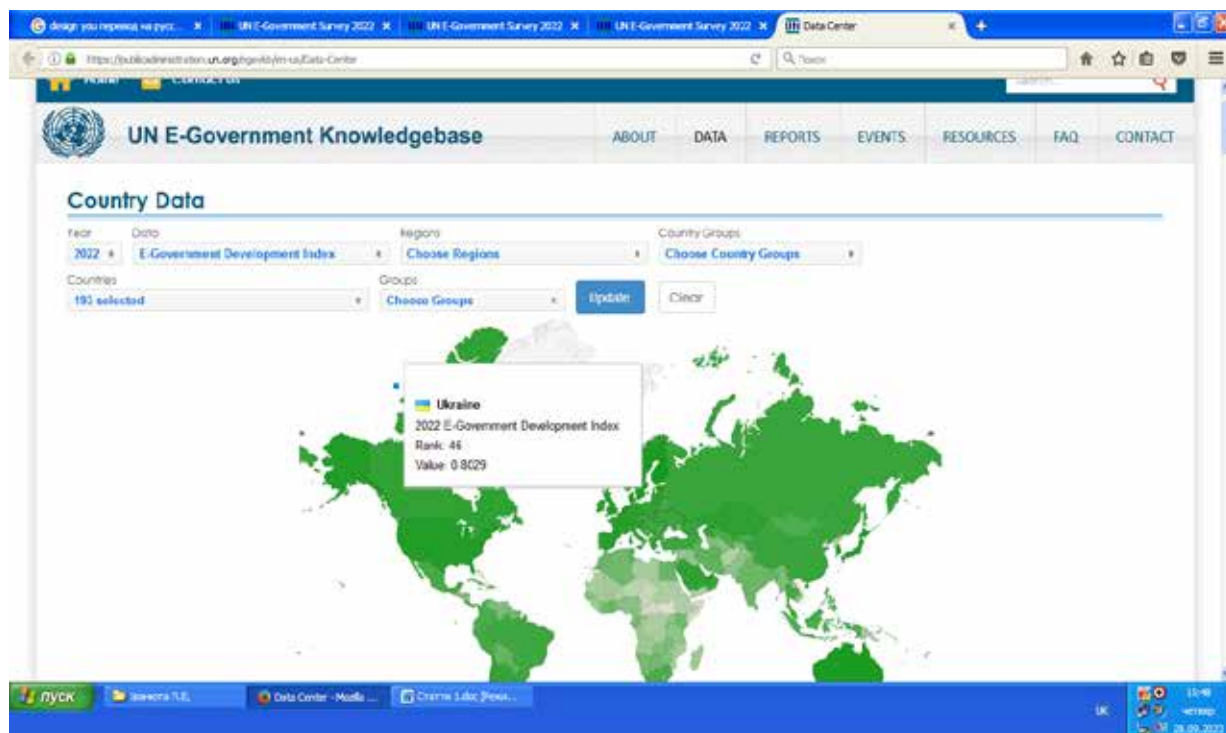


Рис. 3. Характеристика становища і оцінки ступеня розвитку е-урядування в Україні станом за 2022 р.

Електронна освіта – осередок освітньої сфери, сформований навчальними закладами та їх взаємозв'язками під час проведення занять викладачами із здобувачами з використанням виключно комп'ютерів, інформаційно-комунікаційних технологій, мобільних пристроїв, якими комплектована АСУ (автоматизована система управління) [5; 6].

Рушійною силою розвитку освітніх послуг стало підписання нашою державою меморандумів про партнерство з 40 новими партнерами (молодіжні неурядові організації та молодіжні центри), за якими було розроблено 15 освітніх програм, котрі зумовили набуття і розвиток навичок під концепцією Skills Lab (Skills Lab: успішна кар'єра; Skills Lab: самозайнятість та Skills Lab: власний бізнес). Такі освітні програми були призначені для 548 чоловік молодого населення, яким делегувалися профорієнтаційні заходи для 400 чоловік із різних регіонів України. І саме цим закладалося формування е-освіти, що має постійний переростаючий процес щодо формування регіональної системи управління освітою в Україні [6, с. 28].

Зауважимо, що у 2021 р. загалом залучено до освітніх процесів 229 нових тренерів ProSkills, зокрема тих, які були підготовлені під час проведення навчань (ToTs) для фахівців, які займаються справами підлітків й охоплені проблемами в Донецькій, Луганській, Запорізькій та Херсонській областях. 175 чоловік із загального переліку цих фахівців були підготовлені в інститутах післядипломної педагогічної освіти, де проводилися тренінги ProSkills ToTs у березні 2021 р. та впроваджувалися спільно розроблена освітня програма ProSkills для інших навчальних закладів. В результаті чого були залучені мотивовані та талановиті фахівці, які працюють із підлітками в цих регіонах, де відтоді виникли передумови для зростання мережі тренерів ProSkills та охоплення нею дедалі більшого числа молодих людей по всій країні. У 2021 р. не менш ніж 400 підлітків віком від 14 до 17 років проходили навчальні курси за освітньою програмою ProSkills під час перебування у літніх таборах, у молодіжних центрах та інших закладах чотирьох областей.

Так само у цьому ж році 72 викладачі та інструктори професійної (професійно-технічної) освіти проходили електронний навчальний курс, ініційованим Міжнародним центром торгівлі (МЦТ) за темою «Створення модульного контенту та цифрова професійна (професійно-технічна) освіта для України», де п'ять викладачів пройшли підготовку з навчання на цьому курсі. І поряд з цим слід вказати, що десять викладачів також пройшли цей курс навчання, за яким були вибрані чотири пілотних навчальних закладів професійної (професійно-технічної) освіти в м. Рівне (автомеханіка), м. Суми (електрика), м. Херсон (кухарська справа) та м. Запоріжжя (кравецтво), в результаті чого створені і впроваджені у освітню практику своєрідні цифрові інтерактивні заняття, які відмічені у розроблених навчальних планах щодо таких спеціальностей. Надалі за егідою МЦТ проведені такі вищезазначені заняття, де для їх проведення були впроваджені 4 тренажери доповненої реальності, до яких завантажені 31 одиниці відеороликів, розроблених за кожною спеціальністю і введені у освітні процеси пілотних навчальних закладів загальноосередньої освіти (школи, ліцеї), які звісно були заздалегідь у них протестовані і відлагоджені. Крім того, 415 осіб брали участь у трьох додаткових вебінарах із питань набуття навичок та їх відповідності до

вищезазначених спеціальностей, стандартизованих МЦП/Європейським фондом освіти – разом із дотриманням попроцесного підходу, орієнтованого для навчання учнів (МОП/ЮНІСЕФ), які зумовлюють широке освоєння цифрових технологій. Для цього викладачам та інструкторам навчальних закладів професійної (професійно-технічної) освіти був продемонстрований цифровий контент та інструменти, які розміщені у технічних засобах, призначених для проведення занять та інших напрямків освітньої діяльності. І під час цієї презентації були наочно присутні 200 осіб, і в той час переглядали в онлайн-режимі понад 700 осіб, після чого задавалися багато питань про технічні досягнення й цифрові платформи для проведення занять.

В подальшому досягнення, які виникали шляхом проведення вищезазначених заходів, зазнавали переходу від освітньої діяльності до ведення діалогів, а також на початковій стадії ведення взаємовідносин з різноманітними стейкхолдерами, до яких відносяться організації на комерційній основі, роботодавці, до чого мали вихід персонал МЦП. І на основі цього були розроблені певні цифрові інтерактивні навчальні курси за такими темами і матеріалами, як: «Вступний курс для нових членів профспілок», «Працевлаштування без обмежень» та «Керівні настанови з питань гендерної рівності та недискримінації серед роботодавців».

І за такими досягненнями Міністерство освіти і науки України спільно із МЦП розробило веб-сайт, що означає автоматизовану платформу як фундаментальної основи для створення Всеукраїнської школи онлайн, характерна за можливостями дистанційного навчання для учнів та викладачів закладів професійної (професійно-технічної) освіти разом із доступністю до пропонованих цифрових продуктів та контентів.

### Висновки та пропозиції

Оскільки сьогоднішній день функціонування системи державного управління у кожній країні, і зокрема – в Україні відзначається впровадженням технічних засобів за широкими функціональними можливостями всіх гілок влади, то виникає необхідність проводити детальне дослідження цих тенденцій і обґрунтовувати порівняння з іншими країнами світу. Тут розглядається не лише наявність і функціонування новітніх і досконалих технічних засобів, але і здатність при їх використанні виконувати функції власної діяльності органів державної влади та місцевого самоврядування, за якими здійснюється вплив на суспільне середовище. А освітню галузь слід вважати як більш важливу складову у суспільному середовищі, тому що саме в ній перебувають широкі верстви населення та є своєрідною самостійно утворюючою платформою щодо впровадження таких технічних засобів, як комп'ютерів, ІКТ, смартфонів. І тому для проведення подальшого дослідження слід запропонувати застосування звітних даних для проведення аналітичних досліджень і оціночних процедур, на підставі чого утворюється методика оцінки освітньої галузі за умовами виникнення автоматизованого простору, як е-урядування. І на майбутню перспективу обґрунтовується структурування досконалої системи державного управління через е-урядування, де враховуються функціональні особливості АСУ (автоматизованої системи управління), АРМ (автоматизованих робочих місць), мережних технологій, якими поєднуються територіальні відділи і регіональні служби з центральними органами влади спільно із місцевим самоврядуванням.

### Список використаної літератури

1. Домбровська С.М. Сучасні технології впровадження інноваційних державних механізмів реформування системи освіти в Україні. *Університетські наукові записки*. 2013. № 1. Вип. 24. С. 207–216.
2. Домбровська С.М. Сучасні технології впровадження інноваційних державних механізмів реформування системи освіти в Україні. *Університетські наукові записки*. 2013. № 2. Вип. 2. С. 5–11.
3. Електронне урядування та електронна демократія: навч. посіб.: у 15 ч. / за заг. ред. А.І. Семенченка, В.М. Дрешака. Київ, 2017. Частина 1: Вступ до курсу. Концептуальні засади електронного урядування та електронної демократії / [В.Я. Малиновський, Н.В. Грицяк, А.І. Семенченко]. Київ : ФОП Москаленко О.М., 2017. 70 с.
4. Закон України «Про особливості надання публічних (електронних публічних) послуг» від 15 липня 2021 р. № 1689-IX. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1689-20#Text>
5. Звіт за результатами основного етапу польового дослідження оцінки якості освітнього процесу в закладах дошкільної освіти за методикою ECERS-3 / кол. авт. : О. Косенчук (осн. автор), Т. Піроженко (осн. автор), Н. Бахмат, О. Венгловська, Н. Гавриш, Х. Ковкрак, Ю. Косенчук, Л. Куземко, С. Нерянова, А. Регент, Н. Тарнавська [за ред. О. Косенчук, Т. Піроженко] / Київ : Український інститут розвитку освіти, 2022. 24 с.
6. Звіт про результати за 2021 рік. Представництво Організації Об'єднаних Націй в Україні. Київ, 2022. 56 с.
7. Лукіна Т.О. Управління якістю загальної середньої освіти: навчально-методичний посібник. Київ. : Педагогічна думка, 2020. 230 с.
8. Чукут С.А., Загвойська О.В., Цимбаленко Я.Ю. Основи електронного урядування: навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022. 268 с.
9. 2022 Gearing E-Government to Support Transformation towards sustainable and resilient societies. URL : <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2022#0>
10. 2022 United Nations E-Government Survey. Gearing E-Government to Support Transformation towards sustainable and resilient. URL: [https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2022-Survey/E-Government%20Survey%2022\\_FINAL%20for%20web.pdf](https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2022-Survey/E-Government%20Survey%2022_FINAL%20for%20web.pdf).

## References

1. Dombrovska S.M. (2013) Suchasni tekhnolohii vprovadzhennia innovatsiinykh derzhavnykh mekhanizmv reformuvannia systemy osvity v Ukraini [Modern technologies of implementation of innovative state mechanisms for reforming the education system in Ukraine]. *Universytetski naukovy zapysky*. № 1. Vyp. 24. S. 207–216.
2. Dombrovska S.M. (2013) Suchasni tekhnolohii vprovadzhennia innovatsiinykh derzhavnykh mekhanizmv reformuvannia systemy osvity v Ukraini [Modern technologies of implementation of innovative state mechanisms for reforming the education system in Ukraine]. *Universytetski naukovy zapysky*. № 2. Vyp. 2. S. 5–11.
3. Elektronne uriaduvannia ta elektronna demokratsiia [Electronic governance and electronic democracy]: navch. posib.: u 15 ch. / za zah. red. A.I. Semenchenka, V.M. Dreshpaka. Kyiv, 2017. Chastyna 1: Vstup do kursu. Kontseptualni zasady elektronnoho uriaduvannia ta elektronnoi demokratsii / [V.Ia.Malynovskyi, N.V. Hrytsiak, A.I. Semenchenko]. Kyiv : FOP Moskalenko O.M., 2017. 70 s.
4. Zakon Ukrainy «Pro osoblyvosti nadannia publichnykh (elektronnykh publichnykh) posluh» [Law of Ukraine «On Peculiarities of Provision of Public (Electronic Public) Services»] vid 15 lypnia 2021 r. № 1689-ІKh. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1689-20#Text>
5. Zvit za rezultatamy osnovnoho etapu polovoho doslidzhennia otsinky yakosti osvitnoho protsesu v zakladakh doshkilnoi osvity za metodykoiu ECERS-3 [Report on the results of the main stage of the field study of the assessment of the quality of the educational process in preschool education institutions according to the ECERS-3 methodology]/ kol. avt. : O. Kosenchuk (osn. avtor), T. Pirozhenko (osn. avtor), N. Bakhmat, O. Venhlovska, N. Havrysh, Kh. Kovkrak, Yu. Kosenchuk, L. Kuzemko, S. Nerianova, A. Rehent, N. Tarnavska [za red O. Kosenchuk, T. Pirozhenko] / Kyiv : Ukrainyskyi instytut rozvytku osvity, 2022. 24 s.
6. Zvit pro rezultaty za 2021 rik [Report on results for 2021]. Predstavnytstvo Orhanizatsii obiednanykh natsii v Ukraini. Kyiv, 2022. 56 s.
7. Lukina T.O. (2020) Upravlinnia yakistiu zahalnoi serednoi osvity : navchalno-metodychnyi posibnyk [Quality management of general secondary education: educational and methodological manual]. Kyiv. : Pedahohichna dumka, 230 s.
8. Chukut S.A., Zahvoiska O.V., Tymbalenko Ya.Iu. (2022) Osnovy elektronnoho uriaduvannia: navchalnyi posibnyk [Fundamentals of e-government : a study guide]. Rekomendovano Metodychnoiu radoiu KPI im. Ihoria Sikorskoho yak navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv stupenia bakalavra za osvitnimy prohramamy «Administratyvnyi menedzhment» ta «Elektronne uriaduvannia» spetsialnosti 281 Publichne upravlinnia ta administruvannia» ta studentiv inshykh spetsialnostei. Elektronne merezhne navchalne vydannia. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho. 268 s.
9. (2022) Gearing E-Government to Support Transformation towards sustainable and resilient societies. URL : <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2022#0>
10. (2022) United Nations E-Government Survey. Gearing E-Government to Support Transformation towards sustainable and resilient. URL : [https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2022-Survey/E-Government%20Survey%202022\\_FINAL%20for%20web.pdf](https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2022-Survey/E-Government%20Survey%202022_FINAL%20for%20web.pdf).

**O. M. VOLSKA**

Doctor of Public Administration, Professor,  
Professor at the Department of Economics and Maritime Law  
Kherson State Maritime Academy  
ORCID: 0000-0001-5047-4579

**M. P. BULGAKOV**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Navigation and Maritime Safety  
Odesa National Maritime University  
ORCID: 0000-0002-7172-8678

## THE IMPACT OF MENTAL HEALTH ON THE PROFESSIONALISM OF MARITIME WORKERS

*The study investigates the influence of mental health on the professionalism of upcoming ship captains, with particular attention given to the development of a comprehensive knowledge and skills system that can foster a positive moral and psychological atmosphere on board. In order to guarantee efficient, accident-free and conflict-free work from the crew, it is essential for captains to consider stress factors, psychological fatigue and the unique psychological well-being of seafarers during management activities on board the ship. At the same time, an important factor that helps crew members endure the conditions of exposure to negative psychogenic factors and maintain high performance is a favorable moral and psychological climate in the team. The main directions of optimizing the moral and psychological climate on the ship are: preservation and support of the professional potential of the ship's crew members in order to increase the level of motivation of sailors; to create a favorable psychological atmosphere and reduce conflict situations, it is suggested to use a flexible leadership style, apply an individual approach to each crew member; use the potential of the team to achieve the set goals; the formation of positive relationships in the ship's crew, which contribute to strengthening interaction and maintaining a favorable atmosphere in the ship's crew. The article emphasizes that the creation of a favorable moral and psychological climate on the ship is greatly facilitated by the analysis of individual and group thoughts, as well as those moods that create a collective psychological state and determine the conformity of the moral and psychological climate with the management style of the top manager of the ship.*

**Key words:** maritime complex, employees of the maritime complex, stress, mental health, future captains, moral and psychological climate.

**O. M. ВОЛЬСЬКА**

доктор наук з державного управління, професор,  
професор кафедри економіки та морського права  
Херсонська державна морська академія  
ORCID: 0000-0001-5047-4579

**M. P. БУЛГАКОВ**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри судноводіння і морської безпеки  
Одеський національний морський університет  
ORCID: 0000-0002-7172-8678

## ВПЛИВ ПСИХІЧНОГО ЗДОРОВ'Я НА ПРОФЕСІОНАЛІЗМ ПРАЦІВНИКІВ МОРЕГОСПОДАРСЬКОГО КОМПЛЕКСУ

*У статті проведено дослідження впливу психічного здоров'я на професіоналізм працівників морегосподарського комплексу, до яких в статті віднесено капітанів торгівельних судів. Акцентовано увагу на формуванні у майбутніх капітанів системи знань і вмінь, яка сприятиме створенню сприятливого морально-психологічного клімату на судні. Капітанам у процесі управлінської діяльності на борту судна для забезпечення ефективної, безаварійної та безконфліктної роботи екіпажу необхідно враховувати вплив стресових факторів, наявність психологічної втоми та особливості психологічне благополуччя моряків. При цьому важливим чинником, який допомагає членам екіпажу переносити умови впливу негативних психогенних факторів і зберігати високу працездатність, є сприятливий морально-психологічний клімат у колективі. Основними напрямками оптимізації морально-психологічного клімату на судні визначимо: збереження та підтримка професійного потенціалу членів екіпажу судна з метою підвищення рівня мотивації моряків; для створення сприятливої психологічної*

атмосфери та зменшення конфліктних ситуацій пропонується використовувати гнучкий стиль керівництва, застосовувати індивідуальний підхід до кожного члена екіпажу, використовувати потенціал команди для досягнення поставлених цілей; формування позитивних взаємин в екіпажі судна, що сприяють зміцненню взаємодії та підтримці сприятливої атмосфери в екіпажі судна. В статті наголошується, що створенню сприятливого морально-психологічного клімату на судні багато в чому сприяє аналіз індивідуальних і групових думок, а також тих настроїв, які створюють колективний психологічний стан і визначають відповідність морально-психологічного клімату зі стилем управління топ-менеджера судна.

**Ключові слова:** морегосподарський комплекс, працівники морегосподарського комплексу, стрес, психічне здоров'я, майбутні капітани, морально-психологічний клімат.

### Introduction

Maritime transport is a complex industry that requires a high level of professionalism, knowledge and skills. Working on a ship requires heavy physical labour in very specific conditions with a high degree of danger to the life and health of the specialist. The negative side of this work is the separation from family and friends, from the native culture, as well as the rejection of many other components of psychological comfort. Given these characteristics, it is essential that future seafarers are aware of the emotional challenges they will face and are prepared to deal with their consequences.

In order to be successful in their work, future captains must have professional knowledge and skills. The job offers excellent career prospects, good pay, long holidays, the opportunity to travel and, of course, job satisfaction. On the other hand, some of the specific characteristics of working on a ship can lead to serious stress situations, which can subsequently affect physical and mental health.

### The analysis of recent studies and publications

An analysis of recent studies and publications. Recently, there has been a surge of interest in mental health among researchers. The pandemic that swept the world in 2020–2021 forced the attention of the world community to this problem. Clinical psychologist Charles Watkins stresses the importance of solving this problem, especially for cadets who have no practical experience and no survival strategy of their own [1]. Samantha K. Brooks and Neil Greenberg, among our researchers, have made recommendations for improving the mental health of seafarers. Recommendations through increased mental health education; increased control over the level of well-being of personnel; increased attention to healthy lifestyles of the ship's crew; noise reduction; compliance with the rules on the distribution of working time on board; improvement of the level of interpersonal communication on board; active use of the leadership qualities of the command staff to improve the management of the ship's crew [2]. Olena Bezlutska focuses on the need to increase the level of psychological preparation of future and current captains by improving psychological support after a long voyage [3]. Olena Soroka studied the stress resistance of seafarers as a function of flight duration and age [4].

The **object** of the research is mental health on the professionalism of future captains.

The **aim** of the research: to reveal the role of mental health in the professional activities of the future captain.

The tasks of the research are:

1. To study stress as a major component of mental health.
2. The main ways to improve the level of mental health on the ship.
3. Conclusions and recommendations.

The **research methods** include the expert judgement method, the comparative method, analysis and synthesis.

The subject of the research is mental health on the professionalism of future captains.

The aim of the research is to reveal the role of mental health in the professional activity of the future captain.

The tasks of the research are:

1. To study stress as a major component of mental health.
2. The main ways to improve the level of mental health on the ship.
3. Conclusions and recommendations.

The research methods include the expert judgement method, the comparative method, analysis and synthesis.

### The main theoretical thesis

The ship is an autonomous closed system with a high level of danger. The ship operates as a transport unit in the field of complex industrial, commercial, financial, legal relationships under the influence of global legal norms and rules. Future captains will have to perform many tasks in the face of decreasing crew numbers and commercial pressure from shipping companies. These conditions require professionalism, responsibility and a creative approach to solving the tasks set for future captains. Working at sea is associated with increased risk and most accidents are not caused by technical or human factors. Low stress resistance of crew members can lead to the presence of errors that lead to an accident on the ship. Each crew member is a person with his own character, views, habits and attitude to the world around him. Unfortunately, agencies do not recruit crew members on the basis of compatibility, and it is up to the captain to create an effective team on board.

When a future seafarer embarks on his first voyage, he may experience a great deal of stress. This situation can later lead to mental illness. In order to solve this problem, we are going to carry out some studies that will help us to make some recommendations of a theoretical and practical nature.

Types of occupational stress:

information stress occurs under conditions of information overload, when the employee cannot cope with the task and does not have time to make important decisions;

emotional stress occurs when there is a real or imagined threat, feelings of guilt, anger, resentment in the face of contradictions with management, colleagues, subordinates;

communicative stress is associated with problems of business communication, manifested in increased irritability, ignorance of methods of protection against manipulation, an imbalance in the pace of communication.

There are several techniques to reduce stress levels on board. Research into stress must begin with the factors that cause it. It is stress that affects the mental health of professionals in any industry, and in the maritime sector this aspect must be given increased attention.

Consider the main factors that can cause stress. The study [5] identified three groups of factors:

Social: separation from family, friends, cultural and social environment; the presence of barriers (cultural, linguistic, social) associated with a long stay on the ship; the development of a sense of isolation (unwillingness to talk about their problems and concerns) on the ship.

Professional: the intensity of work on the ship can reduce the desire for good rest; limited access to resources and sources of support in cases of discrimination.

Personal: the presence of psychological trauma experienced before the first flight; the stress associated with the first voyage on a ship.

Stress can also be caused by specific conditions on board: extreme weather conditions, piracy, fire; death; aggression; harassment.

A person reacts to certain conditions with stress, which has four types of reactions:

psychological – confusion, disorientation, anxiety, obsessive thoughts and images, guilt, haunting memories (when a person seems to relive everything that happened over and over again);

emotional – shock, sadness, grief, despondency, fear, anger, irritation, guilt, shame, or conversely emotional numbness;

physical – fatigue, headaches, abdominal pain, muscle tension, rapid heart rate, high/low blood pressure, trouble falling asleep or sleeping, difficulty concentrating;

behavioural – withdrawal into oneself, detachment and alienation from other crew members, intrapersonal conflicts, attempts to avoid conversation, loss of interest in previously enjoyed activities, anxiety.

Is it possible to solve the problem of stress on the ship? What should the captain do to reduce stress on the ship? What knowledge should future captains have to solve this problem? In order to reduce the level of stress, the captain must learn to identify crew members who are prone to such a condition. This requires an individual approach to each crew member.

The captain can use techniques such as:

– showing interest, concern and care for the physical and mental well-being of all seafarers, simply by taking the time to ask how they are doing and listening to their response in a briefing format;

– assist in overcoming psychological reactions to stress through individual communication;

– talking about common reactions to stress and trauma and discussing and encouraging healthy ways of dealing with them; and expressing confidence that the person will be able to cope.

The future captain must have the knowledge and skills to:

– communicate with crew members;

– make decisions related to the efficient operation of the ship's crew;

– provide psychological support to crew members to increase their resistance to stress;

– motivate crew members to achieve their goals.

The use of stress-reduction techniques will help a crew member to cope successfully with psychological pressure, which may disappear over time. To overcome stress, it is also necessary to seek the help of professionals who can be recruited by the shipowner. Crew members who feel comfortable reporting mental health problems and receiving appropriate treatment will be more reliable workers. With appropriate help, crew members will be able to return to performing their duties effectively.

Self-monitoring can also be used to reduce stress. Self-control is particularly important in a seafarer's job because of the specific, complicated working conditions at sea, the increased responsibility and the increased risk. At the same time, however, there are a number of psychogenic (stressful) factors at work, which complicate self-control, negatively affect the reliable characteristics of a seafarer's professional activity, and objectively lead to an increase in the possibility of making mistakes. These are the phenomena of psychological fatigue and overwork, the monotony of life on board a ship, group isolation, difficult weather and sea conditions of navigation and much more.

If a seafarer lacks self-control, the reasons can be very different: insufficient professional motivation, disinterest in the results of the work, certain character traits, etc. Thus, lack of self-control is directly related to such character traits as laxity, indiscipline, excessive self-confidence, disorder, thoughtlessness, carelessness, alarmism, carelessness, etc. At the same time, traits such as prudence, accuracy, restraint, reliability, decency, purposefulness are signs of good self-control, the ability to control one's actions and deeds.



Another means of reducing stress on board is to create a favourable moral and psychological climate. The captain, as an effective manager, must have this ability.

It should be noted that young seafarers, recent graduates of maritime education institutions, acting as managers on a ship, often find themselves in a difficult situation. Although they have sufficient professional knowledge, they do not have the necessary experience of working with people, the ability to organise and manage their joint activities, the efficient and safe operation of the ship and the performance of voyage tasks. At the same time, junior officers are closest to the rank and file, being the direct supervisors of the seafarers and deckhands on watch at sea and in port, during mooring and cargo operations, repair and maintenance work. This means that the success of the ship's operations, the safety of the goods transported and the natural environment, as well as the safety of the people on board, depend to a large extent on their personal and professional qualities and organisational skills.

Of course, the leader himself should be a role model for his subordinates in everything. His dress, speech, behaviour, orders, treatment of people must be at the level of a cultured, educated person, a professionally competent, knowledgeable and loving specialist. As practice shows, a modern sailor-manager must have at least four specific skills for successful work in the fleet:

1) the ability to make informed and effective decisions in any situation on the ship involving increased responsibility, time pressure or their simultaneous effects:

2) the ability to independently deepen and develop their knowledge in difficult working conditions at sea;

3) the ability to effectively apply the knowledge and skills acquired during the period of study at a maritime educational institution and during further training in practice;

4) the ability to analyse and draw the right conclusions from their own experience and that of their predecessors in managing production processes and managing people on board.

The moral and psychological climate is a complex emotional and psychological state of a professional team, reflecting the degree of satisfaction of employees with various factors of life. The moral and psychological climate expresses the general mood and level of satisfaction of employees with the organisation of personal work, relations with other employees and the general level of organisation of work on the ship. A healthy psychological climate is one of the decisive factors for a person's successful life in all spheres of social relations, the most important condition for the improvement of lifestyle and personality formation.

Signs of a favourable moral and psychological climate are:

the prevalence of a businesslike, creative atmosphere on board the ship;

a sense of group cohesion;

high standards and trust among crew members;

well-developed benevolent constructive criticism and self-criticism;

free expression of crew members' views on all matters relating to team life;

a high degree of mutual support;

high level of professional training of the crew members;

uniform distribution of the workload;

timeliness and objectivity of conflict resolution.

The main directions for optimizing the moral and psychological climate on board are:

1. Preserving and maintaining the professional potential of the ship's crew in order to increase the motivation of the seafarers.

2. In order to create a favourable psychological atmosphere and reduce conflict situations, it is proposed to use a flexible management style, apply an individual approach to each crew member and use the potential of the team to achieve the set goals.

3. Formation of positive relationships in the crew, contributing to the strengthening of cooperation and maintaining a favourable atmosphere in the crew.

Thus, everyday practice confirms that the creation of a favourable moral and psychological climate on the ship is greatly facilitated by the analysis of individual and group opinions, as well as those moods that create a collective psychological state and determine the conformity of the moral and psychological climate with the manager's management style.

### Conclusions

In conclusion, it should be noted that in order to ensure efficient, accident-free and conflict-free work of the crew, it is necessary for masters to take into account the influence of stress factors, the presence of psychological fatigue and the peculiarities of the psychological well-being of seafarers in the process of management activities on board the ship. At the same time, a favourable moral and psychological climate in the team is an important factor in helping crew members withstand the conditions of exposure to negative psychogenic factors and maintain high performance. For this reason, maritime regulations constantly emphasise that the most important direction in the activities of the ship's command is the creation of a favourable moral and psychological climate, the maintenance of good human relations on board and the organisation of conflict-free work.

**Bibliography**

1. Time to act on mental health at sea web: <https://www.imarest.org/themarineprofessional/the-long-read/item/6003-time-to-act-on-mental-health-at-sea>
2. Samantha K. Brooks and Neil Greenberg Mental health and psychological wellbeing of maritime personnel: a systematic review web: <https://bmcpyschology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40359-022-00850-4>
3. Безлуцька О.П. Ментальне здоров'я суднового офіцера як вагома складова частина безпеки судноплавства *Наукові праці Міжрегіональної академії управління персоналом. Психологія* 2021. Випуск 3 (52), С. 15–19
4. Сорока О.М. Вплив психічної нормативності та акцентуацій характеру моряків на їхню стресостійкість залежно від тривалості рейсу та їхнього віку. *Дніпровський науковий часопис публічного управління, психології, права*. 2022р., № 3. С. 129–138.
5. On mental health care for seafarers web: [https://www.american-club.com/files/files/seafarers\\_mental\\_wellbeing\\_.pdf](https://www.american-club.com/files/files/seafarers_mental_wellbeing_.pdf)
6. Oldenburg M, Baur X, Schlaich C. Occupational risks and challenges of seafaring. *J Occup Health*. 2010;52:249–56.
7. Jensen H-J, Oldenburg M. Potentially traumatic experiences of seafarers. *J Occup Med Toxicol*. 2019;14:17.
8. Agterberg G, Passchier J. Stress among seamen. *Psychol Rep*. 1998;83:708–10.

**References**

1. Time to act on mental health at sea web: <https://www.imarest.org/themarineprofessional/the-long-read/item/6003-time-to-act-on-mental-health-at-sea> [in English]
2. Samantha K. Brooks and Neil Greenberg Mental health and psychological wellbeing of maritime personnel: a systematic review web: <https://bmcpyschology.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40359-022-00850-4> [in English]
3. Bezluts'ka, O. P. (2021). Mental'ne zdorov'ia sudnovoho ofitsera iak vahoma skladova chastyna bezpeky sudnoplavstva [Mental health of the navigation officer as a significant component of navigation safety] *Naukovi pratsi Mizhrehional'noi akademii upravlinnia personalom. Psykholohiia* 2021. Vypusk 3. (52), 15–19. [in Ukrainian]
4. Soroka O.M. Vplyv psykhičnoi normatyvnosti ta aktsentuatsij kharakteru moriakiv na ikhniu stresostijkist' zalezjno vid tryvalosti rejsu ta ikhn'oho viku. [The influence of mental normativity and accentuations of character of seafarers on their stress resistance depending on the flight duration and age] *Dniprovs'kyj naukovyj chasopys publicлноho upravlinnia, psykholohii, prava*. 2022r., № 3. 129–138. [in Ukrainian]
5. On mental health care for seafarers web: [https://www.american-club.com/files/files/seafarers\\_mental\\_wellbeing\\_.pdf](https://www.american-club.com/files/files/seafarers_mental_wellbeing_.pdf) [in English]
6. Oldenburg M, Baur X, Schlaich C. (2010) Occupational risks and challenges of seafaring. *J Occup Health*. 2010;52:249–56. [in English]
7. Jensen H-J, Oldenburg M. (2019) Potentially traumatic experiences of seafarers. *J Occup Med Toxicol*. 2019;14:17. [in English]
8. Agterberg G, Passchier J. (1998) Stress among seamen. *Psychol Rep*. 1998;83:708–10. [in English]

О. Є. ГУДЗЬ

доктор економічних наук, професор,  
професор кафедри менеджменту  
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій  
ORCID: 0000-0002-9982-7328

С. М. ПЕТЬКУН

кандидат філософських наук, доцент,  
завідувач кафедри публічного управління та адміністрування  
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій  
ORCID: 0000-0002-0703-169X

## ФОРМУВАННЯ НОВОЇ МЕДІА РЕАЛЬНОСТІ В УМОВАХ ЦИФРОВИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

*В статті розкрито передумови формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій, уточнено сутнісні ознаки й характеристики нової медіа реальності у їх взаємопроникненні й взаємозв'язку, виявлено існуючі тренди й маркери її формування й чинники впливу на неї, окреслено траєкторії її розвитку та активізації дії на моделі поведінки держави, соціуму, різних економічних суб'єктів, аргументована необхідність врахування нових ризиків та загроз, обґрунтовано, що стандарти соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу, у контурі нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій, не можуть ґрунтуватися на усталених схемах та алгоритмах, і доцільно їх модернізувати на якісно новій платформі: справедливості, розмаїття інформації, прозорості, демократизації, поваги до правової системи, відкритості, транспарентності, поваги до особистості, свободи представлення різноманітних поглядів, підтримки загальних людських прав.*

*Зазначено, що важливу роль для розв'язання сучасних конфліктних ситуацій та проблем відіграє інтерактивність нових медіа, тобто чітка взаємодія та зворотній зв'язок із суспільством. Водночас, інтерактивність дає можливість чітко виявити запити суспільства до медіа, визначити їх ключові функції для комунікації держави, суспільства, бізнесу, економічних суб'єктів, які стають активними ініціаторами формування різних комунікаційних ланцюгів.*

*Нова медіа реальність породжує й нові ризики і загрози від різного роду маніпуляцій, анонімності, емоційних реакцій, симуляторів, нівелювання почуття реальності, кібер ризиків тощо. Нова медіа реальність змінює рівень прозорості суспільних процесів та позбавляє від табу публічно значимі події, розкриває таємниці, висвітлює багато прихованих тем (джерела збагачень, розлучення, садизм, булінг, корупція, кримінальні зв'язки, соціальна несправедливість тощо).*

*Оскільки, формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій вагомо впливає на стандарти соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу, то важливо у подальших дослідженнях, з'ясувати роль інноваційних медіа-технологій для забезпечення соціальної безпеки в цифровій державі з урахуванням вітчизняної специфіки.*

**Ключові слова:** медіа, нова медіа реальність, цифрові трансформації, соціальні медіа, цифрові перетворення, соціальна безпека, цифрова держава, нові медіа, соціальні мережі.

O. YE. GUDZ

Doctor of Economics, Professor,  
Professor at the Department of Management  
State University of Information and Communication Technologies  
ORCID: 0000-0002-9982-7328

S. M. PETKUN

PhD in Philosophy, Associate Professor,  
Head of the Department of Public Management and Administration  
State University of Information and Communication Technologies  
ORCID: 0000-0002-0703-169X

## SHAPING A NEW MEDIA REALITY IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

*The article reveals the prerequisites for the formation of a new media reality in the context of digital transformations, clarifies the essential features and characteristics of the new media reality in their interpenetration and interconnection, identifies existing trends and markers of its formation and factors of influence on it, outlines the trajectories of its*

*development and intensification of its impact on the behavioral patterns of the State, society, and various economic actors, argues the need to take into account new risks and threats, and proves that the standards of social protection and security and social responsibility of the State, in the contour of the new media reality in the context of digital transformations cannot be based on established schemes and algorithms, and it is advisable to modernize them on a qualitatively new platform: justice, diversity of information, transparency, democratization, respect for the legal system, openness, transparency, respect for the individual, freedom to present diverse views, and support for universal human rights.*

*It is noted that the interactivity of new media, i.e., clear interaction and feedback with society, plays an important role in resolving modern conflict situations and problems. At the same time, interactivity makes it possible to clearly identify the demands of society on the media, to determine their key functions for communications between the state, society, business, and economic entities, which are becoming active initiators of the formation of various communication chains.*

*The new media reality also gives rise to new risks and threats from various kinds of manipulations, anonymity, emotional reactions, simulations, leveling the sense of reality, cyber risks, etc. The new media reality changes the level of transparency of social processes and removes taboos from publicly significant events, reveals secrets, and highlights many hidden topics (sources of wealth, divorce, sadism, bullying, corruption, criminal connections, social injustice, etc.).*

*Since the formation of a new media reality in the context of digital transformation has a significant impact on the standards of social protection and security and social responsibility of the state and business, it is important to clarify the role of innovative media technologies in ensuring social security in the digital state, taking into account national specifics in further research.*

**Key words:** *media, new media reality, digital transformations, social media, digital transformations, social security, digital state, new media, social networks.*

### Постановка проблеми

Сучасний світ трансформується під інтенсивним впливом сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, мережевих комунікацій і взаємодій, що знаходить своє віддзеркалення у формуванні нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій для суспільства, держави, економічних суб'єктів. Сьогодні, неможливо розглядати стандарти соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу без розкриття їхнього системного взаємовпливу із новітніми медіа, конвергенції комунікаційних ланцюгів, що генерує нові можливості й створює нові проблеми у взаємовідносинах між державою, суспільством, бізнесом.

У контексті нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій виникла потреба розкрити передумови її формування, уточнити її сутнісні ознаки й характеристики у їх взаємопроникненні й взаємозв'язку, виявити існуючі тренди, маркери й чинники впливу, окреслити траєкторії її розвитку та активізації дії на моделі поведінки держави, соціуму, різних економічних суб'єктів щодо модернізації на якісно новій платформі стандартів соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу. Актуальність цієї статті підтверджується й тим, що без глибокого осмислення такого явища, як нова медіа реальність в умовах цифрових трансформацій, ми приречені до реактивних дій, не сприймаючи цілісної картини буття сучасного світу.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Наукові дискусії щодо проблем впливу інноваційних цифрових технологій на вектор розвитку суспільства, держави, різних економічних суб'єктів в умовах цифрових трансформацій у різних площинах, спостерігаються не один рік, особливо варто відмітити вагомих науковий внесок таких дослідників, як: Е. Ардевол, О. Боднарчук, Ж. Бодрияр, П. Вербицький, Р. Дебре, Л. Джеймс, Г. Дженкінс, О. Ігнатенко, Г. Інніс, Дж. Курран, В. Козаков, М. Кравченко, О. Кульчій, П. Левінсон, Д. Мак-Квейл, М. Маклюен, Н. Постман, Т. Сіверстен, Е. Тоффлер, К. Трегуб, Дж. Фіске, К. Ширкі, К. Якубович, С. Ясиневич. Водночас, проблема формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій через свою складність, різновекторність і пластичну гнучкість, й досі недостатньо досліджена, що можна пояснити, через стрімкий динамічний розвиток самих нових медіа, що ґрунтуються на взаємодії соціальних, психологічних, комунікаційних, управлінських, інформаційних методів, технологій, мереж та засобів.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є розкриття передумов формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій, уточнення сутнісних ознак й характеристик нової медіа реальності, виявлення існуючих трендів і маркерів її формування й чинників впливу на неї, окреслення траєкторії її розвитку та активізації дії на моделі поведінки держави, соціуму, різних економічних суб'єктів, аргументація необхідності врахування нових ризиків та загроз, обґрунтування доцільності модернізації стандартів соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу у контурі нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Канадській вчений М. Маклюен увів у широкий науковий вжиток дефініцію „media”, якою окреслював „різноманітні засоби комунікації, як провідники та антени нації, які керують метафорами” [12, с. 135], він здійснював ґрунтовне вивчення каналів комунікацій та їх вплив на людину та суспільство.

Вітчизняні дослідники, все частіше, акцентують увагу на багатовимірності терміну „media”, яке не обмежене технічними можливостями та „посередництвом”. Нині, медіа стали вагомим інститутом впливу на сучасний комунікаційний простір, рівень соціальної активності суспільства на усіх його рівнях. Фактично, теоретичному полю поняття „медіа” притаманна вкрай складна композиція з переплетінням різних елементів, неоднорідним простором об’єктів та суб’єктів, пов’язаних багатовекторними відносинами [13, с. 218].

Нині осмислення, природи й законів розвитку таких суспільних відносин під інтенсивним впливом цифрових комунікацій й технологій, пояснює необхідність пошуку траєкторій формування нової медіа реальності на основі пластичної інтеграції медійних, соціальних та технологічних новацій, які характеризуються суперечливістю, комбінаторикою інструментів впливу на соціум.

Сьогодні вся структура медіаспоживання трансформується, перевага все частіше віддається новим медіа, що відбувається через потужний вплив цифрових технологій на весь життєвий простір суспільства. Розвиток інформаційного цифрового формату сприяє зниженню попиту на традиційні медіа, водночас, зауважимо, що для частини аудиторії, традиційні медіа (не дивлячись на те, що вони забезпечують, на відміну від нових медіа, однубічну комунікацію) залишаються найбільш достовірними інформаційними джерелами.

Складовою частиною нової медіа реальності є соціальні медіа, пошукові системи, геолокаційні сервіси (All4geo, AlterGeo, FourSquare, Loopt), сукупність інтернет сервісів, платформ, форумів, Q&A-сервісів ((WikiAnswers, Yahoo!Answers, Google Answers, Askville, Quora, MouthShut.com, Epinions.com, TripAdvisor, Yelp.com, Customer Lobby), месенджери Skype, Viber, WhatsApp, Snapchat), соціальні мережі, блоги, медіахостінги (YouTube, DailyMotion, Vimeo, Instagram, Flickr, Last.fm, Spotify, Myspace; Delicious, Digg, Pinterest, Flipboard, Ustream.tv, SlideShare, Calameo), інтернет видання, довідники й енциклопедії (Wikipedia, Wetpaint), онлайн завави тощо.

Нова медіа реальність дозволяє, на принципово новій основі, взаємодіяти усім контактним аудиторіям між собою та з державою і суспільством, формувати різні спільноти за інтересами, швидко будувати різноманітні соціальні й комунікаційні ланцюги, проявляти соціальну активність (ретвіти, вподобайки, коментарі, репости тощо).

Трендами й маркерами формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій сьогодні можна вважати:

- підвищення рівня охоплення новими медіа (47% населення земної кулі);
- стрімко зростає кількість користувачів месенджерів;
- конвергентність зовнішніх різноманітних сайтів із соціальними медіа;
- вибіркова система обміну інформацією;
- поява спеціалізованих інтеграційних цифрових платформ;
- все частіше державні структури використовують різні нові медіа для надання інформації населенню, та комунікацій;
- персоніфікація соціальних медіа;
- збільшення значення аудіовізуальних засобів медіа інформації;
- розширені можливостей пошуку;
- удосконалення мобільних пристроїв;
- зменшення популярності текстових медіа;
- все частіше бізнес використовує різні нові медіа для надання клієнтам таргетованої інформації щодо своєї продукції, цін, акцій, бонусів, знижок, реклами;
- створення груп всередині аккаунту за інтересами;
- автоматичне надходження корисної, цікавої інформації;
- активний розвиток тематичних мереж;
- поширення висококомерціалізованого контенту;
- стрімкий розвиток технологій мобільного зв’язку;
- соціальні мережі стали вагомою невід’ємною частиною суспільного життя (найбільш популярними за кількістю користувачів вважаються: Facebook, YouTube, QZone, Instagram, X (Twitter), Tumblr;
- середньостатистичний користувач проглядає свій аккаунт двічі за день;
- на вектор контенту більше впливає глобальна інформаційна повістка, а не внутрішні проблеми;
- 50% споживачів, користуються соціальними мережами 1–5 годин на тиждень;
- зростання кількості різноманітних новин;
- користувачі все частіше пишуть коментарі, рекомендації, відгуки, побажання щодо бізнесу, якості обслуговування, товарів та послуг;
- оцифрування та створення нових новинних платформ;
- 72 % користувачів використовують соціальні медіа для отримання новин;
- набирають популярності колективні обговорення суспільно значимих подій;

збільшення кількості доступних медіа розваг;  
все частіше здійснюється обмін знаннями та досвідом (особливо ціни, акції та пропозиції);  
віртуалізація мультимедіа;  
створення нових технологій управління;  
широко використовуються геолокаційні сервіси, які вказують місце розташування друзів, об'єктів.

Вищезначені сучасні тренди й маркери формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій зумовлюють генерування єдиного медійного соціального простору та сприяють, щоб усі його учасники здобували певний інформаційно-комунікаційний досвід. Вказане, змінює саму основу медіасередовища й впливає на якість суспільного життя, включаючи етичні цінності, соціальні стандарти захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу, демократизацію усіх суспільних процесів. Такі характеристики нової медіа реальності потребують глибокого розуміння процесів взаємодії та мають сприйматися як джерело модернізації моделей поведінки держави, соціуму, різних економічних суб'єктів. Тобто, стандарти соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу, у контурі нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій, не можуть ґрунтуватися на усталених схемах та алгоритмах, і доцільно їх модернізувати на якісно новій платформі: справедливості, розмаїття інформації, прозорості, демократизації, поваги до правової системи, відкритості, транспарентності, поваги до особистості, свободи представлення різноманітних поглядів, підтримки загальних людських прав.

Е. Тоффлер переконує, що „новим медіа притаманні такі основні риси: інтерактивність, мобільність, зворотність, можливість взаємозв'язку, повсюдність і глобалізація” [14, с. 425].

Важливу роль для розв'язання сучасних конфліктних ситуацій та проблем відіграє інтерактивність нових медіа, тобто чітка взаємодія та зворотній зв'язок із суспільством. Водночас, інтерактивність дає можливість чітко виявити запити суспільства до медіа, визначити їх ключові функції для комунікацій держави, суспільства, бізнесу, економічних суб'єктів, які стають активними ініціаторами формування різних комунікаційних ланцюгів,

Комунікативна взаємодія сприяє чіткому усвідомленню ступеня впливу і взаємопроникнення нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій на усе суспільне життя. Інноваційні цифрові технології, спочатку сприймалися, як чисто технічні допоміжні інструменти фіксації, трансляції і тиражування інформаційних потоків, але дуже швидко нові медіа, перетворилися в потужний механізм впливу на суспільне життя, сформувавши нову медіа реальність і новий медіа простір. Саме нова медіа реальність формує знання щодо сприйняття світу і генерує основу соціально орієнтованого відношення людини до дійсності.

Тобто, „успіх новітніх медіа зумовлений потребою сучасного інформаційно-цифрового суспільства швидко отримувати необхідну інформацію у зручному форматі. Отже, це має бути оперативний і цікавий контент, який задовольнятиме всі запити контактних груп” [4, с. 86–92].

Т. Запорожець стверджує, що „новий імпульс і нові якості отримує вся система масової комунікації, зокрема це стосується соціальної інформації, яка охоплює світоглядну, духовну, естетичну, публіцистичну, побутову інформацію тощо” [2]. „Комунікаційна модель новітніх медіа уможливило не лише зворотний зв'язок, але й світову комунікацію, залучаючи окремі світи до єдиної глобальної мережі [5, с. 40]. Д. Каррен переконує, що „суспільні медіа як ідеологія незацікавленого професіоналізму, обережного балансування протилежних точок зору вважаються одним з індикаторів демократичності медіасистеми в Європі” [9, с. 27–57].

Отже, сучасна нова медіа реальність в умовах цифрових трансформацій змушує усіх учасників (суспільство, держава, бізнес, населення) медіакомунікативного простору по-новому дивитися на світ, позиціонувати дійсність та усвідомлювати свої можливості і переваги.

Епоха цифрових медіа породжує численні трансформації в суспільстві, комунікаційних моделях та алгоритмах поведінки державних установ, організацій, підприємств, населення: підвищується швидкість інформаційних потоків, відбувається їх персоналізація, інтерактивність, мультимедійність, гіпертекстовість, конвергенція, полегшуються комунікації, скорочується відстань між користувачами, спостерігається гнучкість форм та змісту контенту й потоковість його споживання, необмеженість обсягів, анонімність, віртуалізація, відсутність цензури й модерації, розширюються технологічні можливості й нарощуються комунікативні практики.

Німецький дослідник Н. Луман обґрунтовує можливість існування нової медіа реальності, яка формується під впливом нових інструментів мас медіа, і акцентує увагу на генеруванні й подвійної змістової реальності [11, с. 8–10], відмічаючи, що „визначальною для цієї реальності є комунікація як триєдність змісту інформації, процесу повідомлення інформації та розуміння її отримувачем. З іншого боку, реальність є конструкцією, спроектованою засобами масової інформації, яка полягає у відображенні мас-медійного змісту інформації для інших і постає, з першого погляду, як дещо незалежно існуюче, тобто мас-медіа „конструюють ще одну реальність, відмінну від них самих” [11, с. 8–10].

Трансформація медіа реальності віддзеркалюється у всіх аспектах суспільного життя, формуючи якісно новий його контур, що потребує інноваційних підходів до соціальних стандартів захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу. У таких умовах, актуалізується управлінський аспект проблеми. Так, сучасному

менеджеру на усіх ієрархічних рівнях (від державного, регіонального до підприємства) необхідно розуміти специфіку взаємодій з новою аудиторією, роль зв'язків з громадськістю, опанувати нові комунікаційні методи спілкування, комбінувати інформаційні формати щодо бажаного впливу та отримання максимально ефекту і підтримки від цільової аудиторії.

Нова медіа реальність, фактично виконує наступні функції: інформаційна; соціальна; підтримка свободи слова; критична; контролююча; відстоювання власної громадянської позиції; освітянська; право вільно виражати свої думки; інтеграційна щодо суспільних запитів та інтересів; підняття актуальних суспільних проблем; демократизації; мобілізаційна; моніторинг за розв'язанням важливих суспільних проблем.

Водночас, відмітимо, що формування нової медіа реальності впливає на зміну психологічних та соціальних аспектів суспільства, оскільки цифрові технології розвивають чи подавляють окремі риси соціального характеру, сприяють атомізації суспільства та демасифікація виробництва. При цьому, трансформуються механізми забезпечення транспарентності, прозорості та відкритості функціонування суспільства, держави та бізнесу. У цьому контексті, доречно згадати, що Д. Мак-Квейл пропонує „наступну схему: суспільні зміни – ідеї – нові технології – апеляція до старого – зміна старого – використання нового – адаптація комунікаційних інститутів – нові культурні форми – процес технічних і культурних змін” [3, 112]. Ця схема Д. Мак-Квейл наочно презентує, як саме нові цифрові технології впливають на трансформацію цінностей й соціальної парадигми, як взаємопов'язані явища, та в підсумку на формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій.

„Загалом, нові медіа суттєво розширили планетарно-масштабні можливості комунікації і, безперечно, вплинули на формування нової суспільної реальності. Сучасні мережеві технології дозволяють прямі стратегії влади замінити прихованими, неявними. З іншого боку, очевидно, що роль комунікативних технологій все більше зростатиме, що, без сумніву, матиме вплив на буття людини в культурі й визначатиме основні тенденції соціокультурного розвитку” [8, с. 44]. А. І.А. Нерубашенко стверджує, що „під впливом глобалізаційних процесів сучасний світ перебуває в умовах стрімкої трансформації, стаючи глобалізованим світом, для якого характерним є „комунікаційне зближення, пришвидшена динаміка обміну, взаємодія” [5, с. 95]. „Позитивним чинником є те, що соціальні медіа стали фундаментом розвитку громадянського суспільства. Через масовий вплив на громадську думку здійснюється оперативне інформування та консолідація громадян навколо важливих питань як державного, так і соціального характеру” [7, с. 198–206].

Тобто, нова медіа реальність, передбачає пильний нагляд громадськості за функціонуванням державних органів, різних організацій, установ, підприємств, їх соціально відповідальним відношенням до своїх працівників та суспільних запитів (волонтерства, довкілля, гуманітарних програм тощо) та можливість критичних зауважень від медіааматорів, блогерів тощо. Адже, нова медіа реальність генерує вплив суспільства і необхідність на нього адекватно реагувати, оскільки в новій медіа реальності, не можливо ігнорувати демократичні цінності, нормативні засади, думку більшості громадян.

В наукових публікаціях, знаходимо кілька підходів до осмислення впливу нових медіа. Передусім – це прихильники негативного ставлення до впливу нових медіа (так, А. Кін переконує, що буде „смерть культури під впливом інтернету” [10]. Другий підхід – це прихильники позитивного ставлення (так, Е. Тоффлер обґрунтовує формування „суспільства просьюмерів”, на прагматичному широкому використанні нових технологій [14]). Третій підхід – це прихильники нейтрального ставлення до впливу нових медіа як до цифрових технологій, які не несуть якісного змістового навантаження.

Наголосимо, що оскільки під впливом нових медіа формується нова медіа реальність на якісно нових ціннісних засадах, відбувається низка трансформацій соціокультурного, економічного, антропологічного значення, яка помітно відрізняється від попередньої, оскільки зміна форм комунікаційних взаємодій, змінює мову, культуру, когнітивну сферу, управлінські засади, економіку, соціальну структуру, ідентичність, моделі поведінки, сприйняття людьми світу тощо, то ми стверджуємо, що нові медіа й цифрові комунікаційні технології мають глибокий, перетворюваний соціальний потенціал.

Водночас, підтримуємо, що „інформаційне середовище соціальних медіа, з огляду на його зростаючу впливовість на свідомість користувачів, поступово стає також об'єктом впливу громадських організацій, владних структур, бізнесу. Воно також стає об'єктом маніпулятивних технологій, негативних інформаційних впливів” [6, с. 14]. Є прихильником цієї тези і Л. Дерман, відмічаючи, що „соціальні медіа формують особливий інформаційний простір і водночас виступають у якості інструментів, ефект застосування яких слід враховувати як в ході досягнення суспільного консенсусу, так і оцінюючи ризики розгортання конфліктів” [1, с. 17].

Таким чином, нова медіа реальність породжує й нові ризики і загрози від різного роду маніпуляцій, анонімності, емоційних реакцій, симуляторів, нівелювання почуття реальності, кібер ризиків тощо. Нова медіа реальність змінює рівень прозорості суспільних процесів та позбавляє від табу публічно значимі події, розкриває таємниці, висвітлює багато прихованих тем (джерела збагачень, розлучення, садизм, булінг, корупція, кримінальні зв'язки, соціальна несправедливість тощо).

Особливості нової медіа реальності генерують нові можливості для трансформації моделі поведінки держави, соціуму, різних економічних суб'єктів, модернізації стандартів, стратегії і тактики соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу. Отже, сучасна медіа реальність це особлива нова платформа медіакомунікацій і взаємодій, яка завдяки віртуалізації, неієрархічності, бліцкомунікаціям, мережевості, персоналізації суттєво впливає на усі сфери суспільного життя: державу, бізнес, соціальну безпеку і відповідальність, освіту, культуру тощо, зумовлюючи процеси якісних змін.

Сучасні події в Україні (широкомасштабна війна, окупація територій, міграція населення) змушують нову медіа реальність служити суспільним і державним інтересам та забезпечувати єдність суспільства, розвиток демократії, збільшення кола знань та розширення соціальної інформації, поглиблення відносин, збереження зв'язків, відображення і формування громадської думки, соціалізацію поведінкових моделей держави та бізнесу тощо.

#### Висновки

В статті розкрито передумови формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій, уточнено сутнісні ознаки й характеристики нової медіа реальності у їх взаємопроникненні й взаємозв'язку, виявлено існуючі тренди й маркери її формування й чинники впливу на неї, окреслено траєкторії її розвитку та активізації дії на моделі поведінки держави, соціуму, різних економічних суб'єктів, аргументована необхідність врахування нових ризиків та загроз, обґрунтовано, що стандарти соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу, у контурі нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій, не можуть ґрунтуватися на усталених схемах та алгоритмах, і доцільно їх модернізувати на якісно новій платформі: справедливості, розмаїття інформації, прозорості, демократизації, поваги до правової системи, відкритості, транспарентності, поваги до особистості, свободи представлення різноманітних поглядів, підтримки загальних людських прав.

Оскільки, формування нової медіа реальності в умовах цифрових трансформацій вагомо впливає на стандарти соціального захисту й безпеки та соціальної відповідальності держави й бізнесу, то важливо у подальших дослідженнях, з'ясувати роль інноваційних медіа-технологій для забезпечення соціальної безпеки в цифровій державі з урахуванням вітчизняної специфіки.

#### Список використаної літератури

1. Дерман, Л. М. Нові соціальні медіа в дизайні: соціокультурні та комунікативні аспекти. *Культурологічний альманах*, 2020 № 14, С. 15–17.
2. Запорожець Т.М. *Медійний простір як середовище зародження інфолюдності*. URL: [http://ippo.org.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2180&Itemid=41](http://ippo.org.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=2180&Itemid=41).
3. Мак-Квейл Д. *Теорія масової комунікації*: пер. з англ. О. Возня, Г. Сташків. Львів. Літопис, 2010. 538 с.
4. Наумова М. Нові медіа та традиційні ЗМІ: моделі співіснування. *Актуальні проблеми соціології, психології, педагогіки*. 2011. Вип. 13. С. 86–92.
5. Нерубашенко І. А. *Глобальне громадянське суспільство: шляхи формування та перспективи розвитку* (дис. ... кандидата політ. наук). Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К. Д. Ушинського. Одеса, 2015. 235 с.
6. Онищенко О.С., Горовий В.М., Попик В.Ф. *Соціальні мережі як чинник розвитку громадянського суспільства*: монографія. За ред. Т.П. Дубас. Київ. НБУВ, 2013. 220 с.
7. Рудик М. Вплив соціальних медіа на формування громадської думки. *Вісник Львівського ун-ту. Сер.: Журналістика*. 2020. Вип. 48. С. 198–206.
8. Шевчук К. Вплив мас-медіа на формування нової суспільної реальності. *Наукові записки Нац. ун-ту «Острозька академія»*. Сер.: *Філософія*. 2010. Вип. 6. С. 38–44.
9. Curran J., Hesmondhalgh D. *Media and society*. NY: Bloomsbury Academic, 2019. 358 p.
10. Keen Andrew. *The Cult of the Amateur: How Today's Internet Is Killing Our Culture*. N.Y., 2007. 228 p.
11. Luhmann Niklas. *Die Realitat der Massenmedien fur Sozialwissenschaften I* GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden 2004. 256 с.
12. McLuhan, Herbert Marshall. *Understanding Media: The Extensions Of Man*. 1st Ed.: McGraw Hill, 1964; Reissued by MIT Press, 1994. 464 с.
13. McQuaills D. *Mass Communication Theory*. London. Sage, 2010. 632 p.
14. Toffler Alvin. *Powershift: Knowledge, Wealth and Violence at the Edge of the 21st Century*, 1990. 669 с.

#### References

1. Derman L.M. (2020) Novi sotsial'ni media v diza'yni: sotsijjuk'turni ta komunikativni aspekti [New social media in design: socio-cultural and communicative aspects]. *Cultural almanac*. no. 14, pp. 15–17.
2. Zaporozhets T.M. Medi'ni' prostir yak seredovishe zarodzhennya infolyudini. [Media space as an environment for the emergence of the infohuman]. [http://ippo.org.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2180&Itemid=41](http://ippo.org.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=2180&Itemid=41).



3. McQuail D. (2010) Теорія масової комунікації: Teoriya masovoyi komunikatsiyi: [Theory of mass communication] translated from English by O. Voznia, G. Stashkiv. (Ukrainian. Lviv. Chronicle 2010) P. 538.
4. Naumova M. (2011) Novi media ta traditsi'ni ZMI: modeli spivisnuvannya. [New media and traditional media: models of coexistence]. *Topical issues of sociology, psychology, and pedagogy*. vol. 13, pp. 86–92.
5. Nerubashchenko I. A. (2015) Global'ne gromadyanc'ke suspil'stvo: shlyahi formuvannya ta perspektivi rosvitku [Global civil society: ways of formation and prospects for development] (Candidate of Political Science). South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushynsky. Odesa. Ukrainian. P. 235.
6. Onishchenko O.S., Horovyi V.M., Popyk V.F. (2013) Sotsialni merezhi yak chynnyk rozvytku hromadianskoho suspilstva: monohrafiia [Social networks as a factor in the development of civil society]: monograph. Edited by T.P. Dubas. Kyiv. NATIONAL BANK OF UKRAINE. p. 220.
7. Rudyk M. Vplyv sotsialnykh media na formuvannya hromadskoi dumky. [The influence of social media on the formation of public opinion]. *Bulletin of Lviv University*. vol. 48, pp. 198–206.
8. Shevchuk K. Vplyv mas-media na formuvannya novoi suspilnoi realnosti. [The influence of mass media on the formation of a new social reality]. *Scientific Notes of the National University of Ostroh Academy*. vol. 6. pp. 38–44.
9. Curran J., Hesmondhalgh D. (2019). Media and society [Media and society]. NY: Bloomsbury Academic. p. 358.
10. Keen Andrew. (2007) The Cult of the Amateur: How Today's Internet Is Killing Our Culture. N.Y. p. 228.
11. Luhmann Niklas. (2004) Die Realitat der Massenmedien fur Sozialwissenschaften I GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. p. 256.
12. McLuhan, Herbert Marshall. (1994). Understanding Media: The Extensions Of Man. 1st Ed.: McGraw Hill, 1964; Reissued by MIT Press. p. 464.
13. McQuails D. (2010) Mass Communication Theory. London. Sage. p. 632.
14. Toffler Alvin. (1990). Powershift: Knowledge, Wealth and Violence at the Edge of the 21st Century. p. 669.

В. М. ДЕМЧЕНКО

кандидат філологічних наук, доцент,  
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0003-1841-7798

## ДЕРЖАВНИЙ ІМПЕРАТИВ ЩОДО МИСТЕЦТВА (ЗА ДОКУМЕНТОМ 1925 РОКУ)

У статті проаналізовано постанову Політбюро ЦК РКП(б) «Про політику партії в галузі художньої літератури» від 18 червня 1925 року як комплекс імперативних настанов щодо розвитку « нової » радянської (« пролетарської ») літератури (ї мистецтва загалом), що висвітлює, по-перше, провідну роль партійних органів в організації та контролі всіх сфер суспільного життя, а по-друге – адміністративно-командний стиль такої організації. Визначено, що ці настанови насамперед мали вплив на розвиток української літератури, оскільки національне питання для цілості імперського організму було найбільш небезпечним, а тому події 20-тих років ХХ сторіччя можна проєктувати на сучасне протистояння України з Росією.

Автором з'ясовано, що в постанові подано відповідні режиму правила й обмеження щодо літературної творчості, зокрема вже спостерігається тенденція до дотримання однієї « лінії » радянського мистецтва, де « селянські » письменники перебувають у ролі тих, кому допомагають, а « попутники » – тих, кого потрібно терпіти, шукаючи шляхів до їхньої « пролетаризації ». Зазначено, що в подальшому, коли літератор раптом відхилився від « генеральної лінії » радянської ідеології тим, що висвітлював соціальну несправедливість або етногенезні тенденції, він був не лише ізольований від суспільства, але й публічно засуджений з усілякими додатковими ярликами на кшталт « петлюрівець », « махновець » або й особистим ярликом (наприклад, сталінський « хвильовізм » щодо М. Хвильового).

Робиться висновок, що проаналізована постанова є перехідним документом до конкретних маркованих як імперативні від радянської влади актів, за якими відбувалися вже безпосередні репресії щодо літераторів, зокрема й українських.

**Ключові слова:** постанова, партія, імперативні риси, пролетарська, селянська література, інтелігенція.

V. M. DEMCHENKO

Candidate of Philological Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Public Administration  
and Local Self-Government  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0003-1841-7798

## STATE IMPERATIVE ON ART (ACCORDING TO DOCUMENT OF 1925)

The article analyzes the Resolution of the Politburo of the Central Committee of the RCP (B) «On the Party's Policy in the Field of Fiction» of June 18, 1925 as a set of imperative guidelines for the development of «new» Soviet («proletarian») literature (and art in general), which highlights, firstly, the leading role of party bodies in the organization and control of all spheres of public life, and secondly – the administrative-command style of such an organization. It is determined that these guidelines primarily influenced the development of Ukrainian literature, as national issues were the most dangerous for the integrity of the imperial organism, and therefore the events of the 1920s can be projected on the current confrontation between Ukraine and Russia.

The author finds that the Resolution sets out the rules and restrictions on literary creativity, in particular, there is already a tendency to adhere to one «line» of Soviet art, where «peasant» writers are in the role of those who help, and «companions» – those, who must be tolerated, looking for ways to their «proletarianization». It is noted that later, when the writer suddenly deviated from the «general line» of Soviet ideology by covering social injustice or ethnogenetic tendencies, he was not only isolated from society, but also publicly condemned with all sorts of additional labels like «Petlurivets», «Makhnovets» or a personal label (for example, Stalin's «khylovizm» about M. Khylovyyi).

It is concluded that the analyzed Resolution is a transitional document to those specifically marked as imperative by the Soviet authorities, according to which direct repressions against writers, including Ukrainian ones, have already taken place.

**Key words:** resolution, party, imperative features, proletarian, peasant literature, intelligentsia.

### Постановка проблеми

Пильна увага з боку тоталітарної влади саме до української культури йде ще від часів Т. Шевченка, коли ставлення до нього відбивало не лише роль власне світоча українського етносу, але й провідника незалежності. І якщо в тій історії присутній ще й особистий інтерес монарха (не визначений до кінця дослідниками), то в подальшому

до будь-якого українського митця, який не вкладався в розроблені режимною системою правила й обмеження (про що і як писати, як відтворювати реалії життя, кого славити тощо), застосовувалися найсуворіші каральні заходи. Уважаємо, що все ж таки головною пересторогою тогочасної влади був тотальний контроль саме над Україною – і не лише як територіальною частиною імперії (російської та советської), а як історичним базисом, декларованим у XVIII сторіччі як початок «великої держави». І базисом як державним, так і релігійним, що, можливо, ставилося навіть вище. Сьогодні ж уже всім зрозуміло, що термін «Мала Росія» означав автохтонну українську територію з назвою Русь – давно з віковими історичними традиціями (як Мала Азія, Мала Вірменія тощо), а «Велика Росія» – цілинну нову землю – ще без давніх традицій і історичної слави. Зрозуміло, що державний конгломерат із новою назвою Україна, але комплексом отих історичних давностей і славностей дуже дратував імперських ідеологів й особисто самодержців. Зрештою це призводило до різноманітних репресій як щодо окремих осіб – українських діячів, так і щодо такого феномену, як українська національна мова. А оскільки головними провідниками цієї мови були митці слова – літератори, то до них було прикуто пильну увагу ідеологів імперії – як Російської, так і Советської (відразу зауважимо, що термін «радянська» не відповідає своїй сутності, адже декларована більшовиками влада рад була фікцією, а реальна влада належала партії). Саме тому самодержавство час від часу забороняло будь-яке публічне постання літератури українською мовою, а советська влада всілякими засобами обмежувала чи вихолощувала ідеологічно українську художню літературу.

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

Зважаючи на вищенаведені чинники, можемо зауважити неймовірну актуальність цих колізій, оскільки пильний погляд московських владних структур на сучасну Україну, незбагненність їхніх воєнних задумів, нескінченний інформаційний тиск на українське суспільство – від пострадянських громадян до власне українського молодого покоління – залишаються найбільшою небезпекою для української державності. Тому провідні українські вчені – філософи, політологи, лінгвісти – виявляють цю небезпеку для української ідентичності (навіть існує термін «ідентицид») і пропонують засоби для її уникнення. Так, ще 1968 року Павло Штепа описав небезпеку мовної інтерференції та духовної асиміляції на всіх рівнях етнічних стосунків – від ментального до економічного й політичного [5]. Його думки продовжує Іван Дзюба вже в наші часи незалежності, протиставляючи системи духовних цінностей українців і росіян і виявляючи європейську генезу перших і азійську – других [1]. У свою чергу Галина Могильницька описує факти «історичного мародерства» російської імперською силою культурних здобутків українців [2], а Лариса Масенко – факти репресування самої української мови, безпосередньо називаючи це лінгвоцидом [3]. Тобто все, що пов'язано з утискуванням національної мови та культури українців, становить сьогодні не лише науковий інтерес, але і правовий фактаж для подальших обвинувачень у злочинах проти людства советської влади.

#### **Формулювання мети дослідження**

Саме тому метою цієї статті визначаємо аналіз імперативного ідеологічного впливу на розвиток української літератури у 20-ті роки XX сторіччя з проєкцією на сучасне протистояння України з Росією.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Відповідно до відзначених вище режимних правил й обмежень щодо літературної творчості загалом у «союзі» та зокрема в українському його складнику, від держави передбачалися не лише покарання, а й заохочення: сумлінним щодо влади митцям надавалися всілякі пільги, зокрема з вирішення побутових проблем (квартири, пайки, спецлікарні, курорти, службові автомобілі, дачі тощо), тобто сприяння у ще більш продуктивній їх праці в галузі ідеологічного впливу на народні маси. З іншого боку, створювався й відповідний контекст сприйняття й розуміння цього населенням: для народу, який таких пільг не мав, але мусив також виявляти продуктивну працю, митці – письменники, поети, композитори, режисери, художники тощо – мали імідж ледь не героїв, еліти, яка не лише розважає трудівника, але й навчає його та навіть бере участь у державотворенні у статусі народного депутата чи займає державні певні посади (як Олесь Гончар, Павло Тичина, Микола Бажан чи Олександр Корнійчук).

І тому коли такий літератор раптом відхилявся від «генеральної лінії» советської ідеології, натякаючи на соціальну несправедливість або етногенезні тенденції, він мав не лише бути ізольований від суспільства, але й публічно засуджений, отримуючи при тому ще й усілякі додаткові ярлики на кшталт «петлюрівець», «махновець» або й особистий ярлик (як-от неологізм «хвильовізм» з уст Йосифа Сталіна щодо Миколи Хвильового).

Принагідно зауважимо, що всі тогочасні діячі, прізвища яких ще донедавна були закарбовані в системі української мікротопонімії (20 років в умовах декларативного «незалежної України!»), були активними виконавцями партійних указівок у галузі культури й освіти. Ці колізії відбито в численних документах – постановах, матеріалах з'їздів тощо, а також безпосередньо в їхніх творах, що входили в освітні програми, ставали сценаріями до кінофільмів, тобто отримали публічну реалізацію. Одним із таких документів є постанова Політбюро ЦК РКП(б) «Про політику партії в галузі художньої літератури» від 18 червня 1925 року, яку ми взяли для аналізу. Спробуємо розглянути цей документ у сенсі виявлення імперативних положень від влади та прокоментуємо їх відповідно до сучасних політичних тенденцій і логіки. Він саме й побудований таким чином, що акцентує на політичних гаслах і концептах, а не на якихось конкретних заходах. Тобто є більшою мірою стратегією, а не тактикою.

По-перше, в постанові зазначаються конкретні її виконавці – «товариші Варейкіс, Бухарін, Луначарський, Раскольников, Лелевич», а також Троцький як остаточна / затверджувальна інстанція в цьому питанні [4]. По-друге, розподілимо текст на окремі тези, у яких саме й закладено основні завдання означеним «товаришам».

Теза 1. «Підйом матеріального добробуту мас за останній час, у зв'язку з переворотом в умах, виробленим революцією, посиленням масової активності, гігантським розширенням світогляду тощо, створює значне зростання культурних запитів і потреб» [4].

У цьому повною мірою демагогічному вислові (відповідні маркери – віддієслівні форми «підйом», «переворот», «розширення») міститься дух революційної романтики, який щиро сприйняли на Заході, зокрема в США, де саме так виникла дещо дивна симпатія до молодої більшовицької країни (наприклад, був підданий обструкції Джордж Орвел, який бачив у цьому початок тоталітаризму, до того ж – у всьому світі). Утім ця симпатія зрештою призвела до перемоги над Німеччиною у другій світовій війні, адже США здійснив суттєву допомогу советській країні зброєю, продовольством і зрештою другим фронтом. Цей комплекс фіктивних перемог революції більшовицька ідеологія називає «культурною революцією», що є «передумовою подальшого руху до комуністичного суспільства» (дещо пізніше до цієї тези буде додано обставину «у всьому світі», що також стала одним із чинників початку Другої світової війни).

Теза 2. «Частиною цього масового культурного зростання є зростання нової літератури – пролетарської та селянської насамперед, починаючи від її зародкових, але в той же час небувало широких за своїм охопленням форм (робкори, сількори, стінгазети тощо) і кінчаючи ідеологічно усвідомленою літературно-художньою продукцією» [4].

Знову-таки акцентуємо на демагогії, висловленої в гіперніміїчних формах («масове зростання», «небувало широкі») та нових термінах («робкори», «сількори», «стінгазети»), які зрештою нівелюються терміном з економіки «продукція» та політичною ознакою «ідеологічно усвідомлена» стосовно літератури, що апріорі передбачає духовну сутність і наповненість. Тобто всі тогочасні імперативні маркери – «посилення», «активізація», «перевищення плану» тощо – належні й до духовної сфери, адже також ідеологічно зумовлені. Ще одну фальсифікацію (поряд із головними термінами «радянська влада», «комунізм», «соціалізм», «сільськогосподарська артіль», які не відповідали своїй сутності) виділяємо тут – ототожнення у правах «пролетарів і селян», що насправді було нерівним, адже робітники вже через сам стереотип «творці революції», «гегемон» тощо були вищими у правах, селяни ж фактично були в рабській залежності (не мали навіть паспортів) і кріпосній прив'язці до колгоспу, що зрештою призвело до кількох голодоморів.

Теза 3. «Процес народження і зміцнення нової буржуазії... неминучий, хоча на перших порах не завжди усвідомлений потяг до неї частини старої та нової інтелігенції; хімічне виділення з громадських глибин нових і нових ідеологічних агентів цієї буржуазії, – усе це має неминуче позначатися і на літературній поверхні суспільного життя» [4].

Цією тезою поступово підводиться до розуміння потреби владної прерогативи, і саме в літературі, хоча застосування терміна «ідеологічні агенти буржуазії», що відверто негативно конотований, виправдовує подальше скасування ленінської ідеї розвитку малого бізнесу. Звертаємо увагу також на прив'язку до цього негативу й інтелігенції, причому «старої та нової» – для можливості подальшого їх репресування (що й трапилося, незважаючи на приналежність до комуністів, героїзм, посади тощо). Недарма у кінофільмі «Чапаєв» 1934 року в одному з епізодів солдат презирливо називає стрій білогвардійських офіцерів «інтелігенцією». Так упродовжувалися потрібні ідеологічні стереотипи у свідомості пересічних громадян (до речі, останнє слово також було негативно конотоване – саме «громадянином» називали злочинця на протигагу «товаришу», і фраза «ви нам не товариші» була рівносильна називанню ворогами).

Теза 4. «Таким чином, як не припиняється у нас класова боротьба взагалі, так точно вона не припиняється і на літературному фронті» [4].

Вислів приводить зрештою до усвідомлення того, що й літератор тепер стає об'єктом ідеологічного контролю та імперативного тиску. Зауважимо, що перед цим функціювали різноманітні творчі спілки з різними концептами й напрямками (робітничі, селянські, учнівські тощо), відбувалися відкриті дискусії на сторінках преси, писалися реальні критичні статті. Після цієї постанови буде вже лише одна спілка, концептуально обмежена, члени якої будуть критикуватися лише з одного боку – відповідно до вказівки партійних органів, а після того – підлягати жорсткому покаранню у формі вислання на північний схід країни, куди в часи імперії висилалися найбільш небезпечні злочинці – убивці та терористи. Тому аналізована постановка беззаперечно констатує: «немає і не може бути нейтрального мистецтва» і «форми класової значущості мистецтва взагалі, і літератури зокрема, нескінченно більш різноманітні», що відповідає сталінському «хто не з нами – той проти нас». Тобто залишається одне – славити революцію, чинну владу й незмінного диктатора.

Теза 5. «Якщо до захоплення влади пролетарська партія розпалювала класову боротьбу і вела лінію на вибух всього суспільства, то в період пролетарської диктатури перед партією пролетаріату стоїть питання про те, як ужитися з селянством і повільно переробити його; питання про те, як допустити співпрацю з буржуазією і повільно

вितісняти її; питання про те, як поставити на службу революції технічну і будь-яку іншу інтелігенцію та ідеологічно відвоювати її у буржуазії» [4].

У цій тезі потрібно виділити перехід від провідного на той час терміна «пролетарська диктатура» до нечасто використовуваного «пролетарська партія», що є більш правильним у сенсі її керівної ролі (далі фіксуються завдання саме партії більшовиків), проте також фікцією щодо ознаки «пролетарська», адже жодного робітника в ній первинно не було, а були лише професійні революціонери й усвідомлені терористи. Що ж до селянства, то ми вже відзначали вище фейкову природу уваги до нього, адже до 1961 року (як і сто років до того) селяни були закриті в місцях свого проживання, де вони були прикріплені до своїх колгоспів (тобто реально кріпаки).

Теза 6. «Процес проникнення діалектичного матеріалізму в абсолютно нові галузі (біологію, психологію, природничі науки взагалі) вже почався. Завоювання позицій в галузі художньої літератури точно так же рано чи пізно має стати фактом» [4].

У цій тезі імператив «має стати фактом» із безальтернативною конкретизацією «рано чи пізно» позначає вже сферу керування художньою літературою, що також визначається як завдання тієї «пролетарської партії». Тобто вона керує всім – економікою, культурою, спортом, наукою (як прикладною, так і академічною), освітою, ще багато чим, а тому й літературою. Документально ж така керівна роль партії декларується лише 1977 року (! – емоція моя – В.Д.), що вчергове доводить фейковість советської пропаганди.

Теза 7. «...він [пролетаріат] не міг розробити ні питань природно-наукових, ні технічних, так само як він, клас культурно пригнічений, не міг виробити своєї художньої літератури, своєї особливої художньої форми, свого стилю» [4].

Тут уже обґрунтовується потреба вироблення свого художнього стилю, який відповідатиме загальній концепції «діалектичного матеріалізму», тобто дається простір для діяльності не лише літераторам, а й публіцистам і критикам, які також мусили «творити» в чітких рамках «матеріалізму» та «колективізму», виробивши новий стиль «соцреалізм» (тобто є реалізм і якийсь інший – звісно, буржуазний, бо відкидати Бальзака, Толстого чи Гессе, не дозволяючи їх читати, немає можливості). Із логічного боку, описана ситуація дещо не логічна, адже «пролетарський» письменник із таким виробленим під керівництвом партії більшовиків стилем переважно не був робітником за професією, а часто навпаки – інтелігентом за походженням, і тому не був пригніченим й обмеженим у сенсі освіти.

Теза 8. «Вищесказаним має визначитися політика керівної партії пролетаріату в галузі художньої літератури. Сюди насамперед належать такі питання: співвідношення між пролетарськими письменниками, селянськими письменниками і так званими «попутниками» та іншими; політика партії щодо самих пролетарських письменників; питання критики; питання про стиль і форму художніх творів і методи вироблення нових художніх форм; нарешті, питання організаційного характеру».

Звертаємо увагу на питання «співвідношення», адже це стосується вже кількісних вимірів, тобто партія визначатиме кількість пролетарських і селянських письменників, щоб вони відповідали якійсь потрібній пропорції. Це не дуже відповідає сутності письменства як духовної сфери, де багато спонтанного, заснованого на творчій насназі. Те саме стосується й подальших імперативів про контроль над стилем, формою, критикою й навіть «методами вироблення», тобто ніби говориться про виробництво певної продукції.

Теза 9. «Селянські письменники мають зустрічати дружній прийом і користуватися нашою безумовною підтримкою. Завдання полягає в тому, щоб переводити їх кадри на рейки пролетарської ідеології, аж ніяк однак не витравлюючи з їхньої творчості селянських літературно-художніх образів, які і є необхідною передумовою для впливу на селянство» [4].

У цій тезі надається увага митцям, які описували сільську тематику. Проте загадкову колізію «селянські літературно-художні образи на рейках пролетарської ідеології» чимало письменників зрозуміли як певний мікс цих двох площин (наприклад, Михайло Шолохов зі своєю «Піднятою цілиною», яка ставилася в театрах і навіть співалася як опера). Українські письменники взагалі сприймалися попервах лише як «селянські», а з іншими темами каралися (як Микола Хвильовий).

Теза 10. «Щодо «попутників» потрібно мати на увазі таке: 1) їх диференційованість; 2) значення багатьох із них як кваліфікованих фахівців літературної техніки; 3) можливість коливання серед цього прошарку письменників» [4].

У цій тезі говориться про «попутників» (евфемізм до переважно «інтелігентів») зі зазначенням обставин, які можна в подальшому фіксувати в судових рішеннях («можливість коливання») та в доборі до лав письменництва («диференційованість», «кваліфіковані фахівці»). Далі наявна більш конкретна теза «відсіваючи антипролетарські й антиреволюційні елементи», хоча й потрібно «терпляче ставитися», «допомагати» та має бути «тісна товариська співпраця».

Теза 11. «Щодо пролетарських письменників партія має зайняти таку позицію: всіляко допомагаючи їх зростанню і всіляко їх підтримуючи, партія мусить попереджати всіма засобами прояв комчванства серед них як найбільш згубного явища» [4].

Тут фіксуємо один із найбільш лицемірних виявів советської системи – її самокритику. Зокрема «комчванство» позначає, певно, зарозумілість і зверхність партійців стосовно інших. Далі конкретизується: «всіляко боротися проти легковажного і зневажливого ставлення до старого культурного спадку, а також і до фахівців художнього слова», а також робляться вже конкретні настанови в душі всезнаючої партії: «широке охоплення явищ у всій їх складності», «не замикатися в рамках одного заводу», «бути літературою не цеховою, а великого класу, що веде за собою мільйони селян» із підсумуванням «такими мають бути рамки змісту пролетарської літератури» [4]. Тобто поступово в постанові нагнітання доходить до імперативу, а «зарозумілість» саме і проглядає з перелічених вказівок партії як провідного фахівця у всьому. Це не дивно, адже сам Сталін уважав себе (як й інші диктатори) знавцем будь-якої теми – наприклад, мовознавчої, з якої в нього навіть є книга.

Теза 12. «Вищесказаним загалом визначаються завдання критики, що є одним з головних виховних знарядь в руках партії» [4]. Цей імператив пояснюється як неприхована належність літературної критики до сфери діяльності партії. А тому «комуністична критика мусить нещадно боротися проти контрреволюційних проявів у літературі», до яких відносить зокрема «лібералізм». І тут же те зазначене вище лицемірство: «Комуністична критика мусить вигнати зі свого побуту тон літературної команди», «рішуче виганяти зі свого середовища всяке претензійне, напівграмотне й самовдоволене комчванство». Якщо це «чванство» й не виходило на масового читача, то в усякому разі й не каралося, як реальна критика (до якої навіть придумано було диференціальний відповідник «критиканство»). Звертаємо увагу також на додаткові ознаки до традиційних термінів, що так властиві «пролетарській» новомові: критика не просто сама по собі, а комуністична.

Теза 13. «Керуючи літературою загалом, партія так само мало може підтримувати будь-яку одну фракцію літератури» [4], що вказує на те, що ще не настав час, коли не буде різних «фракцій», а буде одна спілка письменників. Проте далі говориться, що той «стиль, відповідний епосі, буде створено, але він буде створений іншими методами, і рішення цього питання ще не намітилося», де відзначаємо імперативно марковану дієслівну форму «буде створено» і загадкову страхітливу «буде створений іншими методами», про які нам уже відомо. То була диференціація – тому митцю до спілки, а тому – до Сибіру. І знаючи характер тієї партії, ми переконані, що рішення про одну спілку вже було завчасно ухвалене, і список перших жертв того ущільнення письменницького кола був уже готовий.

Теза 14. «Тому партія має висловлюватися за вільне змагання різних угруповань і течій в цій сфері» [4]. Відповідно до наведеного нами вище знову бачимо лицемірну гру у справедливую владу, що відкидає «казенно-бюрократичні псевдорішення», «монополію на літературно-видавничу справу», і вони вже через кілька років стали реальними й буденними, як і «некомпетентне адміністративне втручання в літературні справи» (теза 15). У тому ж стилі можна назвати це псевдосамокритикою. І взагалі всі оті «псевдо» характеризують саме владу партії більшовиків, психологію самого диктатора, висувані ними цінності й ознаки, що ми бачимо сьогодні – у першій чверті XXI століття – у деклараціях і меседжах російської ідеології. Повне лицемірство й фікцію.

Усі наведені вище положення постанови зводяться до декларування головної функції партії у сфері художньої літератури – контролю через засоби літературної критики, а також до потреби масового охоплення літературою робітників і селян через вироблення нової форми, стилю («соцреалізму»). Також наявна й теза про розвиток літератури народів «нашого Союзу» (теза 16), що було формально реалізовано, але знов-таки – у декларативно встановлених межах означеного стилю.

### Висновки

Отже, проаналізувавши виділені тези з постанови від 18 червня 1925 року, можемо зробити такі загальні висновки: демагогічний характер такого імперативного документа виявляється в маркерах – віддієслівних формах «підійом», «переворот», «розширення», словосполученнях «культурна революція», «рух до комуністичного суспільства», оцінних формах «небувало широкі», «масове зростання», нових термінах («робкори», «сількори», «стінгазети»), які зрештою нівелюються терміном з економіки «продукція» та політичною ознакою «ідеологічно усвідомлена» стосовно літератури, що апріорі передбачає духовну сутність і наповненість. Також уже наявні в таких документах негативно конотовані ярлики на кшталт «ідеологічні агенти буржуазії», «контрреволюційні прояви в літературі» (до яких зокрема віднесено лібералізм). Виявлено ознаки лицемірної ідеологічної політики, у межах якої партія вдається навіть до формальної самокритики, і тут-таки виявляє ті критиковані вище риси в наступних імперативах, де самовпевнено дає настанови щодо вибору стилю, форми, методів створення художніх творів, вираховує кількісний баланс між пролетарськими й селянськими письменниками й дає їм «фахові» поради. Також говориться про перспективи утворення однієї спілки митців слова на місці кількох різноманітних, хоча це питання давно вирішене, як і сумна доля тих письменників, які не ввійдуть до її складу.

Загалом же проаналізована постанова є перехідним документом до подальших конкретно маркованих як імперативні актів від советської влади, за якими вже відбувалися репресії щодо літераторів, зокрема й українських.

**Список використаної літератури**

1. Дзюба І. Микола Хвильовий: «Азіятський ренесанс» і «Психологічна Європа». URL : [https://dt.ua/CULTURE/mikola\\_hviloviy\\_aziyatskiy\\_renesans\\_i\\_psihologichna\\_evropa.html](https://dt.ua/CULTURE/mikola_hviloviy_aziyatskiy_renesans_i_psihologichna_evropa.html)
2. Масенко Л. Т. Українська мова у ХХ сторіччі: історія лінгвоциду. Київ : КМ Академія, 2005. 399 с.
3. Могильницька Г. Міфотворчість як обґрунтування історичного мародерства. Бровари: Українська ідея, 2009. 184 с.
4. Постановление Политбюро ЦК РКП(б) «О политике партии в области художественной литературы» (18 июня 1925 г.). URL : <http://www.hist.msu.ru/ER/Text/USSR/1925.htm>
5. Штепа П. Московство, його походження, зміст, форми й історична тяглість. Ч.1. Торонто: Вид. С. Стасишина, 1968. 345 с.

**References**

1. Dzyuba I. Mykola Khvyl'ovyi: «Aziyat's'kyu renesans» i «Psykhologichna Evropa» [«Asian Renaissance» and «Psychological Europe»]. URL : [https://dt.ua/CULTURE/mikola\\_hviloviy\\_aziyatskiy\\_renesans\\_i\\_psihologichna\\_evropa.html](https://dt.ua/CULTURE/mikola_hviloviy_aziyatskiy_renesans_i_psihologichna_evropa.html)
2. Masenko L. T. (2005) Ukrayins'ka mova u KHKH storichchi: istoriya linhvotsydu [The Ukrainian language in the 20th century: the history of linguicide]. Kyiv : KM Akademiya, 399 s.
3. Mohyl'nyts'ka H. (2009) Mifotvorchist' yak obgruntuvannya istorychnoho maroderstva [Myth-making as a justification for historical looting]. Brovari: Ukrayins'ka ideya, 184 s.
4. Postanovlenye Polytburo TSK RKP(b) «O polytyke partyy v oblasti khudozhestvennoy lyteratury» (18 iyunya 1925 h.) [Resolution of the Politburo of the Central Committee of the RCP(b) «On Party Policy in the Field of Fiction» (June 18, 1925)]. URL : <http://www.hist.msu.ru/ER/Text/USSR/1925.htm>
5. Shtepa P. (1968) Moskovstvo, yoho pokhodzhennya, zmist, formy y istorychna tyahlist' [Muscovism, its origin, content, forms and historical duration]. CH.1. Toronto: Vyd. S. Stasyshyna, 345 s.

Н. М. КОВАЛЬСЬКА

кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-5758-8373

## ГЕНДЕРНА ПОЛІТИКА В УКРАЇНІ: АКТУАЛЬНІСТЬ І НОВАЦІЇ

*У статті розглянуто питання гендерної політики в Україні, зокрема нові підходи з боку науковців і законодавців до вирішення проблем гендерної рівності. Так, проаналізовано відповідний правовий принцип, що дає можливість установити гендерний паритет у суспільстві, нівелювавши нерівноправність жінок і чоловіків у правах і можливостях у різних сферах суспільного життя – економічній, освітній, політичній, правовій, соціальної, культурній. З'ясовано, що гендерна рівність як категорія становить сукупність суспільних ідей та норм, що через установаження гендерної справедливості в усіх сферах життя забезпечують демократичний розвиток держави та суспільства, адже в їх основі лежать гуманістичні чесноти – свобода, рівність, справедливість, законність.*

*Відзначено, що поширеність стереотипів щодо ролей жінки й чоловіка в суспільстві була властива попереднім століттям, зокрема у ХХ-му жінка мусила, відпрацювавши на підприємстві чи в установі, займатися домогосподарством і дітьми. На відміну від такого стереотипу у ХХІ столітті припускається інша схема, за якою жінка може й не мати (не бажати) сім'ї, дітей, займається бізнесом або може створити одностатеву сім'ю. Аналогічно в сучасному світі може вдіяти й чоловік. Тобто на перше місце висувається гендерна ідентичність, а не зовнішні біологічні ознаки.*

*Зроблено висновок, що українське законодавство вже виявляє певні новації у сфері захисту гендерних прав відповідно до європейських гуманітарних традицій і принципів. Так, за положеннями Закону України «Про забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків», визначається дискримінація за ознакою статі, що виявляється в застосуванні до представників певної статі певних обмежень щодо їх можливостей реалізувати свої права й інтереси, але при цьому вирішальними не вважаються біологічні ознаки статі, а «дійсні» або «припущені», тобто виявлені особою в її самоідентифікації. Акцентовано на тому, що гарантування рівності будь-якої людини у правах є фундаментальною засадою демократичної держави. Сюди входять і механізми попередження можливих конфліктів у цій сфері, зокрема дискримінації за будь-якою ознакою, зокрема за статтю чи гендерною ідентичністю. Ці механізми мають бути використані державою в реалізації гендерної політики.*

**Ключові слова:** *рівноправність, гендерна рівність, гендерні стереотипи, Україна, соціальні ролі, міжнародні норми.*

N. M. KOVAL'SKA

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Public Administration  
and Local Self-Government  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-5758-8373

## GENDER POLICY IN UKRAINE: RELEVANCE AND INNOVATIONS

*The article examines the issue of gender policy in Ukraine, in particular, new approaches by scientists and legislators to solving the problems of gender equality. Thus, the corresponding legal principle was analyzed, which makes it possible to establish gender parity in society, removing the inequality of women and men in rights and opportunities in various spheres of public life – economic, educational, political, legal, social, cultural. It has been found that gender equality as a category is a set of social ideas and norms that, through the establishment of gender justice in all spheres of life, ensure the democratic development of the state and society, because they are based on humanistic virtues – freedom, equality, justice, legality.*

*It was noted that the prevalence of stereotypes regarding the roles of women and men in society was characteristic of previous centuries, in particular, in the 20th century, a woman had to take care of the household and children after working at an enterprise or institution. In contrast to such a stereotype, in the 21st century, another scheme is assumed, according to which a woman may not have (do not want) a family, children, is engaged in business or may create a same-sex family. A man can act similarly in the modern world. That is, gender identity comes first, not external biological features.*

*It was concluded that Ukrainian legislation already reveals certain innovations in the field of protection of gender rights in accordance with European humanitarian traditions and principles. Thus, according to the provisions of the Law of Ukraine «On Ensuring Equal Rights and Opportunities of Women and Men», discrimination on the basis of*



*gender is defined, which is manifested in the application of certain restrictions to representatives of a certain gender regarding their opportunities to realize their rights and interests, but biological factors are not considered decisive. Signs of gender, but «real» or «assumed», that is, revealed by a person in his self-identification. Emphasis is placed on the fact that guaranteeing the equality of any person in rights is a fundamental principle of a democratic state. This includes mechanisms for preventing possible conflicts in this area, in particular; discrimination on any basis, in particular; on sex or gender identity. These mechanisms should be used by the state in the implementation of gender policy.*

**Key words:** equality, gender equality, gender stereotypes, Ukraine, social roles, international norms.

### Постановка проблеми

Демократичний вектор розвитку держави й суспільства в передбачає різноманітні аспекти, серед яких гендерне питання займає одне з перших місць, адже безпосередньо пов'язане з такими категоріями, як «рівноправність», «відмінність», «дискримінація» тощо, що мають і зворотні форми – «нерівноправність», «уніфікованість», «недискримінація», у чому виявляються позитивні й негативні ознаки відповідно до гуманістичного спрямування сучасної цивілізації. До цих категорій останнім часом додалася й «гомофобія» як власне негативне явище, що має ознаки всіх зазначених вище негативних явищ – це і неприйняття певних відмінностей (статевих, вікових, освітніх, статусних тощо), і безпосередній тиск (зокрема фізичний чи моральних) на особу з такими відмінностями, і загалом виявлення нерівноправності в такому разі, адже суб'єкт гомофобної практики може мати більшу силу – фізичну, статусну тощо, аніж об'єкт, який у такому разі зазнає конкретного приниження, часто на очах значної частини соціуму.

Традиційно серед об'єктів такого приниження (дискримінації) і сьогодні бачимо жінку, хоча упродовж розвитку світу та зміни його пріоритетів вона вже заслужила іншого ставлення, адже досягла тих самих вершин – розумових і фізичних, що й чоловік, залишившись при цьому з природною своєю функцією матері. І лише з усвідомленням, що ця біологічна функція не завжди є пріоритетною для самої жінки, світ подивився на неї інакше – не як на потенційну породиллю, матір, бабусю, а як на людину, яка має ті самі можливості й здібності, що й чоловік. Аргументувався цей статус лише на межі XIX–XX століть, коли з'явився феміністичний рух, жінки почали працювати в галузях освіти, науки, мистецтва, спорту, торгівлі й навіть правоохоронної та військової служб. У першій половині XX століття вони навіть стали займатися важкою працею, зокрема в радянській державі, що грала тоді роль новаторської країни перед усім світом, який із захватом стежив за її розвитком, обурюючись на окремих літераторів (наприклад, Дж. Орвела) за їх ясновидство і пророцтво щодо явного тоталітаризму, деспотизму в тій державі. Радянські жінки спочатку в запалі ентузіазму й романтизму сідали на трактори, опускалися в шахти й відчайдушно гребли сіно на полях, а у воєнний період уже за необхідністю замінювали чоловіків у важкій промисловості. І все ж таки були незмінними традиції сприйняття жінки в її головному статусі матері (в усіх суспільствах), а також служниці чоловіка (у східних деспотіях і патріархальній росії), які є актуальними й сьогодні. На противагу цим традиціям і стереотипам у демократичному світі жінка розглядається як рівноправна людина в усіх сферах суспільного життя. І чим вище країна за рівнем життя своїх громадян, тим більше залучені жінки до всіх соціальних і політичних сфер. Наприклад, у скандинавських країнах вони можуть займати всі керівні посади на рівні міської громади – у муніципалітеті, поліції, освіті та ін.

Що стосується сучасної України, то період її незалежності характеризується поступовим збільшенням частки жінок у всіх сферах. І якщо до їх присутності в лавах Національної поліції та депутатів різних рівнів ми вже звикли, то до жінок в армії стали звикати в останні два роки під час терористичної агресії з боку росії, коли українські жінки виявили себе героїчними патріотками й борчинями за незалежність і демократію.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання гендерної рівності активно розглядається в науці, адже воно стосується різних галузей, зокрема психології, соціології, політології, адміністративного права та публічного управління. Особливо ці проблеми заговорилися останнім часом через актуалізацію вектора України на європейський гуманістичний демократичний простір, у якому гендерна політика є невід'ємною складовою. Так, міжнародний досвід вирішення гендерних проблем аналізує Т. Мельник (формування суспільства гендерної рівності) [1], із соціального боку розглядають ці проблеми Н. Оніщенко та О. Львова (гендер у розвитку суспільства) [2], Ю. Саєнко, Л. Амджадін, М. Васильчук (ставлення до гендеру громадськості) [3], із психологічного – М. Ткалич (гендерна рівність у колективі) [4], з управлінського (державницького) – І. Костюк та В. Стадник (питання лідерства) [5], із правового – Л. Наливайко та І. Грицай (правовий принцип гендерної рівності) [6], із загальнотеоретичного – Н. Камінська, С. Чернявський та О. Перунова (теоретичні засади гендеру) [7]. Долучилися до цього дискурсу й ми, розглянувши питання гендерного інтегрування в реформування публічного управління [8]. Зрештою проблеми гендерної рівності в суспільстві проаналізовано в різних площинах, але час потребує вже нових підходів і врахування новацій у суспільному житті, а тому потрібно постійно оновлювати цей дискурс.

### Формулювання мети дослідження

Зважаючи на вищенаведену актуальність теми гендерної рівності, мета цієї статті – дослідити сучасні особливості, зокрема новації, у гендерній політиці України, для чого потрібно вирішити певні завдання – з'ясувати

науковий вітчизняний дискурс із цієї тематики, проаналізувати відповідне українське законодавство, відстежити певні новації у гендерній сфері та їх вплив на реалізацію державної політики. Це здійснено за допомогою спеціальних методів дослідження – аналітичного, статистичного, компаративістичного, прогностичного.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Незважаючи на міцні стереотипи в суспільстві, за якими жінка асоціюється з домашнім господарством і вихованням дітей, маючи навіть почесний статус «родинної берегині», давно вже ніхто не дивується жінці-судді, жінці-дослідниці, жінці-поліцейській, жінці-підприємці й навіть жінці-військовій. І все одно вважається, що ті професії – певна забаганка жінок, а головним усе ж залишаються хатні справи – догляд за дітьми, господарством, готування їжі та служіння чоловікові (у прибічників патріархальних традицій, зокрема російських). Тобто в таких умовах жінка поспішає з роботи додому, щоб поратися по господарству (чого ніхто за неї не зробить), а чоловік може й не поспішати, а займатися певними «важливими» як для нього речами – зустрічатися після роботи з товаришами, колегами / колежанками для вирішення якихось питань. Тобто більшою мірою – розважатися після «важкого робочого дня». Проте ми описали тут реалії ХХ століття (домінантну ситуацію), а ХХІ ст. характеризується вже іншими ознаками, за якими жінка не лише має повне право взагалі не мати сім'ю, дітей і навіть не бути фемінною в гендерному розумінні чи мати одностатеві стосунки та створити сім'ю з такою самою жінкою й навіть виховувати разом із нею дітей. З іншого боку, не є дивним у сучасному світі, що чоловік може також любити поратися по господарству, готувати їжу й доглядати дітей (поряд з основною роботою). Також трапляються ситуації одностатевого шлюбу між чоловіками з веденням спільного господарства й вихованням дітей.

Тобто в означених випадках постає питання гендерного розрізнення, самоідентифікації жінок і чоловіків. У межах цього контраверсійного питання аспект гендерної ідентичності зумовлений саме явищем статевої нерівності, причому в будь-якому соціумі, незважаючи на соціально-економічний розвиток і політичний устрій. У таких умовах запроваджуються традиційні соціальні ролі: чоловік – господар (у статусі керівника), працівник, відповідальна особа (і за добробут сім'ї зокрема), має право підвищувати свій фаховий рівень і статус (задля майбутньої більшої зарплатні), а для жінки головне – підтримування домашнього господарства й сімейне виховання дітей, тобто більшою мірою догляд за ними (щоби вчасно їли, правильно вдягалися, не хворіли тощо). Ці ролі (стереотипи) передаються з покоління в покоління, тобто діти вчать у батьків, а тому це таїть у собі значні ризики для молоді особистості, адже в ній можуть бути сформовані не лише позитивні якості – любов до ближніх, піклування меншими та слабшими, почуття відповідальності, але й негативні – зверхнє ставлення до жінки, байдужість до старих батьків, егоїзм у стосунках із меншими тощо. Серед цих негативів гендерним ризиком є перше явище, що переважно переймається від батька сином, проте ще більш ефективно це відбувається за умови мовчазної підвладності матері, що зумовлює почуття безкарності й відповідно можливість прямої дискримінації за статевою (гендерною) ознакою, що часто переростає в кримінальний злочин.

Повертаючись до теорії гендера в сенсі його ідентифікування, відзначаємо думку вчених щодо його зумовленості біологічними ознаками, що виявляються у відмінних статевих органах, наявності репродуктивної системи, відповідному хромосомному наборі, та соціальними – у поведінці, культурі, психології та зовнішньому вигляді [7, с. 5]. Тобто цей комплекс ознак розрізняє гендерні особливості жінки й чоловіка – як біологічні, так і соціальні. Проте і ті, й інші можуть призвести до нерівності й дискримінації жінки, а також до гомофобних явищ – аж до кримінального злочину. Зрозуміло, що саме соціальну площину вчені прив'язують до нерівності в реалізації можливостей та здібностей саме жінок [5, с. 58], а також як визначальні ознаки гендеру називаються складові такого комплексу в окремої особистості – психологічна стать, гендерна ідентичність, гендерна роль [4, с. 13]. Остання ознака відіграє визначальну роль у виробничому (організаційному) колективі, де жінці відведено переважно нижній чи середній щабель у кар'єрному вимірі, а чоловікові – переважно вищий, що аргументується їхніми ментальними відмінностями (жінці властиві виконавські риси, а чоловікові – управлінські, аналітичні) та відображається на розмірі зарплатні – відповідно жінка отримує менше [8].

За статистичними даними, в Україні жінки заробляють на 19% менше за чоловіків. Якщо порівняти з деякими іншими країнами, то найближче до нас стоять Латвія та Естонія (по 20%), а гіршою ситуацією є аналогічна в передових азійських країнах: у Південній Кореї гендерний розрив у цій сфері сягає 30%, у Японії – 22% (тут відзначається цікава специфіка: чоловіки у великих корпораціях перебувають у статусі довічного найму, а жінки переважно – непостійні працівниці, що, звісно, мають і нижчу зарплатню). Також усім країнам, зокрема й Україні, властивий поряд із соціально-рольовим і фаховий розділ, за яким жінки працюють більшою мірою в освіті, медицині, соціальних службах, а чоловіки мають вищий статус (лікарі, викладачі, керівники). При цьому зважимо на те, що є країни, до яких потрібно рівнятися й переймати їхній досвід у скороченні такого гендерного розриву. Це, звісно, США, Канада (по 17%), Велика Британія (15%), Німеччина (14%), Франція (12%) і навіть ближчі до нас за менталітетом слов'янські країни Словаччина (12%), Чехія (11%) [9]. Зрозуміло, що ці дані можуть мати невисокий ступінь верифікованості через можливість варіювання різними професіями й посадами, але це середній рівень зарплатні, а тому такі компаративістичні дані варто враховувати в подальшій політиці держави.

Наша держава, звісно, бере це до уваги, ухвалюючи відповідні рішення. Так, урядом поставлено завдання скоротити чинний гендерний розрив із 19% до 14% до 2030 року, і ця кінцева межа доводить, що таке завдання виконати дуже важко. Це можливо лише за зміни пріоритетів у суспільстві, орієнтованих на реалізацію потреб і інтересів людини, де має бути безумовна рівність у правах усіх людей, незважаючи на статеві, вікові, освітні тощо ознаки, зокрема й у гендерному вимірі. Цьому питанню присвячено й окремі державні та міжнародні акти. Так, за положеннями Закону України «Про забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків», визначається дискримінація за ознакою статі, що виявляється в застосуванні до представників певної статі певних обмежень щодо їх можливостей реалізувати свої права й інтереси, але при цьому вирішальними не вважаються біологічні ознаки статі (підкреслення наше – Н.К.), а ті, що «можуть бути дійсними або припущеними» [10]. Це трактування є ознакою сучасного гуманістичного погляду на відмінності людей, кроком до реальної демократії в умовах сучасної цивілізації. Така риса суспільства уніфікується терміном «гендерна рівність», що «дозволяє особам обох статей брати рівну участь у всіх сферах життєдіяльності суспільства» [10]. У свою чергу поняття «рівна участь» є провідним у всіх міжнародних актах, присвячених захисту прав людини як головному завданню сучасної цивілізації.

Відповідне українське законодавство засноване на постулатах Конвенції ООН про ліквідацію всіх форм дискримінації щодо жінок від 6 жовтня 1999 року, за якими відповідно до дотримання прав людини, захисту людської особистості говориться про рівноправність жінок і чоловіків, про недискримінацію в їхніх відносинах, про реалізацію можливостей і забезпечення доступу до економіки, освіти, медицини, загалом про проблеми рівності між жінками й чоловіками. Ці проблеми мають вирішуватися через включення гендерних питань до національних законів, застосування санкцій за дискримінацію щодо жінок, виявлення прихованої дискримінації щодо жінок в окремих актах (стандартах), а також через уникання традицій приниження за ознаками статі та утвердження відповідальності жінок і чоловіків за розвиток їхніх дітей. Також у Конвенції говориться про вимогу забезпечення рівноправної участі у виборах і референдумах жінкам і чоловікам – як у статусі виборців, так і претендентів; про можливість представлення своєї держави на міжнародному рівні; про забезпечення рівних прав у виборі спеціальності та навчання, заняття спортом; про право на вибір професії, про соціальне забезпечення; про доступність медичного обслуговування, про доступ до економічних можливостей, сільськогосподарських кредитів і позик [11].

За міжнародною ініціативою «Партнерство Біарріц» щодо гендерної рівності, уряд України зобов'язався виконати план заходів, ухвалених Кабміном України від 16 грудня 2020 р. № 1578-р. [10], зокрема із забезпечення гендерної рівності в усіх сферах життя, оцінювання об'єктів щодо їх гендерних особливостей, експертування освітнього контенту на гендерну спрямованість, упровадження «гарячої лінії» для повідомлень про дискримінацію за ознакою статі, забезпечення юридичного захисту, зменшення гендерного розриву в оплаті праці, отримання відпусток жінкам, пов'язаних із народженням дитини та доглядом за нею [12]. Певною мірою зазначені заходи виконано, зокрема щодо у сферах будівництва, освіти, соціального захисту, правового захисту (інформування про судовий розгляд випадків домашнього насильства, скорочення розриву в оплаті праці, законодавчі гарантії щодо догляду за дитиною, відпустка з народження дитини).

Ми вже зазначали, що в Законі України «Про забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків» поняття «гендерна рівність» визначено як рівноправний статус жінок і чоловіків щодо можливості брати рівну участь у всіх сферах суспільного життя. Цю дефініцію Л. Наливайко та І. Грицай умовно розділяють на три складові – рівний правовий статус, рівні можливості, рівна участь у суспільному житті. Саме третя складова тут викликає сумніви, адже вона тотожна другій, бо від народження кожна людина – і жінка, й чоловік – має відповідні індивідуальні здібності й здійснює внесок у розвиток суспільства, а тому жінки й чоловіки мають тут рівні можливості. Проте вчені пояснюють цю колізію тим, що поняття «гендерна рівність» розглядається в ідеальному вимірі – воно поєднує як юридичну, так і фактичну рівність прав жінок і чоловіків у реалізації їхніх інтересів [6]; або що це йдеться про рівність соціального статусу жінок і чоловіків та їх участі в житті суспільства та про подолання історичної підлеглості жінок чоловікам [1, с. 70]; або що мається на увазі формальна рівність (законодавча), рівність можливостей (законодавча перевага), рівність результату (прибирання перешкод, що зумовлені дискримінацією) [2, с. 5].

Отже, Л. Наливайко та І. Грицай підсумовують про рівність у досягненні результатів, акцентуючи на значущості гендерної рівності як одного з фундаментальних принципів громадянського суспільства та правової держави. При цьому використовуються також синонімічні словосполучення «принцип гендерної рівності», «принцип рівності статей», «принцип рівноправ'я жінок і чоловіків», що мають єдине змістовне наповнення. Проте вчені знаходять деякі відмінності між ними, ставлячи на перше місце варіант «принцип гендерної рівності» та зазначаючи, що принцип рівності статей передбачає рівномірний розподіл усіляких ресурсів між жінками й чоловіками, принцип рівності прав жінки і чоловіка передбачає комплекс базових положень, що є загальноприйнятими й адресованими всім суб'єктам права. У свою чергу принцип гендерної рівності передбачає не лише прийняття, але й оцінювання відмінностей між жінками й чоловіками, зокрема їх ролей і функцій; цей принцип має обґрунтовувати забезпечення рівних можливостей жінок і чоловіків [6].

### Висновки

Розглянувши питання гендерної рівності через призму сучасних підходів, ми можемо зробити відповідні висновки.

1. Серед головних стереотипів щодо жінки й чоловіка визначається, по-перше, домінанта їх біологічного розрізнення; по-друге – наявність соціальних ролей, за якими жінка мусить займатися домогосподарством і дітьми, навіть поряд з офіційною роботою, а чоловік – роботою та загальним керівництвом. Це було властиве ХХ століттю, але ХХІ століття характеризується вже іншими ознаками: жінка може за її бажанням і не мати сім'ї, дітей, має право створити сім'ю з такою самою жінкою й виховувати разом із нею дітей. Аналогічно в сучасному світі може вдіяти й чоловік. Тобто на перше місце висувається гендерна ідентичність, а не зовнішні біологічні ознаки.

2. Традиційні соціальні ролі (стереотипи), де чоловік – господар, керівник, працівник, відповідальна особа, має право підвищувати свій фаховий рівень і статус (задня майбутньої більшої зарплатні), а жінка – домогосподарка й вихователь дітей, незважаючи на офіційну роботу, передаються з покоління в покоління, що таїть ризик набуття молодістю особистістю не лише позитивних рис (любви до ближніх, піклування меншими, почуття відповідальності), але й негативних (зверхнє ставлення до жінки, байдужість до старих батьків, егоїзм у стосунках із меншими тощо). Серед цих негативів зверхнє ставлення до жінки може призвести не лише до виявів дискримінації, але й до кримінального злочину.

3. У системі принципів права поряд із принципом верховенства права стоїть принцип гендерної рівності, адже він дає можливість установити гендерний паритет у суспільстві, прибравши нерівноправність жінок і чоловіків у правах і можливостях у різних сферах суспільного життя – економічній, освітній, політичній, правовій, соціальної, культурній. Гендерна рівність є не лише правовим принципом, але й становить сукупність суспільних ідей та норм, що через установлення гендерної справедливості в усіх сферах життя забезпечують демократичний розвиток держави та суспільства, адже в їх основі лежать гуманістичні чесноти – свобода, рівність, справедливість, законність. Гарантування рівності будь-якої людини у правах є фундаментальною засадою демократичної держави. Сюди входять і механізми попередження можливих конфліктів у цій сфері, зокрема дискримінації за будь-якою ознакою, зокрема за статтю чи гендерною ідентичністю. Ці механізми мають бути використані державою в реалізації гендерної політики.

4. Українське законодавство вже виявляє певні новачки у сфері захисту гендерних прав відповідно до європейських гуманітарних традицій і принципів. Так, за положеннями Закону України «Про забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків», визначається дискримінація за ознакою статі, що виявляється в застосуванні до представників певної статі певних обмежень щодо їх можливостей реалізувати свої права й інтереси, але при цьому вирішальними не вважаються біологічні ознаки статі, а «дійсні» або «припущені», тобто виявлені особою в її самоідентифікації.

### Список використаної літератури

1. Мельник Т. М. Творення суспільства гендерної рівності: міжнародний досвід. Закони зарубіжних країн з гендерної рівності: підручник. Київ: Стінос, 2010. 440 с.
2. Оніщенко Н. М., Львова О. Л. Гендерна рівність: крок до розвитку чи моральна криза сучасного суспільства? Держава і право. Серія: Юридичні і політичні науки. 2013. Вип. 62. С. 3–11.
3. Гендерні стереотипи та ставлення громадськості до гендерних проблем в українському суспільстві / Ю. Саєнко, Л. Амджадін, М. Васильчук, та ін. Київ: Видавництво ТОВ «Компанія ВАІТЕ», 2007. 145 с.
4. Ткалич М.Г. Психологія гендерної взаємодії персоналу організацій : автореф. дис. на здоб. наук. ст. докт. психол. н. за спец. 19.00.10; Національна академія педагогічних наук України. Інститут психології імені Г.С. Костюка. Київ, 2016. 44 с.
5. Костюк І. В., Стадник В.В. Гендерні аспекти лідерства у сфері управління. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2019. № 2. С. 57–61.
6. Наливайко Л.Р., Грицай І.О. Поняття принципу гендерної рівності та його взаємозв'язок із суміжними термінами. *Актуальні проблеми державотворення, правотворення та правозастосування* : матеріали наукового семінару (м. Дніпро, 8 грудня 2018 р.). Дніпро : ДДУВС, 2019. С. 30–35.
7. Камінська Н. В., Чернявський С. С., Перунова О. С. Засади розуміння гендеру та гендерної рівності. Київ: Нац. акад. внутр. справ, 2020. 20 с.
8. Демченко В.М., Ковальська Н.М. Гендерне інтегрування як чинник реформування публічного управління в Україні. *Вісник ХНТУ. Публічне управління та адміністрування*. 2023. № 3 (86). С. 149–155. DOI : <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.3.19>
9. Гендерний розрив в оплаті праці: на скільки більше заробляють чоловіки у країнах світу. *СВІТ за 24 жовтня 2023. Слово і Діло*. URL : <https://www.slovoidilo.ua/2023/10/24/infografika/svit/hendernyj-rozryv-oplati-praczi-skilky-bilshe-zaroblyayut-choloviky-krayinax-svitu>
10. Про забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків : Закон України. *Відомості Верховної Ради України*. 2005. № 52. С. 561. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2866-15#Text>

11. Конвенція Організації Об'єднаних Націй про ліквідацію всіх форм дискримінації щодо жінок. *Верховна Рада України* (ред. від 06.10.1999). URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_207#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_207#Text)

12. Про затвердження плану заходів з реалізації зобов'язань Уряду України, взятих в рамках міжнародної ініціативи «Партнерство Біарріц» з утвердження гендерної рівності. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2020 р. № 1578-р. Ліга 360. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KR201578?an=1>

#### References

1. Mel'nyk T. M. (2010) *Tvorennya suspil'stva hendernoyi rivnosti: mizhnarodnyy dosvid. Zakony zarubizhnykh krayin z hendernoyi rivnosti : pidruchnyk* [Creating a society of gender equality: international experience. Laws of foreign countries on gender equality: a textbook]. Kyiv: Stilos, 440 s.

2. Onishchenko N. M., L'vova O. L. (2013) *Henderna rivnist': krok do rozvytku chy moral'na kryza suchasnoho suspil'stva?* [Gender equality: a step towards development or a moral crisis of modern society?]. *Derzhava i pravo. Seriya: Yurydychni i politychni nauky* [State and law. Series: Legal and political sciences]. Vyp. 62. S. 3–11.

3. *Henderni stereotypy ta stavlennya hromads'kosti do hendernykh problem v ukrayins'komu suspil'stvi* [Gender stereotypes and the public's attitude to gender issues in Ukrainian society] / [Yu. Sayenko, L. Amdzhadin, M. Vasylichuk, ta in.]. Kyiv: Vydavnytstvo TOV «Kompaniya VAITE», 2007. 145 s.

4. Tkalych M.H. (2016) *Psykholohiya hendernoyi vzayemodiyi personalu orhanizatsiy : avtoref. dys. na zdob. nauk. st. dokt. psykol. n.* [Psychology of gender interaction of personnel of organizations: author's abstract. thesis on of science art. dr. psychol. s.]; *Natsional'na akademiya pedahohichnykh nauk Ukrainy. Instytut psykolohiyi imeni H.S. Kostyuka*. Kyiv, 44 s.

5. Kostyuk I. V., Stadnyk V.V. (2019) *Henderni aspekty liderstva u sferi upravlinnya* [Gender aspects of leadership in management]. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Ekonomichni nauky* [Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Economic sciences]. № 2. S. 57–61.

6. Nalyvayko L.R., Hrytsay I.O. (2019) *Ponyattya pryntsyphu hendernoyi rivnosti ta yoho vzayemozv'yazok iz sumizhnymy terminamy* [The concept of the principle of gender equality and its relationship with related terms]. *Aktual'ni problemy derzhavotvorennya, pravotvorennya ta pravozastosuvannya : materialy naukovo seminaru (m. Dnipro, 8 hrudnya 2018 r.)* [Actual problems of state formation, law making and law enforcement: materials of the scientific seminar (Dnipro, December 8, 2018)]. Dnipro : DDUVS, S. 30–35.

7. Kamins'ka N. V., Chernyavs'kyy S. S., Perunova O. S. (2020) *Zasady rozuminnya henderu ta hendernoyi rivnosti* [Principles of understanding gender and gender equality]. Kyiv : Nats. akad. vnutr. sprav, 20 s.

8. Demchenko V.M., Koval's'ka N.M. (2023) *Genderne intehruvannya yak chynnyk reformuvannya publichnoho upravlinnya v Ukraini* [Gender integration as a factor in reforming public administration in Ukraine]. *Visnyk KHNTU. Publichne upravlinnya ta administruvannya* [KhNTU Bulletin. Public management and administration]. № 3 (86). S. 149–155. DOI : <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.3.19>

9. *Hendernyy rozryv v oplati pratsi: na skil'ky bil'she zaroblyayut' choloviky u krayinakh svitu* [Gender pay gap: how much more do men earn in the countries of the world]. *SVIT za 24 zhovtnya 2023. Slovo i Dilo* [WORLD for October 24, 2023. Word and Deed]. URL : <https://www.slovoidilo.ua/2023/10/24/infografika/svit/hendernyj-rozryv-oplati-praczi-skilky-bilsh-zaroblyayut-choloviky-krayinax-svitu>

10. *Pro zabezpechennya rivnykh prav ta mozhlyvostey zhinok i cholovikiv: Zakon Ukrainy* [On ensuring equal rights and opportunities for women and men : Law of Ukraine]. *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 2005. № 52. S. 561. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2866-15#Text>.

11. *Konventsyya Orhanizatsiyi Obyednanykh Natsiy pro likvidatsiyu vsikh form dyskryminatsiyi shchodo zhinok* [United Nations Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women]. *Verkhovna Rada Ukrainy* (red. vid 06.10.1999) [Verkhovna Rada of Ukraine (ed. dated 06.10.1999)]. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_207#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_207#Text)

12. *Pro zatverdzhennya planu zakhodiv z realizatsiyi zobov'язan' Uryadu Ukrainy, vzyatykh v ramkakh mizhnarodnoyi initsyatyvy «Partnerstvo Biarritz» z utverdzhennya hendernoyi rivnosti. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 16 hrudnya 2020 r. № 1578-r.* [On the approval of the plan of measures to implement the obligations of the Government of Ukraine, taken within the framework of the international initiative «Biarritz Partnership» to establish gender equality. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 16, 2020 No. 1578]. Liha 360 [League 360]. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KR201578?an=1>

О. В. КОЗИР

аспірант

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0001-8886-3246

## МОНІТОРИНГ СОЦІАЛЬНОЇ СФЕРИ ВЕЛИКОГО МІСТА НА ОСНОВІ МЕТОДА СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ

У статті проведено моніторинг соціальної сфери м. Києва для з'ясування напрямів удосконалення механізмів соціального розвитку міста. Для досягнення зазначеної мети в дослідженні було застосовано метод системної динаміки, що дозволило виявити два основні блоки для моніторингу зазначеного об'єкту дослідження – рівня та якості життя населення м. Києва. У роботі побудовано агреговану модель соціальної сфери, що дозволила визначити шляхи наукового пошуку. Метою зазначеної моделі визначено підвищення рівня життя та якості життя населення великого міста. До першого блоку моделі віднесено компоненти, на основі яких буде здійснюватися моніторинг: внутрішній регіональний продукт міста, фактичний прожитковий мінімум, мінімальна зарплата, середня заробітна плата штатних працівників міста, доходи населення міста, соціальні допомоги та інші одержані поточні трансферти міста. Другий блок містить компоненти: загальна площа житлових будівель, прийнятих в експлуатацію міста, кількість лікарняних ліжок міста, кількість лікарів усіх спеціальностей міста, кількість осіб, які навчаються в закладах освіти міста, кількість закладів освіти міста, кількість зареєстрованих злочинів. Результатом моніторингу є висновок про покращення компонентів рівня та якості життя населення м. Києва періоду 2018–2021 років. Деякі показники 2022 року також мають позитивну динаміку, але при аналізі показників бідності за 2022 рік простежується різке зниження відсотку, що є наслідком війни в Україні. В зв'язку з цим, в роботі запропоновано шляхи удосконалення механізмів публічного управління соціальним розвитком у повоєнній перспективі, що дозволить підвищити рівень функціонування галузей соціальної сфери м. Києва.

**Ключові слова:** соціальний розвиток, соціальна сфера, органи публічної влади, публічне управління, рівень та якість життя.

O. V. KOZYR

Postgraduate Student

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-8886-3246

## MONITORING OF THE SOCIAL SPHERE OF A LARGE CITY BASED ON THE METHOD OF SYSTEM DYNAMICS

In the article, the monitoring of the social sphere of the city of Kyiv was carried out in order to find out directions for improving the mechanisms of social development of the city. To achieve the goal specified in the article, the method of system dynamics was applied, which made it possible to identify two main blocks for monitoring the specified research object: the level and quality of life of the population of Kyiv. The article builds an aggregated model of the social sphere, which allowed to determine the ways of scientific research. The goal of the specified model is to increase the standard of living and quality of life of the population of a large city. The first block of the model includes the components on the basis of which monitoring will be carried out: the domestic regional product of the city, the actual living wage, the minimum wage, the average wage of full-time employees of the city, the income of the city population, social benefits and other received current transfers of the city. The second block contains components: the total area of residential buildings put into operation in the city, the number of hospital beds in the city, the number of doctors of all specialties in the city, the number of people studying in the city's educational institutions, the number of educational institutions in the city, the number of registered crimes. The result of the monitoring is a conclusion about the improvement of the components of the level and quality of life of the population of Kyiv in the period 2018–2021. Some indicators of 2022 also have positive dynamics. But when analyzing poverty indicators for 2022, we can see a sharp decrease, which is a consequence of the war in Ukraine. In this regard, the paper proposes ways to improve the mechanisms of public management of social development in the post-war perspective, which will allow to increase the level of functioning of the social sphere of Kyiv.

**Key words:** social development, social sphere, public authorities, public administration, level and quality of life.

### Постановка проблеми

У соціально-економічному розвитку будь-якого об'єкту спрямованої управлінської дії, ефективно функціонування галузей соціальної сфери відіграє вирішальну роль. Соціальна сфера міста, регіону та держави формує напрями економічного розвитку. Моніторинг соціальної сфери великого міста необхідно виконувати на основі

системного підходу, що дозволяє пов'язати в єдине ціле безліч процесів, що протікають в ній. Пошук адекватних, збалансованих управлінських рішень необхідно вести з урахуванням особливостей функціонування галузей соціальної сфери міста та динаміки процесів, що в ній відбуваються. Соціальна сфера міста розглядається як складна система, системне моделювання якої передбачає виявлення великої кількості складних взаємопов'язаних причинно-наслідкових зв'язків між факторами, що розглядаються в описі складної системи. Дослідження необхідно вести з урахуванням дії великої кількості стохастичних факторів, в умовах невизначеності вихідної інформації, яка формується під впливом воєнних дій в Україні. Формування завдань та стратегій соціального розвитку базується на аналізі управлінських рішень, обрання яких можливо здійснити за допомогою методу системної динаміки.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналізу соціальної сфери державного, регіонального та місцевого рівня присвятили свої праці науковці: І. Андрейцева, О. Вольська, В. Авер'янов, В. Бакуменко, В. Казаков, В. Маліновський, П. Надолішний, Н. Нижник, В. Філіппова, Г. Цветков та ін. Незважаючи на велику кількість досліджень соціальної сфери, це питання буде постійно актуальним, тому що торкається сфери, від розвитку якої залежить рівень добробуту кожного громадянина держави.

#### Формування мети дослідження

З урахуванням вищесказаного, метою статті є формування основних напрямів удосконалення механізмів публічного управління соціальним розвитком міста за допомогою методу системної динаміки.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Соціальна сфера великого міста є складною динамічною системою, яка потребує керованого впливу органів публічної влади, а тому досліджувати її слід за допомогою методу системної динаміки, розробленого Дж. Форестером [1]. Зазначений метод, який буде застосовано до моніторингу соціальної сфери великого міста дозволить сформулювати основні напрями удосконалення механізмів публічного управління соціальним розвитком міста. Це дозволить вирішити завдання розробки ефективної соціальної політики міста, планування та управління галузями соціальної сфери, здійснити аналіз рівня життя та якості життя населення великого міста.

На нашу думку, доцільним буде використання методу, до якого входить агрегована моделі соціальної сфери міста, що складається з двох блоків «Рівень життя» та «Якість життя» (рис. 1).

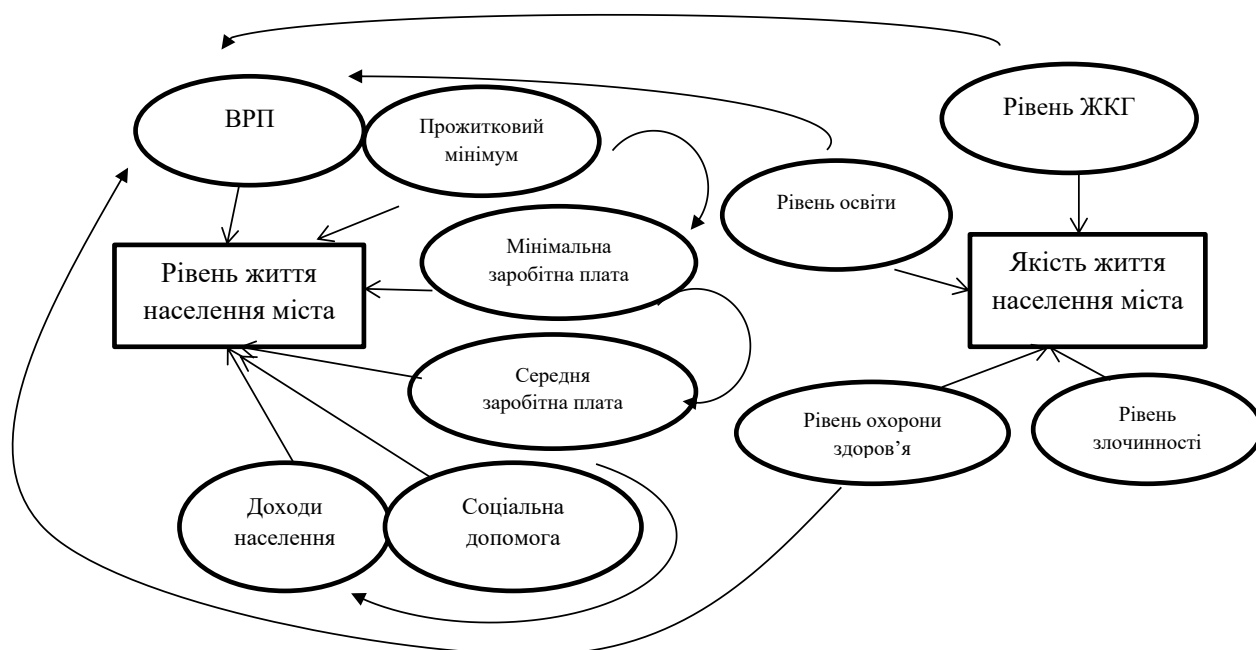


Рис. 1. Агрегована модель соціальної сфери міста

Пропонована агрегована модель соціальної сфери міста дозволяє прогнозувати загальні тенденції розвитку та стану соціальної сфери великого міста, основні показники його соціального розвитку, фінансові та економічні показники, проводити комплексний аналіз рівня та якості життя у довгостроковій та короткостроковій перспективах.

Слід звернути увагу, що до основних цілей соціального розвитку міста належить підвищення рівня життя та якості життя населення великого міста. Відповідно до цілей соціального розвитку міста можна сформулювати систему критеріїв, які відповідають показникам соціального розвитку. Узагальнення сучасних вітчизняних і зарубіжних досліджень дало змогу визначити наступні компоненти:

1) рівень життя: внутрішній регіональний продукт міста, фактичний прожитковий мінімум, мінімальна зарплата, середня заробітна плата штатних працівників міста, доходи населення міста, соціальні допомоги та інші одержані поточні трансферти міста;

2) якість життя: загальна площа житлових будівель, прийнятих в експлуатацію міста, кількість лікарняних ліжок міста, кількість лікарів усіх спеціальностей міста, кількість осіб, які навчаються в закладах освіти міста, кількість закладів освіти міста, кількість зареєстрованих злочинів.

При цьому, до ресурсів, які необхідні для забезпечення рівня та якості життя належать [7]:

1. Нормативні споживчі бюджети, що є по суті зведеннями доходів і видатків населення в натуральній і грошовій формах (характеризують усі компоненти якості й рівня життя). Розрізняють споживчі бюджети низького статку – бюджети прожиткового мінімуму (БПМ), відбудовні споживчі бюджети (ВСБ); споживчі бюджети середнього статку (СБСС) і бюджети високого статку (БВС).

2. Валовий регіональний продукт (доход) на душу населення – це вартість кінцевих товарів і послуг, вироблених упродовж року для споживання населення й інвестування в економіку. Розміри валового продукту (доходу) на кожну людину за паритетом купівельної спроможності є: високими – від 10 тис. дол. і вище; вищими від середніх – від 3250 до 10 тис. дол.; нижчими від середніх – від 800 до 3250 дол.; низькими – менше 800 дол.

Отже, вимірювання якості й рівня життя по суті є визначенням їх кількісної міри в абсолютних і відносних величинах. Натуральні величини, як правило, слугують абсолютними вимірювачами якості життя, а грошові – рівня життя. Тобто основними даними для моніторингу будуть показники рівня та якості життя та показники функціонування галузей соціальної сфери сучасного міста.

Об'єктом нашого дослідження є велике місто. За визначенням О. Синютка, в Україні можна виділити шість великих міст, які мають (чи мали) потужний виробничий потенціал та виконують (виконували) метрополітні функції: Київ, Харків, Одеса, Дніпро, Львів і Донецьк [2]. В межах нашої статті зупинимось більш детально на моніторингу рівня життя м. Києва, данні якого наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Показники рівня життя населення м. Києва [3–9]

Показники	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
Внутрішній регіональний продукт, млн. грн.	833,1	949,531	1014,693	1276,376	
Внутрішній регіональний продукт, у розрахунку на одну особу, грн.	283175	320885	342247	431616	
Фактичний прожитковий мінімум(загальний показник), грн.	1853	2027	2393	2589	2589
Мінімальна зарплата (на кінець року), грн.	3723	4173	5000	6500	6700
Середня заробітна плата штатних працівників, грн.	16546	18869	21812	26759	
Доходи населення, млн. грн.	555666	675427	754263	925773	
Найвищий дохід на одну особу, грн.	143676	173677	182547	225321	
Соціальні допомоги та інші одержані поточні трансферти, млн. грн.	144060	191,009	229,261	270322	
Соціальні допомоги, млн. грн.	45049	55772	69420	76775	

З наведеного вище, можемо спостерігати зростання внутрішнього регіонального продукту за 2021 рік на 150%, що демонструє зростання обсягів виробництва продукції та обсягів надання послуг у м. Києва. (рис. 2). Підвищення внутрішнього регіонального продукту вплинуло на зростання цього показника у розрахунку на одну особу майже на 100%. (рис. 3).

Показник прожиткового мінімуму також має позитивну тенденцію, так темпи його зростання дорівнюють у 2021 році 8%. На основі даного показника розраховуються соціальні гарантії, як-то: мінімальна заробітна плата; мінімальна пенсія за віком разом із грошовою допомогою; мінімальний розмір допомоги з безробіття; допомога за доглядом за дитиною до досягнення нею 3 років; допомога на поховання.

У період з 2018 та 2022 рік можна спостерігати зростання мінімальної заробітної плати (рис. 4).



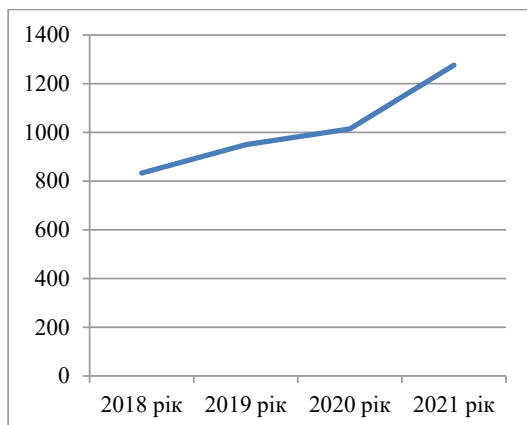


Рис. 2. Динаміка ВРП, млн. грн. м. Києва

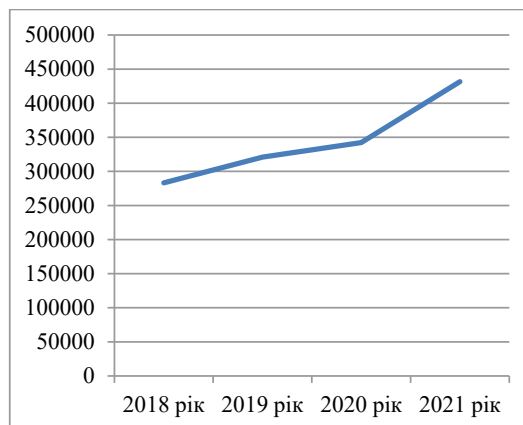


Рис. 3. Динаміка ВРП на одну особу, грн. м. Києва

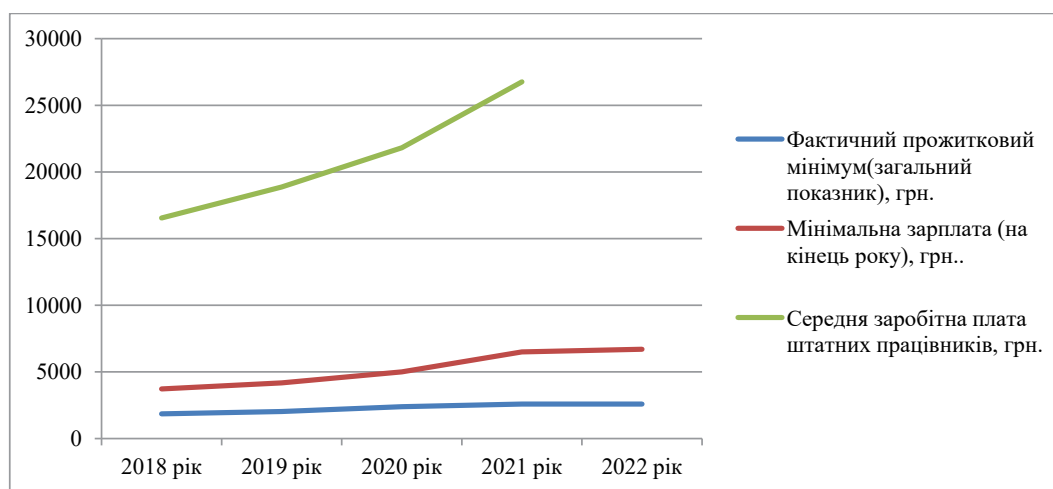


Рис. 4. Динаміка показників м. Києва

Також, за результатами аналізу можна стверджувати, що протягом 2018–2021 років в Києві відбулось зростання середньої заробітної плати штатних працівників на 160 %, це стало наслідком ефективної реалізації економічної та соціальної політики міста, яка дозволила створити необхідну кількість робочих місць, наприклад у 2022 році кількість вакансій на підприємствах Києва становила 10700 одиниць. Отже, не зважаючи на воєнний стан, це демонструє відносну ефективність ринку праці,

Зростання зарплати є позитивним фактором для розвитку галузей соціальної сфери. Так, у розрізі дослідження можна побачити, що середня зарплата штатних працівників у м. Київ за 2022 рік становить 29434 грн., а це у 2,5 рази вище, ніж середня зарплата по Україні (11000 грн.). При цьому, підвищення заробітної плати вплинуло на доходу населення м. Києва в 1,6 рази у 2021 році та зростання наявного доходу на одну особу в 1,5 рази. (рис. 5, рис. 6).

Отже, з наведеної таблиці видно, що показники якості життя населення м. Києва до 2021 року мають позитивну динаміку. Наприклад, показники охорони здоров'я покращились, так підвищилась кількість лікарняних ліжок на 38% та кількість лікарів всіх спеціальностей на 62%. Незважаючи на війну підвищилась кількість закладів дошкільної освіти на 1,1%; середній освіти на 2,6%, кількість закладів вищої освіти не змінилось. Ці позитивні тенденції є слідством наявності міграційних процесів в Україні під час воєнного стану.

Утім, в 2022 році, в зв'язку з початком воєнних дій, декілька показників знизилась. Так, загальна площа житлових будівель, прийнятих в експлуатацію скоротилась на 64%, це пов'язано зі зниженням рівня будівництва внаслідок воєнного стану. Це впливає на ефективність житлової політики та рівень розвитку житлово-комунального господарства як вагомих складових якості життя населення.

Дослідження виявило, що житлово-комунальне господарство (ЖКГ) м. Києва є багатогалузевим комплексом, основною метою функціонування якого є забезпечення гарантованого надання споживачам житлово-комунальних послуг. В умовах воєнного стану підприємства ЖКГ виявились найбільш вразливим об'єктом. Для покращення ситуації в травні 2023 року було створено штаб з підготовки об'єктів житлово-комунального господарства та

паливно-енергетичного комплексу до осінньо-зимового періоду 2023/24 року під час воєнного стану [16]. Завдяки ефективній роботі цього тимчасового консультативно-дорадчого органа Кабінету Міністрів України стан ЖКГ м. Києва можна охарактеризувати як задовільний. На думку заступника голови КМДА П. Пантелєєва, житлово-комунальні служби та підприємства Києва демонструють в складних умовах сьогодення максимально стабільну й надійну роботу, що позитивно впливає на стан соціальної сфери [17].

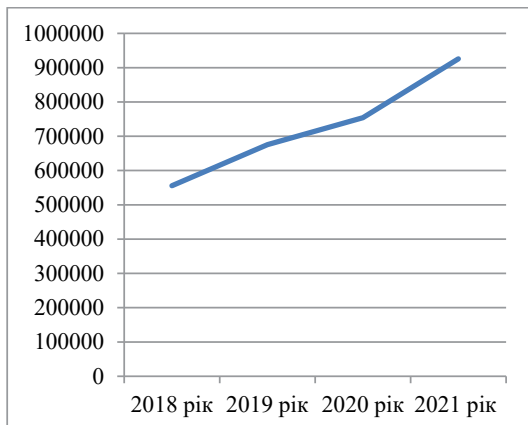


Рис. 5. Динаміка доходів населення, млн. грн.  
м. Києва

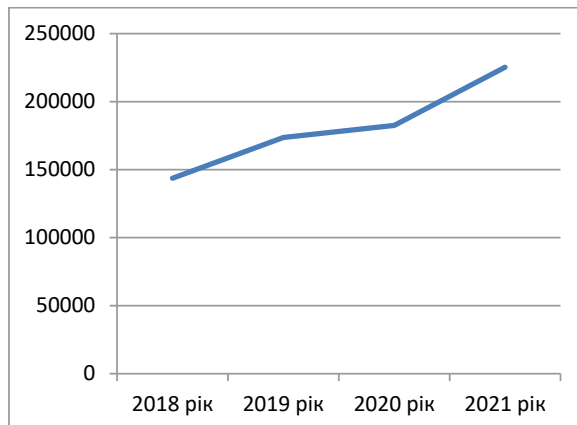


Рис. 6. Динаміка наявного доходу на одну особу,  
грн. м. Києва

Позитивна динаміка зазначених показників призвела до підвищення рівня соціальної допомоги за період з 2018 по 2021 рік вона зросла в 1,7 рази. Це призвело до відносного покращення показників якості життя населення (табл. 2).

Таблиця 2

Показники якості життя населення м. Києва [10–14]

Показники	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
1. Загальна площа житлових будівель, прийнятих в експлуатацію тис. м <sup>2</sup> загальної площі	1256	1114	865	1962	908
2. Кількість лікарняних ліжок, ліжко на 10000 населення	28	27,8	28	18,2	25,1
3. Кількість лікарів усіх спеціальностей, тис. осіб	25,2	25,2	25	14,2	23
4. Кількість осіб, які навчаються в закладах освіти, тис. ос.					
дошкільної освіти	112,9	125,2	120,4	121,92	90,09
середньої	301	307	312	325	339
вищої	363,1	342,2	258,8	253,8	263,9
5. Кількість закладів дошкільної освіти	583	654	711	715	723
середньої	505	517	523	566	581
вищої	97	97	97	83	83
5. Кількість зареєстрованих злочинів, тис.	60,037	53,8	39,3	38,3	34,5

Таким чином, в умовах воєнного стану існує проблема забезпечення стабільності сталого розвитку великих міст. Не зважаючи на окремі позитивні індикатори соціальної сфери, існує тенденція поступового зниження абсолютної бідності, відсоток якої, за оцінкою Світового банку, складає 24.1% [15]. Тому необхідно передбачити та розробити відповідні заходи, що будуть впливати на розвиток галузей соціальної сфери міста та зниження показників бідності.

**Висновки**

Отже, застосування методу системної динаміки до моніторингу соціальної сфери м. Києва дозволило визначити дві групи показників, за допомогою яких можна оцінити ефективність соціального розвитку, виявлено основні напрями удосконалення соціального розвитку м. Києва, пов'язаних з ефективністю вирішення соціальних питань місцевого значення на основі кількісних та якісних характеристик. Використання методу системної динаміки дозволяє сформулювати стратегічні орієнтири удосконалення механізмів публічного управління соціальним розвитком міста.

Так, удосконалення політико-правового механізму можливе через прийняття Концепції соціального розвитку міста, що буде містити основні напрями повоєнної трансформації соціальної сфери міста, мета якої це зниження рівня бідності. Удосконалення організаційного механізму можливе через трансформаційні перетворення органів публічної влади міста, основою діяльності яких буде консолідація органів публічної влади та громадянського суспільства м. Києва. Напрямами удосконалення економічного механізму може бути підвищення рівня адресної соціальної допомоги та активне впровадження державного-приватного партнерства в соціальну сферу міста.

### Список використаної літератури

1. Методологія системної динаміки Дж. Форрестера URL: [https://studies.in.ua/mpd\\_seminar/1312-metodologiya-sistemnoyi-dinamki-dzhforrester.html](https://studies.in.ua/mpd_seminar/1312-metodologiya-sistemnoyi-dinamki-dzhforrester.html)
2. Синютка О. М. Основні детермінанти метрополійного статусу великих міст України: функціональний аспект *Регіональна економіка* 2015, № 1. С. 27–36.
3. Інформаційно-аналітична записка щодо рівня життя населення 2019 <https://www.nas.gov.ua/tradeunion/news/Documents>
4. Міністерство соціальної політики України URL: <https://www.msp.gov.ua/timeline/Pokazniki-socialnoi-sferi.html>
5. Програма економічного і соціального розвитку м. Києва на 2021–2023 роки URL: [https://dei.kyivcity.gov.ua/files/2020/8/17/proiet\\_Hrogramu\\_SER\\_na\\_2021\\_2023\\_roki.pdf](https://dei.kyivcity.gov.ua/files/2020/8/17/proiet_Hrogramu_SER_na_2021_2023_roki.pdf)
6. Валовий регіональний продукт у 2019 році URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2021/zb/04/zb\\_vrp\\_2019.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/04/zb_vrp_2019.pdf)
7. Валовий регіональний продукт у 2020 році URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2022/z\\_b/05/zb\\_vvp\\_2020.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/z_b/05/zb_vvp_2020.pdf)
8. Доходи та витрати населення 2021 URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2023/02/zb\\_doch\\_21.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/02/zb_doch_21.pdf)
9. Міністерство фінансів України URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/salary/min/>
10. Статистичний щорічник України 2022 рік URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2023/zb/11/year\\_22\\_u.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/zb/11/year_22_u.pdf)
11. Статистичний щорічник України 2021 рік URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2022/zb/11/Yearbook\\_2021.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/11/Yearbook_2021.pdf)
12. Статистичний щорічник України 2020 рік URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/01/Arch\\_zor\\_zb.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/01/Arch_zor_zb.htm)
13. Статистичний щорічник України 2019 рік [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/01/Arch\\_zor\\_zb.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/01/Arch_zor_zb.htm)
14. Статистичний щорічник України 2018 рік URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/01/Arch\\_zor\\_zb.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/01/Arch_zor_zb.htm)
15. Як змінювався рівень бідності в Україні URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/05/04/infografika/ekonomika/yak>
16. Про утворення штабу з підготовки об'єктів житлово-комунального господарства та паливно-енергетичного комплексу до осінньо-зимового періоду 2023/24 року під час воєнного стану. Постанова Кабінету Міністрів України від 19 травня 2023 р. № 515 URL: [https://zakononline.com.ua/documents/show/518459\\_\\_\\_743421](https://zakononline.com.ua/documents/show/518459___743421)
17. Офіційний портал Києва URL: <https://kyivcity.gov.ua/news/>

### References

1. Metodolohiia systemnoi dynamiky Dzh.Forrester [J. Forrester's methodology of system dynamics] URL: [https://studies.in.ua/mpd\\_seminar/1312-metodologiya-sistemnoyi-dinamki-dzhforrester.html](https://studies.in.ua/mpd_seminar/1312-metodologiya-sistemnoyi-dinamki-dzhforrester.html) [in Ukrainian]
2. Syniutka O. M. (2015) Osnovni determinanty metropolijnogo statusu velykykh mist Ukrainy: funktsional'nyj aspekt [The main determinants of the metropolitan status of large cities of Ukraine: the functional aspect] *Rehional'na ekonomika* 2015, № 1. С. 27–36 [in Ukrainian]
3. Informatsijno-analitychna zapyska schodo rinvnia zhyttia naselennia 2019 [Informational and analytical note on the standard of living of the population in 2019] <https://www.nas.gov.ua/tradeunion/news/Documents> [in Ukrainian]
4. Ministerstvo sotsial'noi polityky Ukrainy [Ministry of Social Policy of Ukraine] URL: <https://www.msp.gov.ua/timeline/Pokazniki-socialnoi-sferi.html> [in Ukrainian]
5. Prohrama ekonomichnoho i sotsial'noho rozvytku m. Kyieva na 2021–2023 roky [Program of economic and social development of the city of Kyiv for 2021–2023] URL: [https://dei.kyivcity.gov.ua/files/2020/8/17/proiet\\_Hrogramu\\_SER\\_na\\_2021\\_2023\\_roki.pdf](https://dei.kyivcity.gov.ua/files/2020/8/17/proiet_Hrogramu_SER_na_2021_2023_roki.pdf) [in Ukrainian]
6. Valovyj rehional'nyj produkt u 2019 rotsi [Gross regional product in 2020] URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2021/zb/04/zb\\_vrp\\_2019.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/04/zb_vrp_2019.pdf) [in Ukrainian]
7. Valovyj rehional'nyj produkt u 2020 rotsi [Gross regional product in 2019] URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2022/z\\_b/05/zb\\_vvp\\_2020.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/z_b/05/zb_vvp_2020.pdf) [in Ukrainian]

8. Dokhody ta vytraty naselennia 2021 [Income and expenditure of the population in 2021] URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2023/02/zb\\_doch\\_21.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/02/zb_doch_21.pdf) [in Ukrainian]
9. Ministerstvo finansiv Ukrainy [Ministry of Finance of Ukraine] URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/salary/min/> [in Ukrainian]
10. Statystychnyj schorichnyk Ukrainy 2022 rik [Statistical Yearbook of Ukraine 2022] URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2023/zb/11/year\\_22\\_u.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2023/zb/11/year_22_u.pdf) [in Ukrainian]
11. Statystychnyj schorichnyk Ukrainy 2021 rik [Statistical Yearbook of Ukraine 2021] URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2022/zb/11/Yearbook\\_2021.pdf](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/11/Yearbook_2021.pdf) [in Ukrainian]
12. Statystychnyj schorichnyk Ukrainy 2020 rik [Statistical Yearbook of Ukraine 2020] URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/01/Arch\\_zor\\_zb.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/01/Arch_zor_zb.htm) [in Ukrainian]
13. Statystychnyj schorichnyk Ukrainy 2019 rik [Statistical Yearbook of Ukraine 2019] [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/01/Arch\\_zor\\_zb.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/01/Arch_zor_zb.htm) [in Ukrainian]
14. Statystychnyj schorichnyk Ukrainy 2018 rik [Statistical Yearbook of Ukraine 2022] URL: [https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/01/Arch\\_zor\\_zb.htm](https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/01/Arch_zor_zb.htm) [in Ukrainian]
15. Yak zminiuvavsia riven' bidnosti v Ukraini [How the level of poverty in Ukraine changed] URL: <https://www.slovoidilo.ua/2023/05/04/infografika/ekonomika/yak> [in Ukrainian]
16. Pro utvorennia shtabu z pidhotovky ob'iektiv zhytlovo-komunal'noho hospodarstva ta palyvno-enerhetychnoho kompleksu do osinn'o-zymovoho periodu 2023/24 roku pid chas voiennoho stanu. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 19 travnia 2023 r. № 515 [About the formation of the headquarters for the preparation of housing and communal facilities and the fuel and energy complex for the autumn-winter period of 2023/24 during martial law. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated May 19, 2023 No. 515] URL: [https://zakononline.com.ua/documents/show/518459\\_\\_743421](https://zakononline.com.ua/documents/show/518459__743421) [in Ukrainian]
17. Ofitsijnyj portal Kyieva [Official portal of Kyiv] URL: <https://kyivcity.gov.ua/news/> [in Ukrainian]

УДК 332.1

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.46>

Л. П. ОЛЕНКОВСЬКА

кандидат наук з державного управління, доцент,  
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8417-3827

М. І. ГУБА

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-6624-9074

## СТРАТЕГІЇ ТА ПЛАНИ ВІДНОВЛЕННЯ ОБЛАСТІ, РАЙОНУ, ГРОМАДИ 2024: НОВИЙ ВИТОК РАДЯНСЬКОГО СИНДРОМУ?

*У статті здійснено аналіз умов та нормативно-правового забезпечення підготовки планів відновлення територій, визначено групи факторів, які підлягають аналізу для продуктивного планування. В роботі звернуто увагу на особливу актуалізацію аналізу поточного стану територій, для яких розробляються плани відновлення. Встановлено ієрархію підготовки планів розвитку територій: планування по рівнях має починатися з схеми планування області, комплексних планів розвитку районів і вже потім – громад. З'ясована необхідність з одного боку, покрокового, та з іншого комплексного аналізу всіх факторів впливу на розвиток території, що визначає комплексне відновлення соціального, політичного, економічного, психологічного та екологічного балансу. Встановлено, що аналіз наявних ресурсів та стану інфраструктури, які можуть бути використані для відновлення вимагає глибокого, об'єктивного комплексного підходу. Відновлення та модернізація інфраструктури передбачатиме визначення пріоритетних об'єктів для відновлення інфраструктури та розробка планів їх модернізації з урахуванням майбутніх потреб. З'ясовано, що результатом комплексного аналізу має бути визначення точок зростання територій. Зроблено висновки про те, що розробка плану відновлення та розвитку для окремих територій має ґрунтуватися на концептуальній схемі планування розвитку території держави з визначенням статусу та ролі окремих територій в загальній концепції розвитку країни після воєнного стану. План відновлення повинен охоплювати широкий спектр вимірів – від фізичного відновлення інфраструктури до соціального, економічного та управлінського відновлення, що вимагає координації між різними рівнями влади, залучення громадськості та інтеграції міжнародної підтримки.*

**Ключові слова:** плани відновлення, повноваження місцевих органів влади, формування баз даних громади, області, рівні аналізу, управлінське відновлення.

L. P. OLENKOVSKA

PhD in Public Administration, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Public Administration  
and Local Self-Government  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8417-3827

M. I. GUBA

PhD in Economics, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Public Administration  
and Local Self-Government  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-6624-9074

## STRATEGIES AND PLANS FOR THE RESTORATION OF THE REGION, DISTRICT, COMMUNITY 2024: A NEW ROUND OF THE SOVIET SYNDROME?

*The article analyzes the conditions and regulatory framework for the preparation of territorial restoration plans, and identifies groups of factors to be analyzed for productive planning. The paper draws attention to the special relevance of the analysis of the current state of the territories for which recovery plans are being developed. The hierarchy of preparation of territory development plans is established: planning by levels should begin with the planning scheme of the region, comprehensive plans for the development of districts and only then – communities. The need for, on the one hand, a step-by-step and, on the other hand, a comprehensive analysis of all factors influencing the development of the territory,*

*which determines the comprehensive restoration of social, political, economic, psychological and environmental balance, is clarified. It has been established that the analysis of available resources and the state of infrastructure that can be used for restoration requires a deep, objective, comprehensive approach. Restoration and modernization of infrastructure will involve identifying priority facilities for infrastructure restoration and developing plans for their modernization, taking into account future needs. It is found that the result of a comprehensive analysis should be the identification of growth points of the territories. It is concluded that the development of a recovery and development plan for individual territories should be based on a conceptual scheme for planning the development of the territory of the state with the definition of the status and role of individual territories in the overall concept of the country's development after martial law. The recovery plan should cover a wide range of dimensions, from physical restoration of infrastructure to social, economic and governance recovery, which requires coordination between different levels of government, public involvement and integration of international support.*

**Key words:** *recovery plans, powers of local authorities, formation of community, regional databases, levels of analysis, managerial recovery.*

### Постановка проблеми

Відновлення після воєн та природних катастроф є складним і багатоаспектним викликом для будь-якої країни. Повномасштабне російське вторгнення Україна має далекосяжні соціальні та економічні наслідки, зокрема, пов'язані з масштабним переміщенням населення, фізичним пошкодженням будівель та інфраструктури, а також збільшенням кількості жертв серед цивільного населення. За оцінками ООН, війна може призвести до того, що понад 7,1 мільйона українців опиняться за межею бідності, а ще 3,7 мільйона наблизяться до неї [1]. Воєнні дії тривають, фінансові збитки та людські втрати збільшуються щодня. Наразі на рівні публічної влади, в експертному середовищі, громадській сфері активно здійснюються дискусії про відбудову, відновлення, розвиток регіонів і громад, розробку планів відновлення і пріоритетні сфери відновлення. Хоча фактично, плани відновлення мали бути на порядку денному ще з 2014 року, коли були окуповані значні території України. В період 2014–2022 років в державній політиці змінювалися підходи від відбудови виключно інфраструктурних об'єктів і реалізації тимчасових проєктів до розробки планувальних документів з чітко визначеними цілями для розвитку громад. Але системно державна політика щодо відновлення не була сформована на порядку денному через низку причин: зміна політичної ситуації в країні після 2014 року; початок реформ, у тому числі реформи децентралізації; відсутність певного досвіду ведення війни та тимчасової окупації територій; відсутність досвіду системної співпраці з міжнародними партнерами [2].

Після повномасштабного російського вторгнення, оголошення воєнного стану [3, 4], заяви Європейської Комісії ЄС про готовність створити платформу Rebuild Ukraine, щоб спільно працювати над відбудовою, було прийнято Указ Президента № 266/2022 «Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни» [5]. Створена Національна рада з відновлення України, як дорадчий орган, до складу якого увійшли найвищі представники влади, сформувала робочі групи по окремих темах – всього більше 20-ти, які розпочали активну діяльність та дискусію щодо розробки стратегій відновлення. В державі поки не існує єдиного загальнонаціонального плану відновлення України, розробленого владою, який мав би юридичну силу та використовувався іншими акторами відновлення як стратегічний документ. Відсутність такого плану є проблемою для всіх учасників відновлення: громад, донорів, органів громадянського суспільства тощо. Але питання розробки ефективних стратегій та планів відновлення є необхідною передумовою для відновлення постраждалих територій та відбудови країни [2].

В Україні розроблено нормативно-правову базу для підготовки та реалізації планів відновлення. Однак ці документи носять уніфікований характер, не враховують особливості ситуації з тимчасово окупованими територіями та територіями, які знаходяться в зоні активних бойових дій. Як і до початку широкомасштабного вторгнення, наголос робиться на плануванні «знизу вгору» – від громади до області. Хоча на даному етапі очевидно слід розглянути іншу послідовність планування.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження науковців перш за все стосуються вивченню зарубіжного досвіду повоєнного відновлення територій. Серед актуальних на сьогоднішній день питань пошуку механізмів відбудови України та забезпечення повоєнного розвитку територіальних громад доцільно виокремити дослідження таких авторів, як: Дука А. П., Старченко Г. В., Охріменко О. О., Калашник Н. С. Дослідження Іванова С. В. присвячені необхідності розробки концепції з урахуванням реальної геополітичної ситуації, заснованої на інноваційному розвитку. Але питання розробки стратегій та програм повоєнного відновлення розглядаються здебільшого в колі експертного середовища, зокрема за підтримки міжнародних програм ПРООН, USAID DOBRE, дослідниками Крижанівським В., Лазарчук П., Дацишиним М., Потапенко В. Залишаються поза увагою науковців питання ролі громад та органів місцевого самоврядування у плануванні відбудови та пошуку ефективних механізмів відновлення територій в умовах воєнного стану, а також визначенню підходів в процесах та процедурах під час розробки Плану відновлення та розвитку територіальної громади.

### Формування мети дослідження

З огляду на вищесказане метою статті є дослідження системного підходу в процесах та процедурах планування відновлення територій, визначення повноважень органів місцевого самоврядування у процесах планування відновлення.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Україна і українці, – принаймні та частина, яка планує повернутися, або наразі перебуває в Україні – потребують формування безпечної та адаптованої до умов тривалої війни, системи розселення. Про це попереджають аналітики, на цьому наполягають експерти, про це свідчить здоровий глузд. Протягом 2023 року на державному рівні підготовлено та прийнято цілу низку законів та підзаконних актів, які, здавалося, мають забезпечити безперешкодне тривання процесів відбудови населених пунктів, соціальної, інженерної інфраструктури. Це:

1) Зміни до Закону України «Про засади державної регіональної політики» [6];

2) Наказ Міністерства з питань реінтеграції тимчасово окупованих територій України від 22.12.2022 р. № 309 «Про затвердження Переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією» [7];

3) Постанова Кабінету Міністрів України від 19 квітня 2022 р. № 473 «Про затвердження Порядку виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд»;

4) Постанова Кабінету Міністрів від 19 квітня 2022 р. № 474 «Про затвердження Порядку виконання робіт з демонтажу об'єктів, пошкоджених або зруйнованих внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів»;

5) Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06.08.2022 р. № 144 «Про затвердження Методики проведення обстеження та оформлення його результатів»;

6) Наказ Мінекономіки /Фонду держмайна України від 18.10.2022 р. № 3904/1223 «Про затвердження Методики визначення шкоди та обсягу збитків, завданих підприємствам, установам та організаціям усіх форм власності внаслідок знищення та пошкодження їх майна у зв'язку із збройною агресією Російської Федерації, а також упущеної вигоди від неможливості чи перешкод у провадженні господарської діяльності»;

7) Закон України «Про компенсацію за пошкодження та знищення окремих категорій об'єктів нерухомого майна внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією Російської Федерації проти України, та Державний реєстр майна, пошкодженого та знищеного внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених збройною агресією Російської Федерації проти України».

При цьому держава наполегливо попереджає: постановою КМУ № 473: роботи з обстеження пошкоджених об'єктів виконуються на територіях, на яких відсутні або завершено активні фази бойових дій, після, – далі великий перелік обставин, які мають бути дотримані для проведення обстеження пошкоджених об'єктів. Підкреслюю, мова в даному випадку – лиш про обстеження. Разом із тим відповідно до Закону України «Про засади державної регіональної політики» на рівні територіальних громад обов'язково розробляються (до 27.01.2024): Стратегія розвитку територіальної громади до 2027 р. або План відновлення та розвитку територіальної громади до 2027 р. [6].

При цьому жодних роз'яснень стосовно того, як це здійснити у випадку, коли громади поки що знаходяться в зоні активних бойових дій або на тимчасово окупованих територіях, – нормативно-правова база не надає. Авторка має певний досвід роботи у робочих групах з підготовки планів відновлення для окремих громад Херсонської області у 2023 році, які відразу після деокупації отримали статус територій відновлення. Ініціаторами були місцеві органи влади. Навіть за умови відносно безпечної стабільності частини з них, зазначаємо, що для формування планів відновлення необхідні абсолютно відмінні від традиційних, методи аналізу та планування.

По-перше, обставини, що відбулися, настільки змінили соціальний та економічний ландшафт територій, що наразі жодні дані за попередні періоди, крім, хіба що даних про корисні копалини, до уваги братися не можуть. Не можна використовувати навіть дані про такі, здавалося б сталі природні ресурси як водні та земельні, оскільки важко передбачити, яка частина з них буде виведена з обігу і на який період. Тим більше, мало імовірно використовувати попередні дані про такий рухливий ресурс як населення. Отже, з чого почати? Яким чином забезпечити достатній обсяг аналітичних даних для ефективного планування і не переобтяжити процес непотрібними чи малопродуктивними з точки зору планування, даними.

В контексті переходу України від воєнного до мирного стану, аналіз поточного стану територій набуває особливої актуальності. Цей аналіз має враховувати не лише фізичні руйнування та економічні втрати, але й соціально-політичні зміни, що вплинули на суспільство. Він є фундаментом для розробки стратегій відновлення та модернізації територіальної організації влади, зокрема і місцевого самоврядування. Як і де саме розміщувати продуктивні сили з урахуванням безпекової компоненти, як планувати систему розселення в областях, які мають значні руйнування та відтік населення? Чи слід зберігати систему розселення в тому вигляді, в якому вона існувала до лютого 2022 року, чи, можливо слід переформатувати її? На більшість цих питань не зможуть дати відповіді територіальні громади, оскільки будь-яка система орієнтована на відновлення. І боротиметься за збереження себе самої. Чи це доцільно?

Отже, є очевидним, що на даному етапі розвитку усе має починатися з схеми планування області, комплексних планів розвитку районів і вже потім – громад. Адже насправді наразі статистичні дані збираються, і відповідно можуть бути проаналізовані лише на рівні області. Які саме дані бажано отримати для аналізу?

Соціально-економічний аспект. Економічні втрати та їх вплив – перше, що потребує аналізу це масштаб економічних втрат. Показник включає: руйнування інфраструктури, втрату робочих місць, перервання торговельних та бізнес- зв'язків. Нажаль, нині в кращому випадку відбувається документування фізичного руйнування житлової, інженерної інфраструктури, матеріальної бази підприємств та організацій. Очевидно, що обрахунок нематеріальних втрат має іншу природу, є більш складним через багатовекторність впливів.

Демографічні зміни: важливо оцінити зміни в демографії – зменшення населення через вимушену міграцію, збільшення числа біженців та ветеранів. Скорочення частини населення репродуктивного віку матиме значні наслідки для демографічної ситуації вже найближчі роки. Скорочення населення загалом, дитячого населення зокрема спричинятиме скорочення кількості робочих місць в гуманітарній сфері – освіті, охороні здоров'я.

Соціальні проблеми: необхідно проаналізувати рівень зростання соціальних проблем, таких як бідність, безробіття, травми війни, та визначити рівень навантаження на державний та місцеві бюджети.

Не менш важливим є політичний аспект, оскільки тривале перебування деяких територій в тимчасовій окупації суттєво впливає на політичні преференції місцевих еліт, а значить, на державну безпеку вцілому.

Зміна управлінських структур: аналіз повинен включати зміни в управлінських структурах та процесах прийняття рішень на місцевому рівні з урахуванням того, що під час створення та діяльності на окремих територіях військових адміністрацій втрачається культура громадської участі в процесах планування.

Взаємодія з центральною владою: має бути проведена оцінка того, як воєнний стан вплинув на взаємодію між місцевою та центральною владою, є критичною. Зокрема, процеси централізації фінансових потоків, точок прийняття рішень геть руйнують вже частково розбудовану систему децентралізаційних моделей, які на практиці вже давали позитивні результати. Перерозподіл повноважень вимагатиме прискіпливої уваги, нажаль, спостерігаємо підміну понять та спробу центральної влади перекласти на місцеве самоврядування невластиві їй функції – непопулярну серед населення – активізацію мобілізації, наприклад. І навпаки, розширення дій центральної влади в частині соціального захисту, що останнім часом, логічно переходило під відповідальність місцевого самоврядування і набувало ознак делегованого повноваження.

Громадська участь та довіра: бажано постійно аналізувати, як війна вплинула на рівень громадської участі та довіру до органів влади. Маємо умови, коли усі ланки влади вимушені приймати непопулярні рішення. Їх реалізація без активного соціального спротиву можлива лише за умов найширшого залучення громадськості. Незважаючи на спокусливу привабливість та простоту прийняття рішень одноосібно, слід пам'ятати про невідворотні негативні наслідки від втрати довіри як до центральних, так і до місцевих органів влади.

Оцінка здатності територій до відновлення: важливо оцінити поточну здатність органів місцевої влади та території загалом до відновлення та реагування на місцеві потреби. Суттєвою проблемою вже є, і буде в подальшому скорочення, а подекуди, і повна відсутність кадрового резерву в усіх сферах. Оскільки питання неповернення значної частини громадян і, відповідно, в подальшому, скорочення осіб із вищою освітою, які потенційно могли б претендувати на службу в органах державної влади та місцевого самоврядування.

Отже, аналіз наявних ресурсів та стану інфраструктури, які можуть бути використані для відновлення, наразі вимагає глибокого, об'єктивного комплексного підходу. Робити це для окремої територіальної громади, навіть достатньо великої, майже не має сенсу. Відновлення та модернізація інфраструктури передбачатиме визначення пріоритетних об'єктів для відновлення інфраструктури та розробка планів їх модернізації з урахуванням майбутніх потреб.

Сьогодні результатом комплексного аналізу має бути визначення точок зростання територій. Це має бути зроблено об'єктивно, без впливу особистісних інтересів, інакше конструкція ризикує виявитися неконкурентноспроможною. А, оскільки Україна використовуватиме переважно залучені кошти партнерів, це може стати причиною втрати довіри, а отже, джерел фінансування.

Надзвичайно важливим є аналіз системи комунікації та інформації. Слід оцінити, як воєнні події вплинули на систему комунікації та доступ до інформації. Є райони, де доступ до об'єктивної інформації для населення був втрачений на десятиліття. Тому мова йтиме не лише про технічне забезпечення функціонування каналів інформування, але й про формування відповідного інформаційного контенту для окремих територій, вікових груп тощо. Там, де інформаційні канали функціонували, бажано більше уваги приділяти роботі із населенням, яке з різних причин покинуло територію.

Травми та психологічний стан населення. Абсолютно необхідною умовою планування є аналіз психологічного стану населення на територіях. Важливо оцінити психологічний вплив війни на населення, включаючи проблеми психічного здоров'я. Має бути в планах відновлення передбачено програми психологічної підтримки та освітніх ініціатив для допомоги громадянам з воєнними травмами та адаптації до мирного життя.



Безумовно, доведеться аналізувати, як змінилися моральні цінності та культурний клімат в громадах. І це не лише при розробці маркетингових стратегій, а й при формуванні нового соціального простору, безпекових, культурних акцентах, які доведеться формувати заново. Особливо це стосується оцінки потреби у відновленні соціальної когезії та взаємодопомоги у громадах, які пережили роз'єднання та конфлікти, тривале перебування на тимчасово окупованих територіях. Програми зміцнення громадської єдності та відновлення соціальної тканини є ключовими.

Оцінка екологічного впливу. Вивчення впливу війни на навколишнє середовище, включаючи забруднення, руйнування природних ресурсів та зміну ландшафтів є надскладною задачею як через відсутність досвіду оцінки руйнувань – в таких масштабах та з такими характеристиками – і у наших партнерів також. Авторка проти тотального застосування стратегічної екологічної оцінки проєктів та стратегій у випадках, коли йдеться про проєкти, які жодним чином не матимуть впливу на екологію. Однак у даному випадку всеосяжна стратегічна екологічна оцінка необхідна. Практично кожен проєкт має бути продуманим таким чином, щоб сукупний вплив програм та проєктів планів відновлення сприяв оздоровленню природного середовища.

### Висновки

Аналіз поточного стану самих органів місцевої влади у повоєнний період вимагає глибокого розуміння різноманітних викликів та потреб. Відновлення після війни – це не лише фізичний процес, але й комплексне відновлення соціального, політичного, економічного, психологічного та екологічного балансу. Це вимагає стратегічного планування, міжсекторальної координації, інновацій та активної участі громад. Такий підхід забезпечить не тільки відновлення, але й довгостроковий стійкий розвиток місцевих громад, зміцнення демократії та впровадження доброго врядування. Виходячи з аналізу поточного стану, розробка плану відновлення та розвитку для окремих територій має ґрунтуватися на концептуальній схемі планування розвитку території держави, яка має бути прийнята найближчим часом, в оновленій Державній стратегії розвитку регіонів з визначенням статусу та ролі окремих територій в загальній концепції розвитку країни після воєнного стану. Він повинен охоплювати широкий спектр вимірів – від фізичного відновлення інфраструктури до соціального, економічного та управлінського відновлення. Це багатоплановий підхід, який вимагає координації між різними рівнями влади, залучення громадськості та інтеграції міжнародної підтримки. В умовах викликів, пов'язаних із впливом масштабу руйнації інфраструктурних комплексів, в Планах відновлення має знайти відображення можливість створення якісної інфраструктури в межах співробітництва громад, що буде сприяти оптимізації на певній території робочих місць, отримання якісних соціальних послуг, культурного розвитку та безпечного довкілля [9]. Співробітництво може сприяти не лише успішному подоланню наслідків неефективного використання наявних у територіальних громадах ресурсів, недосконалої організації територіальної влади й управління, а і комплексного повоєнного відновлення території, розбудові громад та підвищенню їх інвестиційної привабливості.

Перехід від воєнного до мирного стану в Україні несе в собі величезні виклики та можливості для органів місцевої влади. Адаптація до мирного життя вимагає не тільки відновлення зруйнованої інфраструктури, але й глибоких змін у самій суті управлінської діяльності.

### Список використаної літератури

1. Оцінка впливу війни на людей. Дослідження ООН. 2023. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/otsinka-vplyvu-viynu-na-lyudey>
2. Сайт Децентралізація. Т. Лукеря. Що зараз відбувається з державною політикою відновлення громад і які питання треба врахувати. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/17127>
3. Про правовий режим воєнного стану: Закон України від 12.05.2015 року № 389-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389>
4. Про введення воєнного стану в Україні: Указ Президента України від 24.02.2022 року № 64/2022. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/642022-41397>
5. Указ Президента № 266/2022 від 21 квітня 2022 року «Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни» URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225>
6. Про засади державної регіональної політики. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2015, № 13, ст.90). Електронний ресурс. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/156-19#Text>
7. Деякі питання формування переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією. – Постанова КМУ від 06 грудня 2022 р. № 1364. Електронний ресурс. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/deiaki-pytannia-formuvannia-pereliku-terytorii-na-iakykh-vedutsia-velysia-boiovi-dii-abo-tymchasovo-t61222>
8. Про співробітництво територіальних громад: Закон України. Електронний ресурс. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1508-18#Text>

## References

1. Otsinka vplyvu viiny na liudei. Doslidzhennia OON. 2023. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/publications/otsinka-vplyvu-viiny-na-lyudey>
2. Sait Detsentralizatsiia. T. Lukeria. Shcho zaraz vidbuvaietsia z derzhavnoi politykoiu vidnovlennia hromad i yaki pytannia treba vrakhuvaty. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/17127>
3. Pro pravovyi rezhym voiennoho stanu: Zakon Ukrainy vid 12.05.2015 roku № 389-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389>
4. Pro vvedennia voiennoho stanu v Ukraini: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 24.02.2022 roku № 64/2022. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/642022-41397>
5. Ukaz Prezydenta № 266/2022 vid 21 kvitnia 2022 roku «Pytannia Natsionalnoi rady z vidnovlennia Ukrainy vid naslidkiv viiny» URL: <https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225>
6. Pro zasady derzhavnoi rehionalnoi polityky. – Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR), 2015, № 13, st.90). Elektronnyi resurs : rezhym dostupu : – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/156-19#Text>
7. Deiaki pytannia formuvannia pereliku terytorii, na yakykh vedutsia (velysia) boiovi dii abo tymchasovo okupovanykh Rosiiskoiu Federatsiieiu. – Postanova KМУ vid vid 06 hrudnia 2022 r. № 1364 – Elektronnyi resurs. – URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/deiaki-pytannia-formuvannia-pereliku-terytorii-na-iakykh-vedutsia-velysia-boiovi-dii-abo-tymchasovo-t61222>
8. Pro spivrobotnytstvo terytorialnykh hromad: Zakon Ukrainy – Elektronnyi resurs. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1508-18#Text>

**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

**О. П. ЗУБАЛЬ**

студентка кафедри державного управління і місцевого самоврядування  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0009-0004-5746-7522

## КОНЦЕПЦІЯ КЕРОВАНОЇ СИСТЕМОЇ ЕВОЛЮЦІЇ СУБ'ЄКТА ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

*Робота присвячена формуванню наукового підґрунтя щодо постановки проблеми своєчасної системної відповідності органів публічної влади умовам трансформації середовища їх діяльності та формуванню концепції розв'язання визначеної проблематики на основі системного підходу.*

*В роботі досліджено наукові основи створення та функціонування органів публічної влади як системи та їх функціонування з точки зору теорії бюрократичної організації М. Вебера. Виокремлено один з основних теоретичних аспектів ефективності та результативності функціонування систем – відповідність системи внутрішнім трансформаціям та зовнішнім викликам. Підтверджено і обґрунтовано необхідність системного оновлення та модернізації органів публічної влади як системи. Охарактеризовано основні типові проблеми діяльності органів публічної влади, зроблено акцент на їх системності та циклічності, кореляційному зв'язку з адаптивними спроможностями суб'єктів публічного управління та адміністрування. Досліджено наявні в практиці публічного управління та адміністрування системи оцінки якості діяльності органів влади та підходи до їх оновлення і модернізації. Зроблено висновок, на основі аналізу результатів практичної діяльності органів публічної влади, щодо невідповідності ефективності і результативності вищезазначених систем і підходів викликам, що стоять перед суб'єктами публічного управління та адміністрування в сучасних умовах. Зроблено припущення щодо можливого розв'язання типової проблематики діяльності суб'єктів публічного управління та адміністрування за рахунок формалізованого системного циклічного оновлення. Запропоновано наукову концепцію керованої системної модернізації та оновлення органів публічної влади і їх діяльності. Сформовано основні складові концепції та окреслено методологію її формування. Визначено цільові орієнтири розробки концепції та її адаптації в практичну діяльність органів публічної влади.*

*Окреслено напрями наукового пошуку та подальших досліджень щодо обґрунтування визначення суб'єкта керованої системної еволюції в структурі органу публічної влади, формування методологічного змісту та алгоритму керованої системної еволюції, обґрунтування найбільш оптимального циклу проведення керованої системної еволюції, розробки методики визначення об'єктів комплексного бенчмаркетингу для проведення керованої системної еволюції, обґрунтування режиму здійснення системної еволюції та особливостей керованої системної еволюції для органів державного управління та місцевого самоврядування.*

**Ключові слова:** публічна влада, орган публічної влади, оцінка якості публічної влади, публічне управління та адміністрування, суб'єкт публічного управління та адміністрування, керована системна еволюція суб'єкта публічного управління та адміністрування.

**О. 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

**О. P. ZUBAL**

Student at the Department of Public Administration and Local Government  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0009-0004-5746-7522

## CONCEPT OF CONTROLLED SYSTEM EVOLUTION OF THE SUBJECT OF PUBLIC ADMINISTRATION

*The work is devoted to the formation of the scientific basis for setting the problem of timely systemic compliance of public authorities with the conditions of transformation of the environment of their activities and the formation of the concept of solving certain problems on the basis of a systematic approach.*

*The scientific foundations of the creation and functioning of public authorities as a system and their functioning from the point of view of the theory of bureaucratic organization of M. Weber are investigated. One of the main theoretical aspects of the efficiency and effectiveness of the functioning of systems is allocated – compliance of the system with internal transformations and external challenges. The necessity of systematic updating and modernization of public authorities as a system is confirmed and substantiated. The main typical problems of the activities of public authorities are characterized, emphasis is placed on their systematic and cyclical nature, correlation relationship with the adaptive capabilities of public administration and administration. It studies the existing in the practice of public administration and administration of the system for assessing the quality of activities of authorities and approaches to their updating and modernization. It has been concluded, on the basis of the analysis of the results of practical activity of public authorities, regarding the inconsistency of efficiency and effectiveness of the above-mentioned systems and approaches to the challenges facing the subjects of public administration and administration in modern conditions. An assumption is made regarding the possible solution of the typical problems of the activities of public administration and administration subjects due to the formalized system cyclic update. The scientific concept of controlled system modernization and renewal of public authorities and their activities is proposed. The main components of the concept are formed and the methodology of its formation is outlined. The target guidelines for the development of the concept and its adaptation to the practical activities of public authorities are determined.*

*The directions of scientific research and further research on the rationale for determining the subject of controlled system evolution in the structure of a public authority are outlined, formation of methodological content and algorithm of controlled system evolution, justification of the most optimal cycle of controlled system evolution, development of a methodology for determining objects of complex benchmarking for conducting controlled system evolution, justification of the mode of implementation of system evolution and features of managed system evolution for public administration and local self-government.*

**Key words:** public power, public authority, assessment of the quality of public power, public administration, subject of public administration, controlled systemic evolution of the subject of public administration.

### Постановка проблеми

Відмінною рисою сучасного світу є швидкі зміни. Вони стосуються усіх складових соціальної системи – суспільства, включаючи і систему публічного управління. Зміни завжди є передумовою появи «розривів»/проблем – невідповідностей того, що є на даний момент і того, що мало б бути у відповідності до змін, що відбулися. Спроможність своєчасно і повно ліквідувати «розриви»/проблеми є ознакою сучасності та ефективності будь якої системи та її спроможністю повноцінно досягати закладених в неї цілей. Для системи публічного управління і адміністрування цей фактор є безумовно важливим, виходячи з того, що від якості і ефективності, як самої системи публічного управління і адміністрування так і її діяльності, залежить якість і стан усієї керованої соціальної системи.

Як показує практика, «точкові» зміни, що характеризують підходи до модернізації публічної влади на сучасному етапі, не призводять до системних зрушень в якості роботи органів публічної влади та системи публічного управління і адміністрування в цілому, тому, що націлені на трансформації або перетворення в окремих елементах або локальних підсистемах, але вони не оновлюють роботу системи в цілому і до цього ж, в багатьох випадках, створюють додаткові «конфлікти взаємодії» між оновленими та застарілими елементами системи [1]. Поза увагою залишається удосконалення, системна комплексна модернізація та оновлення організаційних структур, процесів прийняття рішень і функціонального управління в органах публічної влади. Актуальність і недостатнє дослідження даної проблеми обумовлює необхідність проведення наукового пошуку задля формування наукової концепції розв'язання означеної проблеми та її вирішення на 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, політичних, загальногуманітарних та формальних наук, що породжує проблеми досконалого наукового пошуку і дослідження проблематики.

Як показує проведений науковий пошук більшість досліджень з цього та споріднених напрямків присвячена розробці як адаптивних систем управління, так і різноманітних систем оцінювання якості в публічному управлінні і адмініструванні. Зазначені підходи в першому випадку є спробою сформулювати здатність керуючої системи, органу публічної влади, до зміни параметрів власної діяльності і структури (системи, що самоналаштовуються та самоорганізуються) як відповідь на прогнозовані або здійснені збурення; в другому – впровадженню систем

поточного та результуючого оцінювання діяльності органів публічної влади, державних програм і проєктів, а також суто концептуально-теоретичним підходам обґрунтування стійкості, резистентності та резильєнтності системи публічного управління і адміністрування. Але, як показує практика, застосування вищезазначених підходів достатньою мірою не вирішує проблеми якісного, своєчасного оновлення і модернізації системи публічного управління і адміністрування, зважаючи на те, що більшість цих проблем лишається типовою і циклічною в діяльності органів публічної влади.

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою роботи є системний аналіз сфери та змісту діяльності публічної влади, формування підґрунтя щодо наукової постановки проблеми своєчасної системної відповідності органів публічної влади умовам трансформації середовища їх діяльності та формування концепції розв'язання визначеної проблеми.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

З точки зору системного підходу публічне управління і адміністрування є унікальною системою зі своєю, приаманною тільки їй, структурою, зв'язками та функціями. В своїй структурі система містить підсистеми та елементи створення керуючих сигналів, механізми, техніки та технології соціальної адаптації, втілення/реалізації, моніторингу, оцінки, контролю та «вживлення» цих сигналів у суспільство.

Набір елементів та інші складові системи публічного управління і адміністрування – своєрідний «ДНК» системи, що відрізняє її від інших систем і дозволяє їй виконувати закладені в неї завдання – спрямовувати соціальні ресурси та капітал в необхідних для розвитку суспільства та країни напрямках.

Код «ДНК» «зашито» в зміст елементарної структури та інші складові системи публічного управління і адміністрування, що створює її унікальність. Власне, сама ж унікальність структури публічного управління і адміністрування проявляється в зовнішньому середовищі через відносини з іншими.

Якщо, в силу тих чи інших обставин, змінені зовнішні умови функціонування і внутрішній зміст та характеристики системи публічного управління і адміністрування не будуть відповідати новим викликам, система має застосовувати здатність до своєчасної (або упередженої) адаптації, саморозвитку, системної еволюції, що дозволить їй стати відповідною новим викликам. Зміни щодо відповідності системи публічного управління і адміністрування новим умовам функціонування мають чітко відповідати запиту на нові якості та характеристики даної системи та базуватись на її новому або оновленому організаційно-функціональному змісті, що забезпечується адекватними викликам, техніками і технологіями.

Система публічного управління і адміністрування є соціальною системою відкритого типу, що відповідає безумовним принципам створення і існування бюрократичної організації. Згідно принципу бюрократизму теорії бюрократії М. Вебера будь-яка бюрократична організація, а, власне, такою безумовно є будь-який орган публічної влади, знаходиться завжди в «рамці» певних формалізованих процедур і правил: тобто сама існує за чітко узгодженими порядком, правилами і процедурами, а також відповідає за збереження та підтримання узгодженого та формально затвердженого суспільного порядку, правил і процедур, що дозволяють зберігати узгоджений суспільний лад та, власне, саме суспільство.

Створивши за певними принципами і правилами та зафіксувавши формально сталу структуру бюрократичної організації – певний суб'єкт публічного управління і адміністрування, вважається, що побудовано придатну до виконання завдань певного рівня публічного управління і адміністрування систему. Але з часом починає відбуватись ситуація, коли бюрократична організація – суб'єкт публічного управління і адміністрування, входить у внутрішній конфлікт: з одного боку, він відповідає за незмінність та сталість раніше затверджених правил, порядку та процедур, з іншого боку, коли ці правила, порядок та процедури перестають відповідати викликам сучасності щодо ефективного і результативного управління, бюрократична організація – суб'єкт публічного управління і адміністрування, стає джерелом «консервування» застарілих форми і змісту управління та стримування суспільного розвитку. Тобто, зберігаючи незмінність форми і змісту управління, отримуємо ситуацію коли бюрократична організація – суб'єкт публічного управління і адміністрування, за рахунок «консервування» правил, порядку та процедур, що не відповідають новим умовам функціонування, працює на утримання застарілих форми і змісту управління, роблячи їх негнучкими до зовнішніх та внутрішніх змін, зменшуючи ефективність і результативність власної діяльності і, що є головним, погіршуючи стан керованої соціальної системи – суспільства в цілому або окремої територіальної громади.

Теорія бюрократії М. Вебера наголошує: «Причина ефективності бюрократії полягає у використанні ресурсів, що найкраще призводять до поставленої мети, при цьому вони не схильні до суб'єктивізму керівника або впливу традицій, що вже вийшли з використання» [2]. Спираючись на це, можна стверджувати, що в певний час приходить момент необхідності оновлення, модернізації, кардинальних змін в системі публічної влади як в цілому так і її складових і, якщо цього не відбувається, це призводить до серйозних помилок у внутрішній та зовнішній політиці.

Згідно принципу системності публічне управління і адміністрування – це відкрита соціальна система. Вона функціонує у безпосередньому контакті з іншими системами і є залежною від змін зовнішнього середовища свого

функціонування. Зміни зовнішнього середовища створюють впливи на систему публічного управління і адміністрування, що викликає необхідність адекватних рівноважних реакцій відповідно до цих впливів у вигляді зміни як характеру її діяльності, так і, власне, за необхідності, самої системи з точки зору її організаційно-функціонального змісту. Якщо система не в змозі прореагувати адекватно на зовнішні зміни умов її функціонування, вона з часом втрачає власну дієздатність і спроможність досягати поставлених цілей, стає вразливою.

Система публічного управління і адміністрування має своє функціональне навантаження – призначення, що реалізується через закладені в неї, як систему, функції. Функція – це потенційна здатність системи завдяки власним спроможностям, виконувати відповідні дії для досягнення певних цілей в сукупності з іншими функціями системи. Під власними спроможностями суб'єкта публічного управління і адміністрування, в першу чергу, з точки зору змісту публічного управління і адміністрування, маємо розуміти техніки і технології здійснення влади. Процес – це сукупність дій з реалізації відповідних функцій системи для досягнення поставлених цілей, тобто – це реалізована функція. Від того якими техніками і технологіями забезпечено процеси, тобто реалізацію закладених функцій, залежить якість результату – досягнення поставлених цілей. Максимальна реалізація функцій, тобто безумовне досягнення закладених цілей, можливе лише за рахунок ефективних та результативних процесів і процедур, сучасних технік і технологій, що забезпечують певні процеси. Застарілі техніки і технології не дають можливості досягти максимально можливого результату, необхідного для системи.

Від сучасності та ефективності владних технологій, які використовує орган публічної влади як система, залежить кількісний та якісний результат його діяльності, тобто якість і стійкість суспільного стану та ефективність використання суспільного ресурсу. За умовчанням, система публічного управління і адміністрування має задля досягнення максимального результату та ефективності володіти найсучаснішими характеристиками і використовувати найсучасніші владні техніки і технології у всіх сферах функціонального призначення. Це є запорукою своєчасної рівноважної реакції на зовнішні зміни і виклики та збереження стійкості і стабільності керованої системи. У випадку неспроможності системи бути відповідною зовнішнім впливам і викликам, цілі і завдання суб'єкта публічного управління і адміністрування як системи мають змінюватись відповідно до змін умов існування і діяльності, але так само потребують змін характеристик системи задля належного виконання цих нових завдань та досягнення нових цілей. Як вказують Рут Хаббард і Жіль Паке, система державного управління є складною адаптивною системою, яку можна порівнювати, в деякому сенсі, з еко-системою. Для того, щоб така система могла підтримувати своє функціонування зсередини, зростати і оновлюватися апарати управління повинні бути, необхідною мірою, різноманітними і мати здатність своєчасно змінюватися [3].

Особливістю публічного управління і адміністрування є те, що дана система є певним монополістом в своїй галузі. Тобто зовнішніх природних стимулів або примусів до оновлення та системної модернізації система публічного управління і адміністрування, де-факто, не має. В такому випадку система може застарівати і ставати архаїчною з точки зору власної структури, технік і технологій здійснення влади. Драйвером оновлення та модернізації могло б виступати розвинуте громадянське суспільство, але за відсутності такого, мають бути наявні механізми та інструменти, що спонукають систему публічного управління і адміністрування системно циклічно оновлюватися.

В сучасній практиці, як показують результати дослідження, ідентифікація зовнішніх викликів та впливів та коригування діяльності в органах публічної влади здійснюється, в більшості випадків, на основі використання адаптивних систем управління і різноманітних систем оцінювання якості [4].

Результат застосування будь-якої системи оцінки якості (позитивний або негативний) є підставою для коригування, тою чи іншою мірою, в основному, тільки діяльності в досягненні максимальних значень обраних показників. Тобто, діяльність суб'єктів публічного управління і адміністрування коригується тільки в межах обраних показників, не торкаючись змін в системі органу публічної влади в цілому. В процесі оцінки, що спирається на існуючу формалізовану методологічну та методичну базу, відстежується тільки динаміка обраних показників і не враховуються показники, так званих, «втрачених» або нових можливостей: можливості застосування в роботі органу публічної влади нових технік та технологій, що виникли протягом певного періоду – нові технології здійснення влади, прогресивні інноваційні зміни в організаційних структурах та інше. Мова йде про те, що дає можливість «підтягнути» не окремих показників діяльності органу публічної влади, а змінити якість і результативність усієї системи.

Дослідження практичної складової діяльності суб'єктів публічного управління і адміністрування показало, що залежно від зміни зовнішніх умов функціонування складові системи органу публічної влади можуть ставати невідповідними новим умовам, з точки зору їх функціонального та організаційного змісту, а техніки і технології здійснення влади або стають технічно застарілими, або морально невідповідними тим цілям і завданням, які стоять перед органом публічної влади. Це знаходить прояв в певних системних проблемах, що з'являються в діяльності органу публічної влади. До наявних на даний час, типових і циклічно виникаючих проблем можна віднести наступні:

1. Організаційні структури суб'єктів публічного управління і адміністрування не повною мірою відповідають завданням, що стоять перед ними:

- в організаційних структурах суб'єктів публічного управління і адміністрування відсутні підрозділи, завданням яких є вирішення питань, пов'язаних з розробкою та реалізацією суспільно-політичних, стратегічних та кризових проєктів, що є важливим викликом часу;

- відсутні підрозділи, до компетенції яких входив би комплексний аналіз ситуації на території, оцінка її стану в щотижневому тренді за широким спектром напрямків, розробка економічних та суспільно-політичних прогнозів та моделювання суспільно-політичних ситуацій, з точки зору стану соціальної напруженості;

- немає підрозділів, які впроваджують якісні зміни у функціональну діяльність суб'єктів публічного управління і адміністрування, відповідаючи на зовнішні виклики своєчасними якісними та кількісними внутрішніми змінами.

2. Неякісно організована робота структурних підрозділів суб'єктів публічного управління і адміністрування – невідповідність діяльності суб'єктів публічного управління і адміністрування найкращим світовим практикам організації діяльності публічної влади. У системі діяльності суб'єктів публічного управління і адміністрування, в цілому та окремо взятих структурних підрозділах, не застосовуються та не виконуються стандарти системного та високопрофесійного забезпечення управлінської діяльності, що не дозволяє забезпечити належну якість управлінських послуг. Відсутність даних стандартів не дозволяє, в більшості випадків, виконувати функції та завдання, що стоять перед суб'єктами публічного управління і адміністрування, у найкоротші чи встановлені терміни, за умови найкращого використання ресурсів: фінансових, кадрових, матеріальних, інформаційних та інших.

3. Неєфективна система роботи суб'єктів публічного управління і адміністрування. Структурні підрозділи суб'єктів публічного управління і адміністрування здебільшого не керуються при розробці програм та вирішенні проблем соціально-економічного розвитку території кількісними даними («розривами») між нормативними та наявними показниками забезпечення життєдіяльності мешканців території. В поточній діяльності відсутнє розуміння, з яких показників на початку року «стартує» робота відповідного структурного підрозділу суб'єкта публічного управління і адміністрування, як ці показники змінюються та якою є ефективність вкладених коштів для проведення цих змін. Це породжує суб'єктивність у розподілі бюджетних коштів на етапі планування, конфліктні ситуації при затвердженні бюджетів, нерозуміння суспільством підстав для вибору пріоритетів розвитку та відсутність можливості об'єктивно оцінити роботу структурних підрозділів та суб'єкта публічного управління і адміністрування в цілому.

4. У представників суспільства відсутнє розуміння того, що, як і в які терміни, суб'єкти публічного управління і адміністрування мають намір робити для відповідної території та її мешканців. В публічній площині відсутні динамічні плани діяльності структурних підрозділів суб'єктів публічного управління і адміністрування та дані системного моніторингу і бенчмаркетингової оцінки результативності і ефективності відповідної діяльності публічної влади

5. В системі нормативних документів, що регламентують функціонування структурних підрозділів та діяльність посадових осіб суб'єктів публічного управління і адміністрування (Положення про департаменти, управління, відділи, посадові інструкції, інше), існують розбіжності та різночитання. Ця проблема породжує «втрату» низки завдань (чи їх різночитання), що загалом негативно впливає на якість управління та результативність управлінських процесів.

6. Наявна, у ряді випадків, професійна невідповідність працівників структурних підрозділів суб'єктів публічного управління і адміністрування вимогам посадових інструкцій, тобто невідповідність персональних властивостей службовців функціональному змісту їх управлінської діяльності на різних рівнях, що породжує низьку якість управлінської діяльності і, відповідно, результатів.

7. Суспільні маркери свідчать про наявність стійкої громадської думки про відсутність системної інформаційної діяльності суб'єктів публічного управління і адміністрування щодо надання представникам суспільства публічної інформації про власну діяльність. Діяльність суб'єктів публічного управління і адміністрування не висвітлюється достатньою мірою в публічному «полі». Система оф- та онлайн інформування представників суспільства не відповідає їх запитам на повноту інформації та об'єктивним потребам організації життєдіяльності території.

8. Мешканці територіальних громад байдуже ставляться до спроб публічної влади залучити їх до активних процесів самоорганізації та змін.

9. Суб'єкти, що впливають на розвиток та управління територією (виконавча влада, суб'єкти місцевого самоврядування та суб'єкти делегованих повноважень) не мають здебільшого спільної платформи для взаємодії та форм об'єднання зусиль у розвитку територіальних громад.

10. Більшість суб'єктів публічного управління і адміністрування приймає участь в процесах керування й організації економічного кругообігу та суспільного життя тільки як суб'єкт цих процесів і не є проактивними учасниками цих процесів на місцевому рівні в ролі об'єкта економічних та суспільних процесів – бізнес-партнера в конкретних бізнесах з відповідальним використанням спільної власності громади та рівноважного партнера в суспільних відносинах, що могло би спонукати інших учасників цих процесів, інвесторів та мешканців, до

безпосередньої участі в цих процесах, вкладанні особистих ресурсів, виходячи з прикладу, поданого чинною владою [5].

Аналіз середовища виникнення і існування означених проблем свідчить, що більшість з них не з'являється окремо, вони є корельованими між собою, виникають комплексно і характерні для діяльності більшості суб'єктів публічного управління і адміністрування. Концентрація зусиль на ліквідації локальних наслідків кожної окремої проблеми безумовно можлива, але ця ситуація буде повторюватись постійно, якщо не прибрати їх джерело – системну циклічну невідповідність суб'єкта публічного управління і адміністрування умовам функціонування. З огляду на те, що комплексне джерело має ознаки системності, підходи в його ліквідації теж мають бути системними. Також, парадокс ситуації полягає в тому, що незважаючи на достатньо довге існування концепції адаптивного управління та її використання в практиці публічного управління і адміністрування, наявність переліку вищезазначених типових проблем для органів публічної влади є постійно повторюваним і в цілому незмінним. Тобто, використання адаптивного управління, априорі, мало б забезпечити відповідні, необхідні до зовнішніх збурень, зміни як організаційно так і в функціонально. Але реальність свідчить про складність застосування в практичній діяльності таких систем, відсутність їх в складі процесів, що здійснюють органи публічної влади та їх низьку придатність до рівня підготовленості та освіти працівників публічної влади, особливо місцевого врядування.

Як вважають автори, вищезазначені та інші проблеми, що притаманні діяльності суб'єктів публічного управління і адміністрування, неможливо системно вирішити, спираючись тільки на використання систем оцінки якості, що базуються на переліку окремих показників, адже зазначені системи, по-перше, прив'язані до результатів оцінки програм і проєктів, а не стану і спроможності самого суб'єкта публічного управління і адміністрування здійснювати ефективно і результативно власну діяльність; по-друге, не відбивають характеристики стану цілісної системи органу публічної влади, а надають локальну інформацію стосовно стану окремих галузей та напрямів діяльності. Також це неможливо тільки за рахунок застосування систем резистентності та резильєнтності публічної влади, оскільки вони задають, в основному, загальні напрямки і окреслюють теоретичні механізми її стійкості та цілісності, а не модернізації та адаптивності.

Постає питання щодо необхідності існування в системі публічного управління і адміністрування зрозумілого, пристосованого до реальних умов діяльності публічної влади механізму і інструментів системного оновлення і модернізації суб'єктів публічного управління і адміністрування та їх діяльності. Цей механізм потрібен для керування змінами, що мають запроваджуватись у відповідності до характеристик системи органу публічної влади та змін умов його діяльності у формі оновлення і модернізації, що є вкрай необхідним для досягнення якісного результату діяльності системи.

На думку авторів, це може бути запроваджено у вигляді, так званого, «стандартного протоколу»/регламенту – чітко визначеного набору напрямків, інструментів та змісту керованої системної циклічної комплексної модернізації і оновлення органу публічної влади та його діяльності в чітко регламентовані проміжки часу – системної керованої еволюції органу публічної влади.

Відмінність такої системи від інших мала б полягати в стандартно-зафіксованих процедурах і інструментах оновлення і модернізації за визначеними напрямками, що мають здійснюватися у визначені проміжки часу, системно постійно і регулярно.

На даному етапі наукового дослідження під керованою системною еволюцією органу публічної влади пропонується розглядати процеси змін у вигляді визначеного в часі, системного, формалізованого алгоритму оновлення та модернізації як, власне, самого органу публічної влади, так і його діяльності.

Цей процес має стосуватись комплексного аналізу результативності, ефективності і відповідності усіх складових системи органу публічної влади наявним умовам діяльності та включати організаційний, функціональний, технічний та технологічний бенчмаркетинг владної діяльності відповідно до визначеного періоду. Результати комплексного порівняльного аналізу дозволять створити розуміння організаційно-функціональних, процесних, технічних та технологічних «розривів» між еталонними складовими владної діяльності та наявно використовуваними в діяльності органу публічної влади. Це надасть підстави для своєчасної реалізації процесу впровадження наявних прикладів ефективного функціонування в діяльність органу публічної влади з метою покращення його власної роботи.

Теоретико-методичні підходи формалізації процесів керування системною еволюцією суб'єкта публічного управління і адміністрування є подальшим об'єктом наукових досліджень в межах пропонованої концепції.

Можливо, на думку авторів, в межах пропонованої концепції буде доцільним розглянути перспективу розширення змісту поняття «адаптивність» не тільки як спроможності системи змінитись відповідно до зміни внутрішніх факторів і зовнішніх умов функціонування, а і як стійку готовність до можливих змін та здатність їх витримувати. Але це є предметом подальшого наукового пошуку на підтвердження як концепції в цілому так і її окремих складових.

Відповіді на ці питання дозволять науково підтвердити та детально обґрунтувати наведену в статті концепцію та побудувати практичну систему дій щодо своєчасної адаптації будь-якого органу публічної влади і його



діяльності до зовнішніх викликів і змін з найменшим часовим лагом, шляхом використання у владній діяльності сучасних технології влади.

#### Висновки

Практика діяльності публічної влади показує, що дуже часто відбувається ситуація, коли побудована модель суб'єкта публічного управління і адміністрування втрачає здатність до саморозвитку, оптимального, ефективного оновлення та модернізації залежно від зміни внутрішніх факторів та зовнішніх умов середовища. Це негативно відбивається як на локальних результатах діяльності органу публічної влади, так і стані керованої суспільної системи в цілому. Найвні в практиці публічного управління і адміністрування системи адаптивного управління та оцінки якості діяльності органів публічної влади дають можливість керування динамікою окремих визначених показників або їх груп, не «зачіпаючи» комплексно усю систему органу публічної влади в цілому. В цьому випадку, коригування окремих сфер діяльності органу публічної влади не призводить до комплексного оновлення і модернізації усіх елементів системи, процесів, технік та технологій здійснення влади. Наслідком цього стає невідповідність характеристик системи органу публічної влади, суб'єкта публічного управління і адміністрування, новим викликам та умовам діяльності, що може призводити в подальшому до атрофії влади та кризи суспільних відносин.

Запропонована концепція керованої системної еволюції органу публічної влади має на меті створення «стандартного протоколу» системного циклічного оновлення та модернізації всієї системи органу публічної влади та його діяльності – формалізації даних процесів в обґрунтованому режимі. На думку авторів, це створить можливість органу публічної влади своєчасно бути відповідним до зовнішніх змін, мати найкращі техніки і технології здійснення влади та на цій підставі організувати якісні, ефективні та результативні процеси власної діяльності.

#### Список використаної літератури

1. Половцев О.В. Системний підхід до прийняття рішень в державному управлінні: монографія / Половцев О.В., [монографія] GlobeEdit Dodo Books Indian Ocean Ltd. member of the OmniScriptum S.R.L Publishing groupe, 2021 р., 207 стор., ISBN 978-620-0-62602-8
2. Weber M. "Bureaucracy" // From Max Weber: Essays in Sociology / translated, edited and introduced by H. H. Gerth and C. Wright Mills. London : Routledge, 1948.
3. Hubbard R., Paquet G. The black Hole of Public Administration. Ottawa: University of Ottawa Press, 2010. 537 p. P. 7–8.
4. Vedung E. Public Policy and Program Evaluation. London: Routledge, 1997. 336 p.
5. Polovtsev, O. V., Golova, A. V., & Dubin, D. L. (2023). Retrospective analysis of socio-political conditions of the transformation process of the functional content of public authority activity. *News of Science and Education*, 1. Retrieved from [https://scieduc.eu/ojs\\_en/index.php/en\\_ojs/article/view/63](https://scieduc.eu/ojs_en/index.php/en_ojs/article/view/63)

#### References

1. Polovtsev O.V. (2021). *Systematic approach to decision-making in public administration*. GlobeEdit Dodo Books Indian Ocean Ltd. member of the OmniScriptum S.R.L Publishing groupe [in Ukrainian].
2. Weber M. "Bureaucracy" // From Max Weber: Essays in Sociology / translated, edited and introduced by H. H. Gerth and C. Wright Mills. London : Routledge, 1948.
3. Hubbard R., Paquet G. The black Hole of Public Administration. Ottawa: University of Ottawa Press, 2010. 537 p. P. 7–8.
4. Vedung E. Public Policy and Program Evaluation. London: Routledge, 1997. 336 p.
5. Polovtsev, O. V., Golova, A. V., & Dubin, D. L. (2023). Retrospective analysis of socio-political conditions of the transformation process of the functional content of public authority activity. *News of Science and Education*, 1. Retrieved from [https://scieduc.eu/ojs\\_en/index.php/en\\_ojs/article/view/63](https://scieduc.eu/ojs_en/index.php/en_ojs/article/view/63)

Я. Ф. РАДИШ

доктор наук з державного управління,  
професор кафедри управління та адміністрування  
КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти»  
ORCID: 0000-0002-8374-5424

## ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ: НОВА МОДЕЛЬ ПІДГОТОВКИ ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ В СИСТЕМІ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ

*У презентації результатів дослідження розглядається сутність, можливості та особливості навчання педагогічних працівників впродовж життя в системі безперервної освіти; визначені моделі безперервної освіти з підготовки фахівців, зокрема педагогічних працівників, в умовах публічного управління та основні системи їх професійного навчання. Публічне управління включає, зокрема, ту діяльність, яка забезпечує ефективне функціонування всієї системи органів державної влади та органів місцевого самоврядування і передбачає широке залучення різних зацікавлених сторін до розробки та реалізації державної політики в соціальному управлінні. При навчанні студентів в педагогічних ЗВО управління розглядається в додатку до освітніх систем: школам, дошкільним закладам, центрам додаткової освіти тощо. Сучасна система загальної, середньої спеціальної і вищої освіти України вимушена вирішувати такі завдання, про які кілька років тому багато учених-педагогів і практиків серйозно не замислювалися.*

*Йдеться про необхідність формування у здобувачів освіти мотивів, потреб, інтересу отримати освіту високої професійної компетентності, адаптаційних умінь для успішної професійної діяльності.*

*Це дозволить правильно намітити шляхи формування і зміцнення професійного інтересу при навчанні в школі, коледжі і ЗВО, від чого багато в чому залежить подальша професійна діяльність, соціалізація особистості.*

*Тому виникла необхідність розробити напрями впровадження механізмів зарубіжного досвіду безперервної освіти в Україні. Звідси виникла проблема пошуку дослідження діяльнісного забезпечення механізмів розвитку такої системи освіти, основною метою якої є з'ясування особливостей самого процесу навчання людини в різні періоди життя, його мотивація, розвиток інтересів і потреб фахівців різних галузей знань. Правильне професійне самовизначення, інтерес у рамках нової моделі безперервної освіти – критерії оцінки якості підготовки фахівців різних галузей освіти в Україні, зокрема і педагогів.*

**Ключові слова:** безперервна освіта, модель, механізми, підготовка, публічне управління, педагогічні працівники.

YA. F. RADISH

Doctor of Public Administration,  
Professor at the Department of Management and Administration  
Public Higher Educational Establishment  
“Vinnytsia Academy of Continuous Education”  
ORCID: 0000-0002-8374-5424

## PUBLIC ADMINISTRATION: A NEW MODEL OF TEACHER TRAINING IN THE CONTINUOUS EDUCATION SYSTEM OF UKRAINE

*In the presentation of the research results, the essence, the possibility and the features of lifelong learning of pedagogical workers in the system of continuous education are covered; the models of continuous education for the training of specialists, in particular pedagogical workers, in the conditions of public administration and the main systems of their professional training are defined. Public administration includes, in particular, that activity that ensures the effective functioning of the entire system of state authorities and local self-government bodies and involves the broad involvement of various interested parties in the development and implementation of state policy in social administration. When teaching students in pedagogical higher education institutions, management is considered in addition to the educational systems: schools, preschools, centers of additional education, etc. The modern system of general, secondary special and higher education of Ukraine is forced to solve such tasks, which a few years ago many scientists-pedagogues and practitioners did not seriously think about.*

*It is about the necessity of forming motivations, needs, and interest in education seekers to obtain high professional competence education, adaptation skills for successful professional activity. This will make it possible to correctly outline the ways of formation and strengthening of professional interest while studying at school, college and higher education institution, which largely depends on further professional activity and socialization of the individual.*

*Therefore, it has become necessary to develop directions for the implementation of mechanisms of foreign experience of continuous education in Ukraine. This is where the problem of finding research activities to support the development mechanisms of such education system arises, the main purpose of which is to find out the peculiarities of the human learning process itself in different periods of life, its motivation, the development of interests and needs of specialists in various fields of knowledge. Correct professional self-determination, interest in the framework of a new model of continuous education – criteria for evaluating the quality of training of specialists in various fields of education in Ukraine, including teachers.*

**Key words:** *continuous education, model, mechanisms, training, public administration, teaching staff.*

### Постановка проблеми

Сучасна економіка, яка характеризується динамічністю, масштабністю та багатовекторністю змін, визначається як економіка знань, в якій людський капітал стає основним виробничим ресурсом. Вимоги, які зараз висуваються до підготовки педагогічних працівників і вже досвідчених фахівців, мають спільну особливість – бажання та здатність до постійного самонавчання та саморозвитку, саме тому такий підхід потребує навчання впродовж усього життя. Піклування про себе є і привілеєм, і обов'язком педагогів, що, з одного боку, забезпечує свободу, а з іншого – примушує всіх людей навчатися та вдосконалюватися, що зумовлено, по-перше, потребами публічного суспільства, а по-друге, потребами самого фахівця, зокрема і педагогічних працівників, в умовах публічного управління.

Публічне управління в Україні проходить етап свого становлення. Публічне управління (англ. – public management) – це діяльність, яка забезпечує ефективне функціонування системи органів державної влади, регіонального врядування, органів місцевого самоврядування, громадських (неурядових) організацій, фізичних осіб та інших суб'єктів громадянського суспільства з метою реалізації державної політики в найрізноманітніших сферах суспільного життя, зокрема і в системі освіти.

Підготовка фахівців нового типу, зокрема і педагогічних працівників, що мають високу професійну майстерність, передову технологію, культуру, гнучке мислення, неможлива без цілісного освітнього простору. У зв'язку з об'єктивними потребами соціально-економічного і науково-технічного розвитку країни стала очевидною необхідність створення таких педагогічних систем, які забезпечили б єдність, взаємозв'язок загального, середнього і вищого етапів формування майбутнього фахівця. В особливій мірі це актуально для підготовки фахівців з публічного управління, зокрема педагогічних працівників в умовах безперервної освіти.

Поняття безперервної освіти передбачає створення єдиної цілісної системи, що забезпечує можливості для задоволення освітніх запитів кожної особи. Нині деякими дослідниками зроблені практичні кроки до створення структур, моделей, що реалізують ідеї безперервної освіти [1].

Структура безперервної освіти в Україні включає: дошкільну освіту, загальну середню освіту, позашкільну освіту, професійно-технічну освіту, вищу освіту, післядипломну освіту, аспірантуру, докторантуру, самоосвіту (ст. 29 Закону «Про вищу освіту»). В той же час, залишаються недостатньо опрацьованими питання, які стосуються забезпечення наступності освітніх структур, змісту, форм і способів здійснення безперервного навчання на різних етапах єдиного освітнього простору «дошкільний заклад – школа, школа – коледж, коледж – ЗВО, ЗВО – магістратура, магістратура – аспірантура».

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам безперервної освіти присвячені праці А. Владиславлева, В. Зінченка, В. Кременя, Ю. Кулюткіна, В. Онушкіна, А. Асмолова, С. Вершловського, В. Шадрікова, В. Шукшуноватої та ін. Дослідженням проблем підвищення рівня професійної кваліфікації фахівців, зокрема, аспектів методологічних основ безперервної професійної освіти, а також порівняльним аналізом ступеневої освіти в Україні та за кордоном займалися такі науковці як С. Гончаренко, І. Зязюн, В. Кремінь, Н. Ничкало, В. Олійник, Т. Кошманова, Л. Пуховська, М. Лещенко та ін.

Аналіз вітчизняної і зарубіжної психолого-педагогічної літератури засвідчив, що існують невирішені раніше частини загальної проблеми. Проте досі у вітчизняній науці недостатньо дослідженими залишаються питання про співвіднесення поняття «безперервна освіта» і «публічне управління» та особливості щодо їх реалізації. Сутність публічного управління висвітлена у публікаціях С. Хамініна, В. Дорофієнка, Ю. Кіндзерського та О. Костусева. Це свідчить про зростання значущості аналізу публічного управління в умовах становлення країни за європейськими стандартами, однак є потреба більш детального розгляду модернізації освіти педагогічних працівників.

Враховуючи актуальність, соціальну значущість забезпечення якості національної освіти в Україні і пов'язану з цим проблему розвитку безперервної освіти фахівців з публічного управління, зокрема і педагогічних працівників, темою інноваційної розробки обрано: «Публічне управління: Нова модель підготовки педагогічних працівників в системі безперервної освіти України». Об'єктом дослідження є безперервна освіта педагогічних працівників в умовах публічного управління, предметом – модель підготовки педагогічних працівників в системі безперервної освіти.

### Формулювання мети дослідження

Визначити сутнісні особливості нових моделей навчання, окреслити доцільність їх активного використання у навчанні педагогічних працівників в умовах публічного управління.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Нова модель публічного управління в системі освіти набула значного поширення в Україні та за кордоном. Зарубіжні вчені приділяють багато уваги змісту та особливостям публічного управління. Звернення до історії надало можливість визначити провідні моделі публічного управління та публічного адміністрування. Модель ідеальної бюрократії, яку запропонував Макс Вебер, зазнала великої критики вже в другій половині ХХ ст. Використання цієї моделі на практиці показало, що лише завдяки чіткій управлінській ієрархії та дотриманню жорстких правил не можна очікувати значного підвищення ефективності управління. На подальший розвиток науки управління значно вплинула поведінкова теорія менеджменту, яка приділила велику увагу значенню людського фактора в управлінні, яка вказує на те, що підвищити дієвість управління можна шляхом підвищення ефективності використання людських ресурсів [3, с. 17].

Так, у безперервній освіті модель публічного адміністрування («бюрократична модель») трансформувалася у модель публічного управління («ринкова модель»): акценти змістилися з виконання роботи згідно з інструкціями та чіткими правилами на роботу, що спрямована на надання якісних публічних послуг та досягнення ефективних результатів. Незважаючи на те, що управління у приватній та публічній сферах почало здійснюватися однаково, публічне управління має свої особливості.

Головна мета будь-якого управління у публічній чи у приватній сфері – з мінімальними витратами ресурсів, часу і зусиль досягнути максимальної ефективності, дієвості і результативності. Публічний управлінець намагається найбільш раціонально використати наявну інфраструктуру для надання публічних благ та задоволення суспільного інтересу.

Класична теорія менеджменту у державному секторі реалізувалася на практиці через модель публічного адміністрування (англ. – public administration), неокласична теорія менеджменту – через модель публічного управління (англ. – public management), сучасна теорія менеджменту – через модель нового публічного управління (англ. – new public management). Термін «публічне управління» (англ. public management), який замінив термін «публічне адміністрування» (англ. public administration), вперше використовує англійський державний службовець Десмонд Кілінг у 1972 р. [2, с. 15]. «Публічне управління – це пошук у найкращий спосіб використання ресурсів задля досягнення пріоритетних цілей державної політики» [2, с. 15] (визначення Кілінга).

Поява нової форми управління у публічній сфері була спричинена потребою модернізувати організаційні структури і процедури, які вони використовують для того, щоб усі інституції публічної сфери працювали краще. Публічне управління стосується ефективного функціонування всієї системи політичних інституцій, зокрема і системи освіти.

Щодо терміна «публічне управління», то Програма розвитку ООН послуговується визначенням, запропонованим американським ученим Джеймсом М. Шавріцом у Міжнародній енциклопедії державної політики та адміністрування: «Публічне управління – це галузь практики та теорії, яка є ключовою для публічного адміністрування та зосереджена на внутрішній діяльності державних установ, зокрема на вирішенні таких управлінських питань, як контроль, керівництво, планування, організаційне забезпечення, забезпечення інформаційними технологіями, управління персоналом, та оцінка ефективності» [6].

Крістофер Поллітт, професор з публічного управління Лювєнського католицького університету, стверджує, що термін «публічне управління» може вживатися у щонайменше трьох основних значеннях: діяльність державних службовців і політиків (1), структури і процедури органів державної влади (2), системне вивчення чи то діяльності, чи то структури та процедур (3) [4, с. 12–13].

Важко не погодитися з вітчизняними науковцями, що конституювання інтегрованої системи публічного управління відбувається в нас у складних умовах адміністративно-політичного реформування, обумовленого низкою факторів в системі освіти. По-перше, це суттєва втрата кадрового потенціалу державної служби через об'єктивні (віковий ценз) та суб'єктивні (політична лояльність) чинники, при цьому виникає проблема наступності в управлінні практично на всіх рівнях. По-друге, зменшення компетентності та моральних якостей державних службовців. По-третє, збереження корупційних проявів на державній службі, втрата мотивації. По-четверте, формування управлінської системи, що має тенденції до автономізації в суспільстві, нав'язуванні суспільству стереотипів управління за допомогою адміністративного ресурсу, мінімізації суспільного контролю за діяльністю органів влади. По-п'яте, політична та адміністративна реформи, що відбуваються із середини 90-х рр. ХХ ст., не розв'язали проблему адаптації бюрократії до демократичних перетворень, що знайшло свій прояв у відсутності комплексу стратегічних національних пріоритетів, заявлених інститутами влади в Україні [2, с. 70].

Виходячи з рекомендацій більшості словників та визначень теоретиків у сфері управління можемо стверджувати, що українським відповідником англійського терміна public management буде «публічне управління». Галузь науки управління та адміністрування, запроваджена в Україні Постановою Кабінету Міністрів України

«Про затвердження Ліцензійних умов впровадження освітньої діяльності закладами освіти» № 1187 від 30 грудня 2015 р. Інтегрований підхід до управління, який використовується сучасною теорією менеджменту, розглядає «організацію як відкриту систему освіти педагогічних працівників, яка постійно взаємодіє із зовнішнім середовищем, до якого має пристосуватися» [5]. Сьогодні, розробляючи найкращу модель управління, необхідно враховувати всі елементи внутрішнього та зовнішнього освітнього середовища організації. Один із сучасних дослідників публічного управління Гірт Букерт наголошує на тому, що «публічне управління не є якимось нейтральним, технічним процесом, натомість є діяльністю, яка тісно пов'язана з політикою, освітою законом та громадянським суспільством» [1, с. 26].

Це надало можливість впровадити безперервну освітню систему, яка актуалізувала проблему узгодження по вертикалі і горизонталі технологій і навчального змісту при переході від однієї освітньої програми до іншої (від дошкільної до вищої), в зв'язку з чим, в програмі розвитку освіти в якості одного з основних напрямків в Україні виділено збереження єдиного педагогічного простору.

Це можна забезпечити виділенням схожих компонентів, ідей в порівнюваних теоріях і синтезом цих ідей на основі використання системоутворюючого освітнього вектора. Вирішення цього завдання без безперервного освітнього простору неможливе в рамках існуючої структури освіти і в особливій мірі – при підготовці педагогічних працівників в умовах публічного управління.

Треба відзначити, що проектування безперервної освіти при підготовці фахівців, зокрема і педагогічних працівників в умовах публічного управління, неможливо без введення профільного навчання на старшій ступені загальної освіти, спрямованої на індивідуалізацію та соціалізацію навчання з урахуванням реальних запитів ринку праці, відпрацювання гнучкої системи профілів, моделей організації інтеграції старшої школи з установами професійної освіти.

Особливо складним завданням безперервної освіти в умовах підвищеного бажання випускників вступити до ЗВО, є проблема проектування (місце, принципи, структура, зміст, педагогічні технології та ін.) профільного навчання в рамках безперервної освіти, побудови інтеграційних курсів навчання для гуманітарних, технологічних, соціально економічних, фізико-математичних та інших профілів. Відповіді слід шукати, перш за все, в теоретичних дослідженнях, присвячених проблемі профільного навчання, а також у формуючій практиці профілізації.

Результати досліджень цих напрямів дають можливість порівняно точно, виразно і достовірно виділити типову структуру, а також елементи системи безперервної освіти. Можна стверджувати про існування єдиного механізму принципового, функціонального зв'язку між її окремими компонентами і таким механізмом, який визначає особистісно-орієнтований процес навчання педагогічних працівників, що розвиває і формує здібності їх до самовизначення і самореалізації в публічному управлінні.

Це дозволяє спланувати загальну логічну нову модель побудови безперервної освіти за схемою «заклад дошкільної освіти – школа – коледж – ЗВО» з включенням етапу базової середньої та профільної освіти та позначити основні структурні компоненти цієї моделі: цільові пріоритетні вимоги до сучасної інноваційної системи освіти – формування особистості, яка самовизначається і самореалізується і, отже, саморозвивається в діяльності; понятійний апарат, єдиний для побудови моделі системи безперервної освіти як окремих випадків діяльнісної освітньої системи педагогічних працівників; виділення системи принципів побудови профільної освіти і проектування на їх основі змісту, побудови технологічного забезпечення, що відповідає вимогам безперервного індивідуалізованого навчання; визначення системи об'єктивних критеріїв і показників ефективності підготовки педагогічних працівників в умовах публічного управління в системі «школа – коледж – ЗВО».

Зіставлення зазначених параметрів безперервної підготовки фахівців з публічного управління, зокрема і педагогічних працівників, до вимог індивідуалізованого особистісно орієнтованого освітнього процесу, дозволило висунути таку гіпотезу: безперервна підготовка педагогічних працівників в умовах публічного управління буде ефективною (стійкий інтерес до професії, правильне самовизначення, професійна компетентність, адаптаційна стійкість), якщо будуть забезпечені адекватність цілей освіти особистісним особливостям суб'єктів освіти; єдність загальних цілей для кожного етапу і відмінність у приватних, локальних, в елементах інших систем освіти; відповідність показників ефективності, методів контролю цілям і вимогам освіти, відповідність засобів та методів навчання – змісту; єдність загальної діяльнісної структури для всіх можливих профілів, спеціальностей і відповідність такої структури технології освітнього процесу; відповідність технології навчання принципам діяльності: безперервності, індивідуальності навчання, варіативності, творчості; можливість самовизначення особистості в процесі безперервної освіти.

Дослідження було побудовано на основі фундаментальних положень теорії організації публічного управління в педагогічній діяльності (розвиток систем публічного управління, пізнання, розвиток особистості в процесі навчальної діяльності) та проводилось в декілька етапів.

На етапі аналітичної пошуково-емпіричної роботи (2020–2021 рр.) здійснювався аналіз вітчизняної та зарубіжної психолого-педагогічної літератури, публікацій з проблеми системи безперервної освіти, вивчення зарубіжного та вітчизняного досвіду роботи профільних загальноосвітніх, середніх і вищих професійних закладів освіти.

Результати аналізу послужили базою для визначення вихідних позицій дослідження, формування методології, понятійного апарату, гіпотези, завдань і методів підготовки педагогічних працівників.

Під час основного ретроспективно-теоретичного (формуючого) етапу (2021–2022 рр.) було відібрано методологічні позиції, положення, виявлені основні педагогічні умови, принципи структурування і показники ефективності безперервної освіти в системі підготовки педагогічних кадрів, здійснений відбір сучасних технологій. На цьому етапі здійснювалася також апробація підходів, програмних, навчально-методичних матеріалів в процесі дослідно-експериментальної роботи підготовки здобувачів різних рівнів вищої освіти.

На завершальному узагальнюючому етапі (2022–2023 рр.) було виконано систематизацію та інтерпретацію отриманих матеріалів, узагальнено теоретичні та оброблені практичні результати дослідження, оформлені ліцензійні справи підготовки здобувачів початкового та першого рівня вищої освіти за спеціальністю 281 Публічне управління та адміністрування.

На всіх етапах досліджень використовувалась така експериментальна база: навчальні заклади Вінницької міської ради ліцеї № 10, № 26, № 29; гуманітарний коледж м. Київ; Тиврівський та Стрижавський ліцеї Вінницької обласної ради; КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» та Кіровоградський ШОПП імені В. Сухомлинського.

Науковою новизною дослідження стало те, що було визначено параметри, умови функціонування, систему цілей безперервної освіти, що включають в себе формування інтересу до професій педагога в умовах публічного управління та адміністрування, реалізацію ефективного професійного самовизначення, формування професійної компетентності, адаптаційних умінь, підготовку до навчання в коледжі і ЗВО обраного профілю. Визначено відбір змісту при розробці моделей безперервного навчання на основі використання принципів: науковості, наступності, диференціації, системності та систематичності, фундаментальності та інформаційної ємності, соціальної ефективності. Здійснено відбір оптимальних сучасних технологій.

Розроблена модель безперервної освіти з підготовки фахівців з публічного управління, зокрема і педагогів, може бути використана для вирішення аналогічних завдань в інших галузях освіти. Зокрема, подібним чином можна підійти до вирішення актуального завдання побудови теорії і практики ряду галузей гуманітарної професійної освіти педагогічних працівників, в якій кількість теоретичних підходів ще більша, ніж у досліджених галузях.

Визначено сукупність факторів забезпечення наступності і уточнено уявлення про соціально-педагогічні умови реалізації наступності в системі безперервної освіти. Виділено змістовні модулі для профільного і професійного етапів безперервної освіти: зміст гуманітарного профілю, напряму підготовки педагогічних працівників в умовах навчання в магістратурі КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти». Структура цих модулів може служити основою для побудови безперервного освітнього процесу педагогічних працівників в інших аналогічних ЗВО.

Одержані результати дослідження мають суттєве практичне значення, оскільки дана характеристика соціально-педагогічних, організаційно-педагогічних, психолого-педагогічних і педагогічних проблем, які актуалізували реалізацію ідеї безперервної освіти. Також розроблено, апробовано та впроваджено в практику: профільний інтегрований навчальний план, програми для учнів класів з гуманітарного, екологічного та технологічного профілей з програмою молодшого бакалавра, бакалавра, магістра в умовах безперервної освіти. В якості особливих структурних одиниць – програми курсів за вибором для гуманітарного профілю: «Історія публічного управління», «Екологічні основи природокористування», «Цінності професійної кар'єри», «Світова економіка», «Вступ до професії», «Друга іноземна мова»; спецкурси, орієнтовані на різнобічну підготовку педагогічних фахівців: «Етика і психологія сімейного життя», «Риторика», «Культура мови», «Релігії світу», «Логіка» та ін.

Розроблено показники ефективності безперервної освіти, які можуть бути використані з метою вдосконалення практики роботи ЗЗСО – коледжів – ЗВО, що реалізують гуманітарні, технологічні, соціально-економічні, фізико-математичні та інші профілі та потребують особливої підготовки педагогічних працівників.

#### **Висновки**

Впровадження нової моделі підготовки педагогічних фахівців в умовах безперервного навчання «заклад дошкільної освіти – школа – коледж – ЗВО» надає можливість формувати інтерес до публічних професій і спрямовувати процес до самовизначення конкретніше, цілеспрямованіше, інтенсивніше. При цьому реалізуються: когнітивна, цільова, систематизуюча, координуюча, оцінна, спонукальна функції і дотримується система дидактичних умов. Повинна бути спроектована єдина наскрізна освітньо-професійна профільна програма підготовки педагогічних працівників, пов'язана наступністю і підпорядкована принципу професійної спрямованості для середньої та вищої освіти в умовах публічного управління.

Необхідною і достатньою умовою побудови системи безперервної освіти з підготовки педагогів в умовах публічного управління є інваріантність і наступність на рівні цілей, навчального змісту, технології, засобів навчання. Це реалізується на практиці через забезпечення системи наступними умовами: мета освіти відповідає індивідуальним особливостям особисті, особистісним цінностям кожного здобувача освіти змістом, методами, засобами контролю, інваріантністю структури публічної діяльності, яка визначається технологією навчання.

Технологія навчання має структуру: етап самовизначення в навчальній діяльності; етап актуалізації знань; етап постановки проблеми; етап «відкриття» нового знання; етап вербального закріплення нового знання; етап самостійної роботи з елементами самоперевірки; етап повторення з включенням нового знання в систему знань; етап рефлексії навчальної діяльності.

Для успішної реалізації такої структури необхідне застосування і виконання певної системи принципів: забезпечення умов для самовизначення педагогів; варіативність; неперервність; забезпечення цілісного уявлення про навчальні завдання; принципи креативності та творчості.

Зважаючи на вищезазначене, можемо констатувати, що зміст, який вкладається у термін “публічне управління”, є наближеним до змісту, що вкладається у зміст нової моделі безперервного навчання педагогів в умовах публічного управління. Публічне управління стає невід’ємною частиною управління освітньої системи, оскільки сприяє посиленню конкуренції, зниженню рівня безробіття і залученню соціальних і економічних нововведень для розвитку суспільства.

На перспективу залишаємо дослідження цілей публічного управління в системі освіти, які передбачають формування активної громадянської позиції особистості та конкурентоздатності її на ринку праці.

### Список використаної літератури

1. Bouckaert G. Modernizing the Rechtsstaat: Paradoxes of the Management Agenda [Text] / G. Bouckaert. Berlin: Duncker & Humblot, 2002. 155 p.
2. Keeling D. Management in Government / D. Keeling. London: Allen & Unwin. 1972.
3. Mary P. Follett. Creating Democracy, Transforming Management, Tonn, Joan C., New Haven: Yale University Press, 2003. 366 p.
4. Pollitt C. Public Management Reform: A Comparative Analysis / C. Pollitt, G. Bouckaert. Oxford : University Press, 2004. 240 p.
5. Likert R. Likert’s Management System. LearnManagement2.com. URL: <https://www.learnmanagement2.com/Likert.htm>
6. Глосарій Програми розвитку ООН. URL: <http://www.unpan.org/Directories/UNPublicAdministrationGlossary>

### References

1. Bouckaert, G. (2002) Modernizing the Rechtsstaat: Paradoxes of the Management Agenda. Berlin: Duncker & Humblot. [in English].
2. Keeling D. (1972). Management in Government. London: Allen & Unwin.
3. Mary, P. Follett (2003). Creating Democracy, Transforming Management, Tonn, Joan C., New Haven: Yale University Press, 366 p. [in English].
4. Pollitt C. and Bouckaert G. (2004), Public Management Reform: A Comparative Analysis, Oxford, University Press, London. [in English].
5. Likert R. (n. d.). Management System Theory. www.learnmanagement2.com. Retrieved from: <http://www.learnmanagement2.com/likert.htm> [in English].
6. Glosarij Programy` rozvy`tku OON (n. d.). [Glossary United Nations Development Program]. Retrieved from: <http://www.unpan.org/Directories/UNPublicAdministrationGlossary> [in Ukrainian].

**В. Д. ФІЛІПОВА**доктор наук з державного управління, професор  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-8476-3341**М. Е. ФРОЛОВА**старший викладач  
Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-6650-053X

## СИТУАЦІЙНЕ ЛІДЕРСТВО В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ

Стаття присвячена розгляду концепції ситуативного лідерства в контексті публічного управління. Автор досліджує різні підходи до визначення ситуативного лідерства та його застосування в управлінській діяльності в органах публічної влади. Особлива увага приділяється ролі лідера, а також методам адаптації лідерського стилю до конкретних ситуацій. Доведено, що процес впливу ситуативного лідерства на ефективність публічного управління може бути досить складним та багатограним. Виділено ключові шляхи, якими ситуативне лідерство може впливати на ефективність публічного управління: гнучкість та адаптивність; сприяння творчості та інноваціям; активне залучення співробітників; створення позитивного середовища. Визначено, що загалом, ситуативне лідерство може впливати на ефективність публічного управління шляхом сприяння гнучкості, інноваціям, залучення співробітників та створення позитивного робочого середовища, що в свою чергу сприяє досягненню стратегічних цілей та покращенню результативності публічного управління в цілому. Крім того, публічне управління має сьогодні адаптуватися до мінливих обставин, оскільки відбувся зсув від ієрархічного, механічного, авторитетного лідерства до адаптивного та відкритого лідерства. Саме тому, ситуативне лідерство в публічному управлінні має бути динамічним, адаптивним, відкритим до критичного та позитивного зворотного зв'язку для досягнення цілей публічного управління. З правильним підходом ситуативне лідерство може сприяти підвищенню ефективності та досягненню стратегічних цілей публічного управління. Зрозуміло, що ситуативне лідерство в публічному управлінні має свої переваги та недоліки, тому важливо зрозуміти, що немає універсального підходу, і важливим є концептуальний пошук оптимального балансу між гнучкістю та стабільністю для досягнення стратегічних цілей публічного управління.

**Ключові слова:** лідерство, публічне управління, трансформація, ефективність управління, органи влади, державна служба.

**V. D. FILIPPOVA**Doctor of Public Administration, Professor  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-8476-3341**M. E. FROLOVA**Senior Lecturer  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-6650-053X

## SITUATION LEADERSHIP IN PUBLIC ADMINISTRATION

The article is devoted to the consideration of the concept of situational leadership in the context of public administration. The author investigates different approaches to the definition of situational leadership and its application in managerial activity in public authorities. Particular attention is paid to the role of the leader, as well as methods of adaptation of leadership style to specific situations. It is proved that the process of influence of situational leadership on the effectiveness of public administration can be quite complex and multifaceted. The key ways in which situational leadership can influence the effectiveness of public administration have been identified: flexibility and adaptability; promotion of creativity and innovation; active involvement of employees; creation of a positive environment. It has been determined that in general situational leadership can influence the effectiveness of public administration by promoting flexibility, innovation, involvement of employees and creation of a positive working environment, which in turn contributes to the achievement of strategic goals and improving the performance of public administration. In addition, public management today must adapt to changing circumstances, as there has been a shift from hierarchical, mechanical, authoritative leadership to adaptive and open leadership. That is why situational leadership in public administration must be dynamic, adaptive, open to critical and positive feedback to achieve the goals of public administration. With the right approach, situational



*leadership can contribute to the effectiveness and achievement of the strategic goals of public administration. It is clear that situational leadership in public administration has its advantages and disadvantages, so it is important to realise that there is no one-size-fits-all approach and it is important to conceptually find the optimal balance between flexibility and stability to achieve the strategic goals of public administration.*

**Key words:** leadership, public administration, transformation, management efficiency, authorities, civil service.

### Постановка проблеми

Вплив лідерства на ефективність публічного управління є важливим аспектом, який варто враховувати при визначенні стратегій розвитку різних сфер публічного сектора. Різноманітні форми лідерства можуть мати різний вплив на ефективність публічного управління, тому важливо враховувати їхні особливості при ухваленні управлінських рішень. Ефективне лідерство, вибір правильного стилю лідерства допомагає пом'якшити кризу та ризики в публічному управлінні. Лідер має розуміти потреби і вносити корективи у свій управлінський підхід для вирішення питань, що стоять на порядку денному публічного управління. Сучасний лідер повинен вміти легко переключатися між різними стилями лідерства, щоб відповідати стратегічним, тактичним і оперативним планам публічного управління. Це обумовлює необхідність використання інноваційних методів управління і, відповідно, імплементації нових концепцій лідерства в практику публічного управління.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню та аналізу питання лідерства присвячено велику кількість наукових праць [1–16]. Крім того, вивченням ролі лідерства в системі державного управління займаються такі науковці, як В. Бакуменко, В. Смелянов, Б. Кухта, Л. Пашко, О. Рачинський, І. Сурай, С. Серьогін, В. Толкованов та ін. До питання лідерства на державній службі неодноразово привертала увагу науковці О. Пархоменко-Куцевіл, О. Піддубчак, В. Побережна, Н. Попадюк, П. Сидоренко, Р. Сторожев, С. Чернова, С. Гайдученко та інші. Однак, незважаючи на значну увагу науковців до цих питань, процеси трансформації публічного управління вимагають подальших досліджень, пов'язаних із розвитком лідерства в органах публічної влади та потребують подальших доопрацювань і розвитку теоретико-методичних підходів.

### Формування мети дослідження

Виходячи зі сказаного вище, метою нашого дослідження виступає обґрунтування на основі діяльнісного підходу впливу ситуаційного лідерства на ефективність публічного управління на сучасному етапі.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Сучасні дослідження доводять, що для ефективної модернізації публічного управління необхідними є акценти на: професіоналізмі, прозорості, адміністративній культурі, правовому захисті публічних службовців та розвитку їх лідерського потенціалу для вирішення проблемних питань сьогодення і забезпечення розвитку країни. Власне один із ключових аспектів такої модернізації стосується розвитку лідерства та лідерів в публічному управлінні [1]. Отже, важливими активами публічного управління виступають людські ресурси, які повинні бути компетентними і ефективними відповідно до сфери своєї діяльності і повноважень. У процесі реалізації завдань, що висуваються системою публічного управління, досягнення цільових орієнтирів передбачає наявність не лише виконавців із необхідними компетенціями, а й ефективних лідерів-управлінців. Багато актуальних досліджень продемонстрували, що лідерство може підвищити як індивідуальні, так і організаційні показники діяльності органів публічної влади [2; 3]. На ефективність публічного управління також впливає стиль керівництва в органах влади, при цьому лідери з відповідним стилем керівництва мають вагомий вплив на підлеглих, яких вони очолюють, щоб можна було реалізувати основні цілі публічного управління. При цьому, теорія лідерства вважає, що вплив ефективного лідерства в організаціях (в тому числі і в публічному управлінні) може підвищити рівень відданості працівників і продуктивності їх праці та призвести до високої мотивації [4].

На початку нашого дослідження варто відмітити, що лідерство можна визначити як процес, в якому люди впливають на певну групу населення або відносини між людьми для досягнення спільних цілей [5]. Виходячи з цього, лідери – це люди, які можуть впливати на інших людей і мають управлінські здібності, в той час як група, на яку впливає лідер для досягнення певних цілей, є формою лідерства та досягнення цілей [6]. Ефективність лідерства підтверджується дослідженнями багатьох авторів, які експериментально довели, що формальне керівництво дає змогу використовувати потенціал співробітників приблизно на 60% або 65%, тоді як, «здійснюючи лідерство», керівник може досягти повного використання здібностей підлеглих [1].

Згідно з класифікацією визначень лідерства, в окремих випадках воно трактується як мистецтво дійти згоди, коли під час управління досягається максимальне співробітництво за мінімальних розбіжностей та вміння переконувати, коли управління здійснюється за допомогою сили переконання та спонукання, мистецтва знання людської природи. Також існує думка, що лідерство – це відносини між людьми в процесі спільної діяльності, в якій одна сторона забезпечує перевагу своєї волі над іншою. Серед інших визначень лідерство – це мистецтво впливу на людей, прагнення надихнути їх на те, щоб вони за власним бажанням намагалися досягнути цілей [7, с. 175].

Складовими лідерського потенціалу керівника в органах влади визначено: установки, цінності, потреби, пріоритети (чіткі особисті цілі, прагнення до самовдосконалення, морально-етичні якості); особистісні та ділові якості (проактивність, умовитованість, самоорганізованість, комунікативність, емоційна стійкість, відповідальність тощо); здібності (творчі здібності, інноваційність, здатність до самоаналізу, адаптивність тощо); професійна та лідерська компетентності (знання, уміння, навички та поведінкові якості, які забезпечують здатність ефективно виконувати професійну діяльність і функції лідера у сфері державного управління) [8; с. 5–6].

Сьогодні вчені зазначають, що для визначення лідерства в публічному управлінні доречно до використання мотиваційна теорія лідерства. Представники теорії стверджують, що ефективність лідера корелює із ступенем впливу на мотивацію співробітників; рівень продуктивності виконання ними завдань. Важливим показником є рівень задоволеності послідовників лідера процесом і результатами сумісної діяльності. Побічники цієї теорії визначають типи лідерської поведінки: директивне лідерство (більш притаманне сучасним органам влади); підтримуюче лідерство (лідерство необхідне для розвитку сервісної функції державної служби); лідерство, орієнтоване на досягнення ефективного результату (впроваджується в теперішню діяльність державної служби на основі декомпозиції завдань від керівника до підлеглого та визначення показників її ефективності, результативності). Ця теорія також стверджує, що феномен лідерства неможливий без врахування відповідних установок й поведінки послідовників, на підставі визначення рівня їх задоволеності діяльністю, ступеню схвалення дій лідера, мотивації поведінки [9, с. 168–169].

Інший підхід може бути описаний у моделі, яка називається ситуаційною моделлю лідерства. Е. Уоллс у своїх наукових дослідженнях довів, що ситуаційний стиль лідерства – це суміш кількох стилів лідерства, в якій керівники приймають будь-яке керівництво відповідно до ситуації, яка вимагається в організації. Наприклад, у такій складній ситуації, як ризик, ситуаційне лідерство дозволяє керівнику зайняти гнучку позицію та залучити всіх співробітників до прийняття оптимальних рішень для забезпечення становища організації [10]. Це створює конструктивне робоче середовище, співпрацю у команді та пошук рішень для зменшення ризиків. З іншого боку, Р. Коте вважає, що ситуаційний лідер дотримується гнучкого підходу та отримує цінні відомості як від працівників, так і від інших суб'єктів. Це дозволяє лідеру розвивати довіру серед членів команди та пропонувати ефективні рішення для зниження ризиків та управління кризою. Учений визначив, що існує різниця між ситуативним та трансформаційним лідерством, оскільки ситуативний лідер використовує різні підходи, такі як наказ та керівництво, продаж та коучинг, підтримка та участь, делегування повноважень, у той час як трансформаційний лідер використовує комунікативне, пророче та командне ставлення до виконання управлінської діяльності. У разі ситуаційного лідерства ситуаційні лідери ставлять досяжні цілі, ґрунтуючись на здібностях співробітників, щоб вони могли їх досягти та подати нові приклади досягнень для інших. Виходячи з вищевикладених фактів, можна сказати, що ситуативне лідерство має відмінні риси від кожного стилю лідерства, оскільки воно, мабуть, переймає риси будь-якого стилю лідерства, залежно від критичної ситуації в сфері публічного управління [11].

У своїх дослідженнях вчені дійшли висновку, що для лідера завжди важливо розуміти, на якому етапі професійного розвитку перебуває кожний підлеглий та вся команда, і діяти відповідно до потреб та поставлених завдань, саме це вони описали в теорії ситуаційного лідерства. Учені не пропонують ідеального стилю керівництва, а рекомендують обирати інший управлінський підхід у кожній конкретній ситуації. Найефективніші лідери, використовуючи ситуативні моделі, адаптують свої методи управління відповідно до рівня професійної зрілості своїх працівників та цілей, які постають перед компанією, підрозділом, командою [12].

Ряд учених вважає, що ситуаційна теорія лідерства передбачає, що соціальна ситуація та характеристики підлеглих впливають на характеристики лідера, необхідні для досягнення успіху [13]. Таким чином, ситуаційне лідерство виникає як реакція на лідерство, засноване на рисах характеру, лідери повинні вміти оцінювати контекст, де вони працюють і вирішити, який стиль найкраще відповідатиме конкретній ситуації [14], відповідно звідси й акцент на ситуативність.

Теорія ситуаційного лідерства актуальна для використання в публічному управлінні та управлінні державним сектором, оскільки наголошує на належному аналізі ситуації та адаптації до переважних обставин або вжиття заходів, що відповідають існуючим умовам. Наприклад, якщо виявиться, що у службовців не вистачає необхідних навичок, ситуаційний лідер введе в дію перехідний захід, такі як передача навичок на аутсорсинг; та вживе заходів щодо розвитку потенціалу молодих співробітників, щоб забезпечити необхідні навички всередині установи [15].

Отже, серед особливостей ситуаційного лідерства в публічному управлінні варто виділити: управління, орієнтоване на співробітників; вибір керівником стилю управління відповідно до рівня компетентностей та вмотивованості підлеглого щодо конкретного завдання; адаптацію стилю лідерства відповідно до рівня професійного розвитку та зміни мотивації людей. У цілому, залежно від компетентності та вмотивованості працівника щодо конкретного завдання виокремлюють чотири стилі управління: директивний, коучинговий, підтримувальний, делегувальний.

Так, директивний стиль управління застосовують у ситуації, коли співробітник дуже вмотивований, але має низький рівень компетентностей, необхідних, щоб виконати конкретне завдання. Тут доцільне чітке

інструктування, коли керівник надає детальні вказівки, ставить конкретні цілі та визначає терміни виконання. Важливо не тільки пояснити, як має виглядати кінцевий результат, а й обговорити кроки, які приведуть до отримання цього результату. Керівник у цій ситуації контролює не тільки кінцевий результат, а й результати виконання кожного або деяких етапів на шляху до досягнення цілі. Цей стиль може бути ефективним при управлінні недо-свідченими державними службовцями або посадовими особами місцевого самоврядування. На цьому рівні професійного розвитку підлегли не мають необхідних навичок та знань, але бажання освоїтися на новому місці дає достатній рівень мотивації [16].

Коучинговий стиль управління застосовують у ситуації, коли співробітник демонструє низький рівень мотивації та недостатній рівень компетентностей, необхідних, щоб виконати конкретне завдання. Підлеглим треба пояснювати не тільки, як і що робити, а й навіть виконувати те чи інше завдання. Цей стиль оживить співробітників, які «ще не вміють, але вже не хочуть працювати». При цьому причиною «вже не хочуть» може бути брак впевненості у своїх силах, страх помилитись, нездатність просити про допомогу, незрозуміння сенсу поставленого завдання тощо [16].

Підтримувальний стиль управління застосовують у ситуації, коли співробітник демонструє низьку мотивацію і має високий рівень компетентностей, щоб виконати конкретне завдання. У такій ситуації лідерів варто зосереджуватись на стосунках, заохочувати працівника до обговорень, генерування ідей і пропозицій. Застосовуючи такий стиль, керівник не дає настанов і порад щодо того, як виконувати завдання [16].

Делегувальний стиль управління застосовують у ситуації, коли співробітник демонструє високий рівень мотивації і має високий рівень компетентностей, щоб виконати конкретне завдання. На цьому етапі керівник делегує завдання і відповідальність за результат компетентному і вмотивованому співробітнику. Це означає, що від співробітника очікують, що він ухвалюватиме самостійні рішення, щоб вчасно отримати бажаний результат [16].

Одним з головних плюсів ситуаційного лідерства в публічному управлінні є його гнучкість. Керівники можуть використовувати різні підходи в залежності від поточної ситуації, що дозволяє швидко реагувати на зміни і виходити із складних ситуацій. Крім того, ситуаційне лідерство сприяє розвитку творчих підходів до проблем та стимулює співпрацю між учасниками команди. Однак, існують й певні мінуси ситуаційного лідерства в публічному управлінні. Наприклад, відсутність чіткої стратегії може призвести до нестабільності та невизначеності в роботі організації. Крім того, недостатня увага до розвитку довгострокових планів може призвести до втрати фокусу та недосягнення стратегічних цілей. Також, важливо пам'ятати, що в деяких ситуаціях ситуаційне керівництво може призвести до певної невизначеності та нестабільності, оскільки стратегії та підходи можуть змінюватися в залежності від обставин. Тому важливо знайти баланс між гнучкістю та стабільністю, щоб забезпечити успішну роботу організації.

Для ефективного впровадження ситуаційного лідерства в публічному управлінні необхідно враховувати ряд важливих факторів. По-перше, керівництво повинно мати чітке розуміння поточних потреб та викликів, з якими стикається організація. Для цього необхідно проводити систематичний аналіз ситуації, вивчати відгуки від співробітників та громадськості. По-друге, важливо розвивати здатність керівництва до адаптації та реагування на зміни. Це означає, що керівники повинні бути відкритими до нових ідей та готовими до швидкого впровадження нових стратегій, які відповідають поточним умовам. Нарешті, важливо враховувати інтереси та потреби всіх зацікавлених сторін, включаючи співробітників, клієнтів та громадськість. Це допоможе забезпечити широку підтримку для впровадження змін та збереження стабільності в організації.

Процес впливу ситуаційного лідерства на ефективність публічного управління може бути досить складним та багатограним. Ми виділяємо кілька ключових шляхів, якими ситуаційне лідерство може впливати на ефективність публічного управління:

1. *Гнучкість та адаптивність*: Ситуаційне керівництво стимулює гнучкість та здатність органів публічної влади адаптуватися до змін в зовнішньому середовищі. Лідери, які використовують ситуаційний підхід, можуть швидко реагувати на нові виклики, змінюючи стратегії та процеси відповідно до поточних умов.

2. *Сприяння творчості та інноваціям*: Ситуаційне керівництво сприяє розвитку творчості та стимулює співробітників пропонувати нові ідеї та ініціативи. Це може призвести до впровадження інноваційних підходів у публічне управління, що сприяє покращенню його ефективності та результативності.

3. *Залучення співробітників*: Ситуаційне керівництво покликане залучати співробітників до процесу ухвалення рішень та вирішення проблем. Це може підвищити рівень мотивації та відчуття відповідальності серед персоналу, що сприяє покращенню загальної ефективності публічного управління.

4. *Створення позитивного середовища*: Ситуаційне керівництво може сприяти створенню позитивної та розвиваючої атмосфери, що сприяє підвищенню продуктивності та задоволеності суспільства результатами публічного управління.

Загалом, ситуаційне лідерство може впливати на ефективність публічного управління шляхом сприяння гнучкості, інноваціям, залучення співробітників та створення позитивного робочого середовища, що в свою чергу сприяє досягненню стратегічних цілей та покращенню результативності публічного управління в цілому.

### Висновки

Отже, лідерство – важливий аспект, який необхідно враховувати, щоб сфери публічного управління функціонували належним чином і приносили користь суспільству з врахуванням продуктивності та ефективності розв’язання публічних запитів. Це включає прийняття ситуаційного стилю керівництва, щоб запровадити правильну стратегію управління кризою. Використання концепції ситуаційного лідерства також допоможе знизити ризики, з якими стикаються в процесі своєї діяльності органи публічної влади на державному, регіональному і місцевому рівнях. Крім того, публічне управління має сьогодні адаптуватися до мінливих обставин, оскільки відбувся зсув від ієрархічного, механічного, авторитетного лідерства до адаптивного та відкритого лідерства. Саме тому, ситуативне лідерство в публічному управлінні має бути динамічним, адаптивним, відкритим до критичного та позитивного зворотного зв’язку для досягнення цілей публічного управління. З правильним підходом ситуаційне лідерство може сприяти підвищенню ефективності та досягненню стратегічних цілей публічного управління. Зрозуміло, що ситуаційне лідерство в публічному управлінні має свої переваги та недоліки, тому важливо зрозуміти, що немає універсального підходу, і важливим є концептуальний пошук оптимального балансу між гнучкістю та стабільністю для досягнення стратегічних цілей публічного управління.

### Список використаної літератури

1. Ліпенцев А., Романюк О. Теоретичні та концептуальні підходи до досліджень аспектів лідерства в органах публічної влади. *Ефективність державного управління*, 2021. №. 67. С. 9–29.
2. Jacobsen C.B., Andersen L.B. Is Leadership in the Eye of the Beholder? A Study of Intended and Perceived Leadership Practices and Organizational Performance. *Public Administration Review*. 2015. № 75 (6). P. 29–41.
3. Підлісна Т. В. Сучасні підходи до розвитку лідерства в органах публічної влади. *Право та державне управління*, 2021. №. 2. С. 158–164.
4. Ufua, D. E., Salau, O. P., Ikpefan, O., Dirisu, J. I., & Okoh, E. E. (2020). Addressing operational complexities through re-inventing leadership style: A systemic leadership intervention. *Heliyon*, 2020. Т. 6. №. 7. URL: [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(20\)31114-2.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(20)31114-2.pdf)
5. Northouse, Peter G. Leadership : theory and practice. Jakarta: PT. Indeks, 2013 – 6th ed. URL: [https://www.academia.edu/30456341/Book\\_Leadership\\_Theory\\_and\\_Practice](https://www.academia.edu/30456341/Book_Leadership_Theory_and_Practice)
6. Robbins, Stephen P. dan Coulter, Mary, 2015. Management The Thirteenth Edition Chapter 2. Jakarta: Erlangga Publisher. URL: <https://www.pearsonhighered.com/assets/preface/0/1/3/6/0136715303.pdf>
7. Колесник, Л. Л. Сучасні підходи до розвитку лідерства на державній службі. *Економіка, управління та адміністрування*, 2019. №(3(89)). С. 174–177. [https://doi.org/10.26642/ema-2019-3\(89\)-174-177](https://doi.org/10.26642/ema-2019-3(89)-174-177)
8. Орлів М. С. Розвиток лідерського потенціалу керівника сфери державного управління : навчальний посібник. К. : ДП «НВЦ «Пріоритети», 2017. 40 с.
9. Литвиновський Є., Литвиновська І. Феномен лідерства на державній службі. *Науковий вісник: Державне управління*, 2021. № (1(7)). С. 162–179. [https://doi.org/10.32689/2618-0065-2021-1\(7\)-162-179](https://doi.org/10.32689/2618-0065-2021-1(7)-162-179)
10. Walls, E. (2019). The value of situational leadership. *Community practitioner: the journal of the Community Practitioners' & Health Visitors' Association*, 92(2), 31–33.
11. Cote, R. (2017). A comparison of leadership theories in an organizational environment. *International Journal of Business Administration*, 8(5), 28–35.
12. Manyuchi M., Sukdeo N. An investigation on the role of situational leadership in modern organizations. *Applied Management Advances in the 21st Century 2021 and Sustainability International Conferences Internet Technologies & Society*, 2021. С. 139–147. URL: [https://web.archive.org/web/20221221075618id\\_/https://www.iadisportal.org/components/com\\_booklibrary/ebooks/202111L019.pdf](https://web.archive.org/web/20221221075618id_/https://www.iadisportal.org/components/com_booklibrary/ebooks/202111L019.pdf)
13. Klingborg, D.J., Moore, D.A. and Varea-Hammond, S. (2006). What is Leadership? *Journal of Veterinary Medical Education*, 33(2), 280–283, [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
14. Ghazzawi, K., El Shougari, R. and El Osta, B. (2017). Situational Leadership and its Effectiveness in Rising Employee Productivity: A Study on North Lebanon Organisation. *Human Resource Management Research*, 7(3), 102–110, [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net). Accessed on October 19, 2022.
15. Thwala, Phakamile, Traits, Attitudes and Behaviour of Leaders: Does it matter in Public Administration? (October 25, 2022). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4257194>
16. Теорія ситуаційного лідерства: правила та помилки. URL: <http://surl.li/oobpf>

### References

1. Lipentsev A., Romanyuk O. (2021) Teoretychni ta kontseptual'ni pidkhody do doslidzhen' aspektiv liderstva v orhanakh publichnoyi vlady [Theoretical and conceptual approaches to the research of aspects of leadership in public authorities]. *Efektivnist' derzhavnoho upravlinnya*, №. 67. S. 9–29. [in Ukrainian]

2. Jacobsen C.B., Andersen L.B. (2015) Is Leadership in the Eye of the Beholder? A Study of Intended and Perceived Leadership Practices and Organizational Performance. *Public Administration Review*. № 75 (6). R. 29–41.
3. Pidlisna T. V. (2021) Suchasni pidkhody do rozvytku liderstva v orhanakh publichnoyi vlady [Modern approaches to leadership development in public authorities]. *Pravo ta derzhavne upravlinnya*, №. 2. S. 158–164. [in Ukrainian]
4. Ufua, D. E., Salau, O. P., Ikpefan, O., Dirisu, J. I., & Okoh, E. E. (2020). Addressing operational complexities through re-inventing leadership style: A systemic leadership intervention. *Heliyon*, T. 6. №. 7. URL: [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(20\)31114-2.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(20)31114-2.pdf)
5. Northouse, Peter G. (2013) *Leadership : theory and practice*. Jakarta: PT. Indeks, 6th ed. URL: [https://www.academia.edu/30456341/Book\\_Leadership\\_Theory\\_and\\_Practice](https://www.academia.edu/30456341/Book_Leadership_Theory_and_Practice)
6. Robbins, Stephen P. dan Coulter, Mary, 2015. *Management The Thirteenth Edition Chapter 2*. Jakarta: Erlangga Publisher. URL: <https://www.pearsonhighered.com/assets/preface/0/1/3/6/0136715303.pdf>
7. Kolesnyk, L. L. (2019) Suchasni pidkhody do rozvytku liderstva na derzhavniy sluzhbi [Modern approaches to the development of leadership in public service]. *Ekonomika, upravlinnya ta administruvannya*, № 3 (89). S. 174–177. [https://doi.org/10.26642/ema-2019-3\(89\)-174-177](https://doi.org/10.26642/ema-2019-3(89)-174-177) [in Ukrainian]
8. Orliv M. S. (2017) Rozvytok liderstva potentsialu kerivnyka sfery derzhavnoho upravlinnya : navchal'nyy posibnyk [Development of the leadership potential of the head of the sphere of public administration: a study guide]. K. : DP «NVTS «Priorytety», 40 s. [in Ukrainian]
9. Lytvynovs'kyi YE., Lytvynovs'ka I. (2021) Fenomen liderstva na derzhavniy sluzhbi [The phenomenon of leadership in public service]. *Naukovy visnyk: Derzhavne upravlinnya*, № 1(7). S. 162–179. [https://doi.org/10.32689/2618-0065-2021-1\(7\)-162-179](https://doi.org/10.32689/2618-0065-2021-1(7)-162-179) [in Ukrainian]
10. Walls, E. (2019). The value of situational leadership. *Community practitioner: the journal of the Community Practitioners' & Health Visitors' Association*, 92(2), 31–33.
11. Cote, R. (2017). A comparison of leadership theories in an organizational environment. *International Journal of Business Administration*, 8(5), 28–35.
12. Manyuchi M., Sukdeo N. (2021) An investigation on the role of situational leadership in modern organizations. *Applied Management Advances in the 21st Century 2021 and Sustainability International Conferences Internet Technologies & Society*, S.139–147. URL: [https://web.archive.org/web/20221221075618id\\_/https://www.iadisportal.org/components/com\\_booklibrary/ebooks/202111L019.pdf](https://web.archive.org/web/20221221075618id_/https://www.iadisportal.org/components/com_booklibrary/ebooks/202111L019.pdf)
13. Klingborg, D.J., Moore, D.A. and Varea-Hammond, S. (2006). What is Leadership? *Journal of Veterinary Medical Education*, 33(2), 280–283, [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
14. Ghazzawi, K., El Shougari, R. and El Osta, B. (2017). Situational Leadership and its Effectiveness in Rising Employee Productivity: A Study on North Lebanon Organisation. *Human Resource Management Research*, 7(3), 102–110, [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net). Accessed on October 19, 2022.
15. Thwala, Phakamile, Traits, Attitudes and Behaviour of Leaders: Does it matter in Public Administration? (October 25, 2022). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4257194>
16. Teoriya sytuatsiynoho liderstva: pravyla ta pomylyky [Theory of situational leadership: rules and mistakes]. URL: <http://surl.li/oobpf> [in Ukrainian]

## СФЕРА ОБСЛУГОВУВАННЯ

УДК 338.467.6

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.50>

О. Л. ЗАГОРЯНСЬКА

кандидат економічних наук, доцент,

доцент кафедри бізнес адміністрування, маркетингу і туризму

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ORCID: 0000-0002-8057-4498

**ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ СПОЖИВАЧІВ  
НА РИНКУ ТУРИСТИЧНИХ ПОСЛУГ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД**

*В статті розглянуто вплив негативних факторів зовнішнього середовища на розвиток туристичної галузі України, що призвели до значного скорочення туристичних потоків. Зменшення потоку туристів впливає на готельний бізнес, ресторани, транспортні компанії та інші галузі туристичної індустрії і тим самим скорочує доходи від туристичного сектора, що призведе до звуження можливостей для розвитку та модернізації туристичної інфраструктури. Зазначено, що за період 2021–2023 років різко скоротилися податкові надходження від підприємств туристичної галузі. Багато підприємств, взагалі, припинили свою діяльність. В структурі сплачених податків за видами економічної діяльності найбільший розмір податкових надходжень зафіксовано від готелів та інших засобів тимчасового розміщення туристів, що пов'язано із значними темпами міграції населення України під час воєнних дій. Вищезазначені тенденції свідчать про суттєві зміни у фінансовій активності у галузі туризму та можуть бути спричинені різноманітними негативними економічними, соціальними та політичними чинниками, що впливають на відповідний сегмент ринку.*

*З метою розкриття особливостей поведінки споживачів у процесі прийняття рішення щодо придбання туристичного продукту, проведено емпіричне дослідження клієнтів провідних туроператорів України. Негативна дія факторів зовнішнього середовища вимагає від споживача туристичних послуг більше турбуватися про свою безпеку, що обмежує можливості туристів та призводить до зменшення кількості позитивних емоцій від обраного туристичного продукту. В роботі адаптовано п'ятирівневу модель поведінки споживача до особливостей ринку туристичних послуг та зазначено, що поведінка споживача на кожному етапі буде формувати напрями маркетингової стратегії туристичних підприємств. Наведена адаптована п'ятирівнева модель наочно демонструє для підприємств туристичної галузі перспективні напрями повоєнного відновлення сфери туризму в Україні.*

**Ключові слова:** туристичні підприємства, поведінка споживача на ринку туристичних послуг, податкові надходження, п'ятирівнева модель, післявоєнний період.

O. L. ZAHORIANSKA,

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Business Administration,

Marketing and Tourism

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University

ORCID: 0000-0002-8057-4498

**FEATURES OF CONSUMER BEHAVIOR IN THE MARKET OF TOURIST SERVICES  
IN THE POST-WAR PERIOD**

*In the paper the impact of negative factors of the external environment on the development of the tourism industry in Ukraine, which led to a significant reduction in tourist flows, was examined.*

*The decrease in the flow of tourists affects the hotel business, restaurants, transport companies and other branches of the tourism industry and thereby reduces the income from the tourism sector, which will lead to a narrowing of opportunities for the development and modernization of tourism infrastructure.*

*It is noted that for the period of 2021–2023, tax revenues from tourism industry enterprises have sharply decreased. Many enterprises, in general, stopped their activities. In the structure of the paid taxes by types of economic activity, the largest amount of tax revenues was recorded from the hotels and other means of temporary accommodation for tourists, that is connected with the significant rates of migration of the Ukraine population in the time of the military operations. The above-mentioned trends indicate significant changes in fiscal activity in the field of tourism and may be caused by various negative economic, social and political factors, that affect on the relevant market segment.*

*In order to reveal the peculiarities of consumer behavior in the process of making a decision to purchase a tourist product, an empirical study of clients of leading tour operators of Ukraine was conducted. The negative effect of*

*environmental factors requires the consumer of tourist services to be more concerned about his safety, which limits the opportunities of tourists and leads to a decrease in the number of positive emotions from the selected tourist product.*

*In the paper adapted a five-level model of consumer behavior to the peculiarities of the tourist services market and indicated that the consumer's behavior at each stage will shape the direction of the marketing strategy of tourist enterprises.*

*The presented adapted five-level model clearly demonstrates the promising directions of the post-war recovery of the tourism sector in Ukraine for tourism industry enterprises.*

**Key words:** *tourist enterprises, consumer's behavior in the market of tourist services, tax revenues, five-level model, post-war period.*

### Постановка проблеми

Вплив війни на розвиток туристичної діяльності в Україні є суттєвим і комплексним. Основні аспекти цього впливу полягають у зменшенні кількості туристів через негативний стан та проблеми безпеки, що призводять до відмови від подорожей в Україну іноземців, а також значне скорочення вітчизняних туристів. Зменшення потоку туристів впливає на готельний бізнес, ресторани, транспортні компанії та інші галузі туристичної індустрії і тим самим скорочує доходи від туристичного сектора, що призведе до звуження можливостей для розвитку та модернізації туристичної інфраструктури. Регіони, які стали основними театрами військових дій, можуть зазнавати найбільших втрат в туристичній сфері через зруйновану інфраструктуру та загрозу безпеки.

Враховуючи ці аспекти, важливо приділяти велику увагу відновленню та розвитку туристичної індустрії після припинення конфлікту через залучення до країни як внутрішніх так і зовнішніх туристів. Тому можливі зміни особливостей поведінки споживачів на ринку туристичних послуг у післявоєнний період є актуальною проблемою сьогодні, оскільки післявоєнний розвиток туризму в Україні буде повністю орієнтований на вимоги цих споживачів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зростаюча конкуренція та обмежений попит визначають необхідність ефективного маркетингу та просування туристичних послуг з урахуванням особливостей різних сегментів ринку. Для досягнення успіху в реалізації туристичного продукту важливо знати клієнтів туристичних підприємств, враховуючи їхні індивідуальні побажання. Вивченню поведінки споживачів присвячені роботи як вітчизняних так і закордонних дослідників, таких як Л. Василькевич [1], Г. Сорокіна [2], Р. Блекуелл, П. Мینیард, Д. Енджел [3] та інші.

Споживацькі потреби формуються під впливом різноманітних факторів середовища, які визначають його підходи під час прийняття рішень про покупку. Складність процесу утворення та задоволення потреб у споживачів заохочує туристичні підприємства вивчати ці фактори для прогнозування попиту та моделювання поведінки споживачів.

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Попередні наукові дослідження підтверджують, що кількісні критерії поведінкової реакції споживачів визначають їх ставлення до туристичних підприємств та їхніх послуг. Однак, у зв'язку з емоційним характером процесу прийняття рішення у туризмі, важливо досліджувати та розуміти стереотипи споживчої поведінки, споживацькі потреби та сприйняття переваг туристичних послуг у складних умовах воєнного стану та після закінчення бойових дій на території України.

### Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження особливостей поведінки споживачів туристичних послуг в умовах збільшення кількості як внутрішніх так і зовнішніх туристичних потоків після закінчення бойових дій на території України.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Туристичні підприємства України в таких складних умовах продовжують працювати та сплачувати податки до бюджету. Кількість туристичних підприємств, що сплачували податки за різними видами економічної діяльності у 2021–2022 роки та за 9 місяців 2023 року наведено на рис. 1 [4].

Упродовж 9 місяців 2023 року відзначено зменшення кількості платників податків у секторі туризму на 36% в порівнянні з відповідним періодом 2021 року. Структурно, спостерігається зниження кількості юридичних осіб, яке становить 45%, та регресія підприємницької активності у туристичній галузі на 32% серед фізичних осіб. Вищезазначені тенденції свідчать про суттєві зміни у фінансовій активності у галузі туризму та можуть бути спричинені різноманітними негативними економічними, соціальними та політичними чинниками, такими як воєнні дії, що впливають на відповідний сегмент ринку.

Якщо розглянути структуру сплачених податків за видами економічної діяльності у 2021 році [4], можна зазначити, що найбільший розмір податкових надходжень зафіксовано:

- від готелів та інших засобів тимчасового розміщення туристів 665,42 млн грн. (60–70% від загального обсягу сплачених податків);
- від туристичних операторів 167,8 млн. грн. (9–12%);
- від туристичних агенцій 204,8 млн. грн. (10–15%).

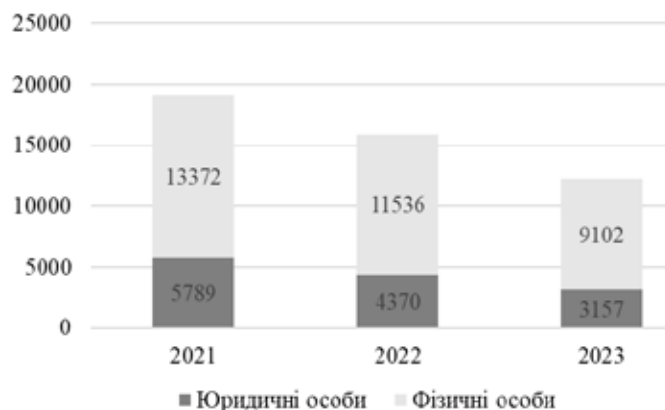


Рис. 1. Кількість туристичних підприємств, що сплачували податки за різними видами економічної діяльності

У 2022–2023 роках ця структура дещо змінилася у бік зростання надходжень саме від готелів та закладів тимчасового розміщення туристів, що пов'язано із значними темпами міграції населення України під час воєнних дій. Також зменшилися надходження від туристичних агенцій, оскільки велика їх кількість припинила свою діяльність. Туристичні оператори також зменшили розмір податкових надходжень, але їх кількість суттєво не змінилась, оскільки вони є більш значними гравцями на ринку туристичних послуг.

Проаналізуємо динаміку податкових надходжень до бюджету від туристичної галузі за 9 місяців 2021–2023 років (табл. 1) [4].

Таблиця 1

Аналіз динаміки податкових надходжень від туристичної галузі за 9 місяців 2021–2023 років

№	Область	2021, млн. грн.	2022 до 2021, млн. грн.	2022 до 2021, %	2022, млн. грн.	2023 до 2022, млн. грн.	2023 до 2022, %	2023, млн. грн.	202 до 2021, млн. грн.	2023 до 2021, %
1	Вінницька	19,1	-0,8	-4,2	18,3	1,6	8,7	19,9	0,8	4,2
2	Волинська	9,4	-0,4	-4,3	9,0	2,1	23,3	11,1	1,7	18,1
3	Дніпропетровська	70,7	-17,8	-25,2	52,9	16,7	31,6	69,6	-1,1	-1,6
4	Донецька	42,4	-26,1	-61,6	16,3	-10,7	-65,6	5,6	-36,8	-86,8
5	Житомирська	9,9	-3,5	-35,4	6,4	3,4	53,1	9,8	-0,1	-1,0
6	Закарпатська	42,2	9,5	22,5	51,7	11,1	21,5	62,8	20,6	48,8
7	Запорізька	76,0	-53,2	-70,0	22,8	-12,2	-53,5	10,6	-65,4	-86,1
8	Івано-Франківська	103,9	32,7	31,5	136,6	-37,5	-27,5	99,1	-4,8	-4,6
9	Київська	88,9	31,1	35,0	120,0	52,8	44,0	172,8	83,9	94,4
10	Кіровоградська	11,1	-3,1	-27,9	8,0	2,9	36,3	10,9	-0,2	-1,8
11	Луганська	6,7	-4,9	-73,1	1,8	-1,5	-83,3	0,3	-6,4	-95,5
12	Львівська	151,0	46,4	30,7	197,4	51,0	25,8	248,4	97,4	64,5
13	Миколаївська	33,4	-21,8	-65,3	11,6	1,7	14,7	13,3	-20,1	-60,2
14	Одеська	315,4	-249,4	-79,1	66,0	10,1	15,3	76,1	-239,3	-75,9
15	Полтавська	31,8	-6,2	-19,5	25,6	5,3	20,7	30,9	-0,9	-2,8
16	Рівненська	11,3	-1,7	-15,0	9,6	4,6	47,9	14,2	2,9	25,7
17	Сумська	8,1	-2,5	-30,9	5,6	1,3	23,2	6,9	-1,2	-14,8
18	Тернопільська	12,3	-1,2	-9,8	11,1	2,5	22,5	13,6	1,3	10,6
19	Харківська	73,4	-42,1	-57,4	31,3	-5,4	-17,3	25,9	-47,5	-64,7
20	Херсонська	46,0	-36,1	-78,5	9,9	-8,6	-86,9	1,3	-44,7	-97,2
21	Хмельницька	15,1	1,4	9,3	16,5	5,5	33,3	22,0	6,9	45,7
22	Черкаська	15,9	-2,8	-17,6	13,1	0,8	6,1	13,9	-2	-12,6
23	Чернівецька	12,6	2,1	16,7	14,7	6,7	45,6	21,4	8,8	69,8
24	Чернігівська	13,2	-4,0	-30,3	9,2	-2,1	-22,8	7,1	-6,1	-46,2
25	м. Київ	559,2	-240,6	-43,0	318,6	35,5	11,1	354,1	-205,1	-36,7
	Всього:	3800	-594,0	-15,6	3206	138,6	4,3	3344	-455,4	-12,0

Аналізуючи данні таблиці 1 можна зазначити наступне:

1. Кризові явища такі як: пандемія COVID-19 та повномасштабне вторгнення рф на територію України майже знищили туризм у деяких регіонах нашої країни.



2. Області України за кількістю сплачених податків демонструють дуже різну динаміку. Так, постійне зменшення кількості податків за три останні роки спостерігаємо у таких областях: Донецька (-86,8%), Запорізька (-86,1%), Луганська (-95,5%), Миколаївська (-60,2%), Одеська (-75,9), Харківська (-64,7%), Херсонська (-97,2%), Чернігівська (-46,2%). Більшість з цих регіонів тимчасово окупована РФ і там тривають бойові дії. Решта територій втратила туристичні потоки через постійні обстріли, мінування та інші кризові явища.

3. Але є області, що показали значне збільшення кількості податків за три останні роки, а саме: Волинська (18,1%), Закарпатська (48,8%), Івано-Франківська (31,5%), Київська (94,4%), Львівська (64,5%), Рівненська (25,7%), Тернопільська (10,4%), Хмельницька (45,7), Чернівецька (69,8%). Найбільший розмір сплаченого податку у 2022 році продемонстрували: м. Київ, Львівська, Київська, Івано-Франківська та Одеська області.

Таким чином, можна стверджувати, що ринок туристичних послуг дуже змінився, навіть географічно. З метою розкриття особливостей поведінки споживачів у процесі прийняття рішення щодо придбання туристичного продукту, проведено емпіричне дослідження клієнтів провідних туроператорів України. Участь у дослідженні взяло 150 споживачів, які є клієнтами п'яти провідних туроператорів: «TEZ Тур», «Апex Tour», «Join Up», «Coral Travel», «Pegas Touristik». Опитування проводилося у період з 2018 по 2022 роки. Протягом цього п'ятирічного періоду були визначені фактори, що впливають на вибір туристичного напрямку. На рис. 2 подані дані опитування, які відображають вплив чинників у 2018 році, коли туристична галузь перебувала у фазі динамічного розвитку та відомості за 2022 рік, який охоплює період після початку війни та ще не повністю завершеного впливу пандемії вірусу COVID-19.



Рис. 2. Вплив чинників на вибір напрямку туристичної подорожі

Результати цих опитувань можна зробити наступні:

1. Туристична галузь є дуже вразливою від негативної дії чинників зовнішнього середовища, таких як пандемія та повномасштабне військове вторгнення країни-агресора.

2. Під впливом дії цих чинників споживачі туристичних послуг суттєво зменшують обсяги подорожей, що призводить до зниження виторгу від реалізації туристичного продукту.

3. Негативна дія факторів зовнішнього середовища вимагає від споживача туристичних послуг більше турбуватися про свою безпеку, що обмежує можливості туристів та призводить до зменшення кількості позитивних емоцій від обраного туристичного продукту.

Негативний вплив факторів зовнішнього середовища на туристичну галузь не є постійним і вимагає активного підходу для розробки стратегій відродження вітчизняного туризму в післявоєнний період. Зокрема, особлива увага повинна бути приділена реалізації турів, таких як темний туризм, сільський зелений туризм та туризм по місцях військової слави Збройних Сил України, які будуть найбільш популярними у післявоєнний період.

Досліджено, що туристичний продукт повинен відповідати вимогам споживачів і задовольняти їхні потреби, що ставить перед підприємствами завдання забезпечити повне задоволення потреб споживача туристичних послуг. Ситуація на цьому ринку визначається великою динамічністю та включає безліч факторів, що неочікувано змінюють плани та стійкість підприємств. Успішна діяльність на ринку туристичних послуг вимагає не лише задоволення потреб клієнтів, але й їх прогнозування [3].

Поведінка споживачів ніколи не є простою та легко передбачуваною, оскільки на неї впливає велика кількість факторів. Таким чином, туристичним підприємствам доцільно: вивчати поведінку споживачів, розробляти моделі їх купівельної поведінки, досліджувати процес прийняття рішень під час придбання туристичного продукту. Післявоєнний розвиток туризму в Україні буде повністю орієнтований на вимоги споживачів туристичних

послуг. Тому для сфери туризму адаптуємо п'ятирівневу модель поведінки споживача [3] до особливостей ринку туристичних послуг (табл. 2).

Таблиця 2

## Адаптація п'ятирівневої моделі поведінки споживача до особливостей ринку туристичних послуг

Етапи процесу прийняття рішення щодо отримання послуги	Класична п'ятирівнева модель	Адапована до ринку туристичних послуг	Під час війни та з урахуванням перспектив розвитку післявоєнного туризму
Усвідомлення проблеми	Сприйняття споживачем різниці між бажаним та дійсним станом у результаті взаємодії індивідуальних цінностей із навколишнім соціальним середовищем.	Усвідомлення мети подорожі: дозвілля та відпочинок; відвідування рідних; діловий візит; лікування; відвідування визначних пам'яток; паломництво; шопінг; реалізація мрії; знайомство з новими людьми тощо.	Усвідомлення під впливом воєнного стану потреби в психологічній та фізичній реабілітації. На перший план вийшли емоції та досвід, бажання побачити світ. Для іноземних туристів стануть позитивні аспекти культури, історії та природи України.
Інформаційний пошук	Оцінка рівня власних знань. Якщо цих знань недостатньо – зовнішній пошук.	Аналіз порад, рекомендації друзів, знайомих, родичів, сайтів Booking, Airbnb тощо.	Планування подорожей, короткострокове. Для іноземних туристів важлива думка впливових лідерів, журналістів та блогерів для створення позитивного враження про Україну.
Оцінка і вибір альтернатив	Використання оціночних критеріїв для порівняння різних продуктів чи марок, що залежать від індивідуальних особливостей споживачів.	Альтернативи: поїздка на море, автобусний тур, подорож на власному авто, переліт чартером чи регулярним рейсом, придбання туру в туристичній агенції чи самостійна організація.	Популяризація внутрішнього туризму через обмеження на виїзд для чоловіків призовного віку. Вибір готелів з генераторами. Розміщення з домашніми улюбленими.
Отримання послуги	Роздрібні точки, через систему електронної торгівлі тощо. Значну роль відіграє досвідчений продавець.	Використання маркетингових інструментів (техніки продажу, стимулювання збуту тощо), а також інструментів когнітивного маркетингу.	Доступні Єгипет, Туреччина, ОАЕ, Туніс, Чорногорія, Албанія, Кіпр, Іспанія та багато інших напрямів, але через те, що небо України закрито, подорожі будуть більш складними, дорогими та тривалими.
Реакція після придбання	Визначення, що сподобалось, а що ні. Дуже важливо, щоб споживач повернувся.	Ступінь задоволеності вимірюється співвідношенням між очікуваннями та реальними властивостями, що може позначитися на подальшій поведінці споживача та повторному зверненні.	В умовах війни споживач стає менш вибагливим та може вибачити гравцям туристичного ринку певні недоліки, але користатися цим не варто оскільки в довгостроковій перспективі він обере туристичні підприємства, які надають послуги високої якості.

## Висновки

На розвиток туристичної галузі у післявоєнний період здійснюють вплив ряд факторів, серед яких слід виділити природно-географічні, культурно-історичні, економічні, соціальні, демографічні, політико-правові, технологічні, екологічні та внутрішні фактори. Слід також зазначити, що вплив цих факторів тісно взаємопов'язан з особливостями поведінки споживачів на різних сегментах ринку туристичних послуг.

На сьогоднішній момент, ситуація навколо України включає в себе комплексні аспекти, що одночасно несуть як потенційні можливості, так і виклики для туристичної сфери. Україна, яка перебуває в центрі всесвітніх дискусій через перебіг повномасштабної війни та запровадження кампанії «Be brave like Ukrainian», на сьогоднішній день є найбільш популярною темою для обговорень за весь період незалежності країни.

Велика кількість іноземних туристів планує відвідати Україну після закінчення війни з різними цілями. Уряд України повинен активно працювати над збереженням та підвищенням рівня впізнаваності країни на міжнародному туристичному ринку, водночас враховуючи важливість формування іміджу країни як безпечного туристичного напрямку.

## Список використаної літератури

1. Василькевич Л. О. Теоретичний підхід до формування моделі поведінки споживачів туристичного продукту. Сталій розвиток економіки. 2013. № 1 (18). С. 314–320.
2. Сорокіна Г. В. Особливості споживачької поведінки крізь призму комунікативного підходу. Молодий вчений. 2016. № 4. С. 479–483.
3. Consumer Behavior. Roger D. Blackwell, Paul W. Miniard, James F. Engel 2017. URL: [www.researchgate.net/publication/319468976\\_Consumer\\_Behavior](http://www.researchgate.net/publication/319468976_Consumer_Behavior)
4. Динаміка податкових надходжень від регіонів за три квартали 2023 року. URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/dinamika-podatkovih-nahodzhen-vid-regioniv-za-tri-kvartali-2023-roku>.

**References**

1. Vasylykevych L. O. (2013) Teoretychnyi pidkhid do formuvannia modeli povedinky spozhyvachiv turystychnoho produktu. [A theoretical approach to the formation of a model of the behavior of consumers of a tourist product]. *Stalyi rozvytok ekonomiky*, no. 1 (18), pp. 314–320.
2. Sorokina H. V. (2016) Osoblyvosti spozhyvatskoi povedinky kriz pryzu komunikatyvnoho pidkhodu. [Peculiarities of consumer behavior through the prize of a communicative approach]. *Molodyi vchenyi*, no. 4, pp. 479–483.
3. Roger D. Blackwell, Paul W. Miniard, James F. Engel (2017) *Consumer Behavior*/ Retrieved from: [www.researchgate.net/publication/319468976\\_Consumer\\_Behavior.pdf](http://www.researchgate.net/publication/319468976_Consumer_Behavior.pdf) (accessed 19 November 2023).
4. Dynamika podatkovykh nadkhodzhen vid rehioniv za try kvartaly 2023 roku. URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/dinamika-podatkovih-nadhodzhen-vid-regioniv-za-tri-kvartali-2023-roku>.

І. І. РИГА

магістрант факультету міжнародних економічних відносин  
Ужгородський національний університет  
ORCID: 0009-0003-2490-3298

С. М. РОШКО

кандидатка філологічних наук,  
доцентка кафедри міжнародних економічних відносин  
Ужгородський національний університет  
ORCID: 0000-0002-7065-0784

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СВІТОВОГО РИНКУ ТУРИСТИЧНИХ ПОСЛУГ

*У статті досліджуються особливості тенденцій розвитку світового ринку туристичних послуг. Аналізуються проблеми тенденцій розвитку світового ринку туристичних послуг, які залишаються надзвичайно актуальними в контексті численних змін і викликів, що впливають на туристичну індустрію. Визначено, що глобальний ринок туризму поступово відновлюється після важких втрат, спричинених пандемією. Зазначено, що тенденції світового ринку туристичних послуг можуть змінюватися в залежності від географічного розташування і особливостей конкретного регіону. Досліджується туристична індустрія, яка повинна враховувати глобальні виклики, такі як зміни клімату та кризи безпеки, при розробці своїх стратегій. Зазначено, що, враховуючи ці тенденції, туристична індустрія може адаптуватися до нових реалій та інновацій, щоб забезпечити стійкий та привабливий туристичний досвід у майбутньому. Встановлено, що розширення використання цифрових технологій стає ключовим елементом у покращенні якості та доступності туристичних послуг. Зацікавленість у справедливості та відповідальності перед навколишнім середовищем встановлює нові стандарти та вимоги до пропозицій індустрії. Туристи проявляють більше індивідуалізму та шукають унікальні та менш масові форми відпочинку. Зазначено, що туризм стає важливим каналом міжкультурного обміну та взаєморозуміння. Туристична індустрія повинна враховувати глобальні виклики, такі як зміни клімату та кризи безпеки, при розробці своїх стратегій. Враховуючи ці тенденції, туристична індустрія може адаптуватися до нових реалій та інновацій, щоб забезпечити стійкий та привабливий туристичний досвід у майбутньому. Одним з стратегічних напрямків розвитку міжнародного туризму в сучасних умовах є впровадження інформаційних технологій та зростання інноваційності галузі. Питання залучення інвестицій для підвищення рівня інновацій та поліпшення фінансування туристичних проектів займає окреме місце в системі факторів, що забезпечують економічний ріст кожної країни. У 2024 році очікується, що мандрівники все більше будуть шукати вартість за гроші та подорожувати близько до дому відповідно до складної економічної ситуації. Складна економічна обстановка, включаючи високу інфляцію та стрімкі зростання цін на нафту, а також страхи щодо глобальної рецесії, продовжує бути основним чинником, що гальмує відновлення туризму. Ключові слова: міжнародний туризм, туристична діяльність, туризм, ринок туристичних послуг, світовий ринок туризму.*

**Ключові слова:** міжнародний туризм, туристична діяльність, туризм, ринок туристичних послуг, світовий туристичний ринок.

І. І. РИГА

Student at the Department International Economic Relations  
Uzhhorod National University  
ORCID: 0009-0003-2490-3298

S. M. ROSHKO

Candidate of Philological Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of International Economic Relations  
Uzhhorod National University  
ORCID: 0000-0002-7065-0784

## DEVELOPMENT TRENDS OF THE WORLD MARKET OF TOURIST SERVICES

*The article examines the peculiarities of the development trends of the world market of tourist services. The problems of development trends of the world market of tourist services are analyzed, which remains extremely relevant in the light of numerous changes and challenges that affect the tourism industry. It has been determined that the global tourism market is gradually recovering after heavy losses caused by the pandemic. It is noted that the trends of the world market*

*of tourist services may change depending on the geographical location and specifics of a particular region. The tourism industry, which needs to take global challenges such as climate change and security crises into account when developing its strategies, is being explored. It is noted that considering these trends, the tourism industry can adapt to new realities and innovate to ensure a sustainable and attractive tourism experience in the future. It was determined that the expansion of the use of digital technologies is becoming a key element in improving the quality and accessibility of tourism services. The growing interest in sustainability and environmental responsibility is setting new standards and requirements for the industry's offerings. Tourists show more individualism and look for unique and less mass forms of recreation. It is noted that tourism is becoming an important channel for intercultural exchange and mutual understanding. The tourism industry must consider global challenges such as climate change and security crises in developing its strategies. Given these trends, the tourism industry can adapt to new realities and innovate to ensure a sustainable and attractive tourism experience in the future. One of the strategic directions of the development of international tourism in modern conditions is the introduction of information technologies and the growth of innovativeness of the industry. The question of attracting investments to increase the level of innovation and improve the financing of tourism projects occupies a separate place in the system of factors for ensuring economic growth of each state. In 2024, travelers are expected to increasingly seek value for money and travel close to home in response to a challenging economic environment. A challenging economic environment, including high inflation and surging oil prices, as well as fears of a global recession, continue to be a major factor hindering the recovery of tourism.*

**Key words:** international tourism, tourist activity, tourism, tourist services market, world tourism market.

### Постановка проблеми

Проблематика тенденцій розвитку світового ринку туристичних послуг залишається надзвичайно актуальною у світлі численних змін і викликів, які впливають на галузь туризму. Так, пандемія значно вплинула на туристичну галузь, і питання відновлення та реформування туристичних послуг залишаються актуальними. Промисловість шукає інноваційні підходи для адаптації до нових реалій. Це також призвело до змін у попиті та уподобаннях туристів. Люди шукають більше екологічних, менш масових та віддалених розважальних можливостей. Розвиток цифрових технологій та онлайн-сервісів став ключовим чинником у туризмі. Розумні технології допомагають удосконалювати та розширювати туристичний досвід. Зростаюча увага до сталості та екологічної відповідальності визначає тенденції у виборі туристичних послуг. Дистанційна робота та нові формати робочого та відпочинкового часу впливають на туристичні звички та вимагають нових пропозицій від галузі туризму. Глобальні виклики, такі як зміни клімату та кризи безпеки, впливають на географію туристичних подорожей та вимагають розробки стратегій для їх управління. Туризм стає не лише формою відпочинку, але і можливістю для міжкультурного обміну та спілкування, що вносить нові аспекти в розвиток галузі. Таким чином, тенденції розвитку світового ринку туристичних послуг є ключовими для адаптації галузі до змін в економічному, соціокультурному та технологічному середовищі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом інтерес до досліджуваної проблематики зростає, що знайшло відображення у працях зарубіжних та вітчизняних вчених: Носирева О. О. [1], Чернікової Є. А. [1], Богашко О. Л. [2], Алієва–Барановської В. М. [3], Дахно І. [3], Трусової Н. [5], Цвілого С. [5] та ін.

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Не зважаючи на значну кількість проведених досліджень закордонних науковців стосовно даної теми, кількість досліджень вітчизняних вчених залишається малою. Тому доцільним є подальше дослідження тенденцій розвитку світового ринку туристичних послуг на сучасному етапі розвитку світової економіки.

### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є характеристика та всебічне дослідження тенденцій розвитку світового ринку туристичних послуг.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Міжнародний туризм є необхідним інструментом для диверсифікації економіки та розвитку туристичної індустрії. Його різноманітність пояснюється великим розмаїттям рівнів соціально-економічного розвитку країн і регіонів. Зазначимо, що туризм, який не є основною потребою, стає активним лише за певних умов, таких як високий рівень доходів та благополуччя суспільства.

На сьогодні найбільш розвиненим регіоном відносно міжнародного туризму є Західна Європа, яка забезпечує понад 70% світового туристичного ринку та понад 60% валютного виторгу. Цей регіон є основним гравцем у глобальній туристичній індустрії [1, с. 142].

За даними СОТ, існує 15 країн, що спеціалізуються на туристичних послугах, і доходи від туризму в цих країнах значно перевищують доходи від експорту. Це, зокрема, стосується невеликих острівних країн у субтропічних та тропічних зонах, таких як Барбадос, Сейшели та інші [1, с. 142].

Серед безпечних країн для туристів виділяються Острови Аруба, Бонайре та Кюрасао, Сінгапур, Ісландія, Швейцарія, Бутан, Нова Зеландія, Ірландія, Кіпр, Дубаї. Ці країни є привабливими туристичними напрямками

через свою безпеку та різноманітність пропозицій [1, с. 142]. Загалом, для багатьох країн, особливо що розвиваються з невеликою економікою, туризм стає важливим джерелом доходів, а певні країни навіть отримують понад чверть свого експорту від туризму.

Світовий ринок туризму протягом останнього десятиліття демонструє стійке зростання від 3 до 7% щорічно. Можна припустити, що в міру того, як попит на подорожі та туристські послуги зростатиме, зростуть і вимоги мандрівників до сфери гостинності. У боротьбі за споживача на першому плані виступатимуть такі конкурентні переваги компанії, як: екологічність, технологічність, індивідуальність товару/послуги, соціальна відповідальність. Змінна динаміка туристських потреб підвищує вимоги до туристичної індустрії.

Отже, розуміння напрямку трансформації споживчого попиту – актуальне завдання туристських підприємств і закупівельних організацій, яке можна вирішити, перебуваючи у постійному взаємозв'язку зі споживачами [2, с. 143].

Так, у зв'язку з тим, що міжнародний туризм є відображенням соціально-економічних відносин у житті окремих країн і одночасно складовою частиною міжнародних економічних відносин, виникають необхідні передумови організації й управління усім комплексом туристично-рекреаційної та екскурсійної діяльності як в межах держави, так і на міждержавному рівні. Ці передумови реалізуються у створенні туристичних організацій [3, с. 115]. Всесвітня туристична організація сьогодні найвідоміша і найбільш визнана у туристичному світі. Всесвітня туристична організація – WTO (World Tourism organization – WTO) – це міжурядова організація, до складу якої входять близько 160 країн і територій, декілька асоційованих членів і понад 350 членів, які мають статус приєднаних і представляють турфірми, авіакомпанії тощо приватного сектору, навчальні інституції, туристичні асоціації та місцеві органи управління туризмом. WTO є спеціалізованою агенцією ООН і провідною міжнародною організацією у сфері туризму. Вона діє як глобальний форум з питань туристичної політики і практичне джерело туристичних ноу-хау [4].

Так, необхідно сприяти розвитку туризму також через обмеження урядового втручання у міжнародний туризм, так само як і в процес стандартизації вимог до паспортних, візових та митних формальностей. Сталий розвиток туризму неможливий без регулювання його такою міжнародною туристичною організацією, як WTO. Різноманіття її цілей, завдань та напрямків діяльності демонструє складність туризму як системи та необхідність комплексного вирішення більшості проблем у цій галузі на міжнародному рівні.

Природа туристичної індустрії як соціального явища зумовлює його тісні взаємозв'язки із процесами, які протікають у межах окремих туристичних дестинацій. Проте, поширення міжнародного тероризму, нелегальної міграції, зростання захворюваності на соціально небезпечні нові хвороби, загальне погіршення екологічної ситуації, не дивлячись на інтенсифікацію туристичних потоків, призводить до суттєвого зростання їх негативного впливу на бізнес і туристичну діяльність та має різний ступінь прояву на просторовому рівні. Економічна ефективність туристичної діяльності суб'єктів в Україні на базі наявних туристичних ресурсів до російської військової агресії активно розбудовувалася та мала достатній рівень туристичної інфраструктури, яка у зв'язку із відповідною ціновою політикою була достатньо конкурентоздатною у міжнародній туристичній індустрії [5, с. 56].

У 2022 році загальні тенденції розвитку світового ринку туристичних послуг виглядали наступним чином:

1. Відновлення після пандемії COVID-19: Світовий туристичний ринок поступово відновлюється після важких втрат, спричинених пандемією COVID-19. Поступове вакцинування та запровадження заходів для безпеки туристів сприяють відновленню діяльності галузі. Так, туристичний бізнес продовжував функціонувати, переходячи до онлайн-формату та роблячи ставку на внутрішній туризм, який став більш популярним через зменшення можливості виїзду за кордон. З'явилися нові підходи до безпеки та гігієни, що стали частиною нової норми в галузі туризму. Крім того, урядові підтримки та нові ініціативи від бізнесу допомогли відновити і зберегти цей сектор економіки. Зміни в попиті та популярних напрямках: Внаслідок пандемії спостерігаються зміни в попиті та уподобаннях туристів. Зростає попит на менш масові, екологічно чисті та віддалені регіони. Люди також виявляють більший інтерес до природних та пригородних видів відпочинку.

2. Цифрові технології в туризмі: Розвиток цифрових технологій відіграє ключову роль у відновленні та розвитку туризму. Мобільні додатки, онлайн-бронювання, віртуальні тури та інші інновації стають невід'ємною частиною туристичного досвіду.

3. Сталість та екологічна відповідальність: Туристи стають більш свідомими та вибагливими, обираючи компанії та напрямки, які демонструють високий рівень екологічної відповідальності та сталого розвитку.

4. Зміни в робочому та відпочинковому режимі: Розширення можливостей для дистанційної роботи сприяє росту туризму, орієнтованого на робочі подорожі та довготривалі відпустки.

5. Безпека та здоров'я: Збереження безпеки та здоров'я туристів залишається найважливішою проблемою. Галузь впроваджує строгі стандарти щодо санітарно-епідеміологічної безпеки.

6. Розвиток нових туристичних продуктів: Туроператори та готелі працюють над розробкою нових туристичних продуктів, які задовольняють змінені вимоги споживачів, такі як туризм здоров'я, культурні події та екологічний туризм.

Важливо враховувати, що тенденції можуть змінюватися в залежності від географічного розташування та специфіки конкретного регіону.

У майбутньому міжнародний туризм має намір консолідувати своє відновлення до кінця 2023 році завдяки відкладеному попиту, особливо з Азії та Тихоокеанського регіону, оскільки відкриваються нові напрямки та ринки. Опитування групи експертів ЮНВТО показує, що 72% респондентів очікують кращих показників за підсумками 2023 року. Однак більшість експертів (65%) також вважають, що міжнародний туризм не повернеться до рівня 2019 року до 2024 року. Відповідно до сценаріїв ЮНВТО на 2023 рік, за підсумками цього року кількість міжнародних туристів може досягти 80–95% від рівня до пандемії, причому очікується, що Європа та Близький Схід досягнуть цього рівня. Проте попереду залишаються важливі ризики, особливо економічні та геополітичні [6, с. 88].

Очікується, що в 2024 році туристи все більше шукатимуть співвідношення ціни та якості та подорожуватимуть поблизу дому у відповідь на складне економічне середовище. Складне економічне середовище, включаючи високу інфляцію та стрибок цін на нафту, а також побоювання глобальної рецесії, як і раніше залишаються головними факторами, що перешкоджають відновленню туризму. Щодо України, триваюча невизначеність, спричинена російською агресією проти України та іншою зростаючою геополітичною напруженістю, проблемами охорони здоров'я, пов'язаними з пандемією, а також нестачею робочої сили становлять негативні ризики для розвитку туристичної галузі. Одним із стратегічних напрямів розвитку міжнародного туризму в сучасних умовах є впровадження інформаційних технологій та зростання інноваційності галузі. Питання залучення інвестицій для підвищення рівня інноваційності та покращення фінансування туристичних проектів посідає окреме місце у системі факторів забезпечення економічного зростання кожної держави. Для оптимального використання капіталу необхідно насамперед створити належні умови для діяльності інвесторів. Це стосується як удосконалення нормативно-правової бази, так і впровадження механізму страхування ризиків, що в сучасних умовах є надзвичайно актуальним питанням. Інвестиції, особливо іноземні, є основою для розвитку економіки держави загалом та її туристичної складової зокрема, і як наслідок – покращення рівня та якості життя населення. Адже від ефективного здійснення інвестиційної політики залежить не лише стан та масштаби виробництва, запровадження інновацій, досягнень науково-технічного прогресу, а й вирішення певних соціальних та екологічних проблем. Головними інструментами у боротьбі за інвестиції у туристичну сферу має стати реальне, а не декларативне покращення інвестиційного клімату, зменшення бюрократичних процедур, спрощення регуляторно-реєстраційних вимог та вжиття радикальних заходів щодо дієвого захисту інвестицій [6, с. 89].

Процеси глобалізації впливають на політику щодо активізації торгівлі міжнародними туристичними послугами, згідно з якою для підвищення ефективності туристичної діяльності на основі ефективного використання існуючих факторів виробництва сучасного турпродукту необхідно звернути увагу та забезпечити державну програмну підтримку конкурентоспроможності туристичної галузі у кожній країні.

Стратегія стимулювання та сприяння розвитку туристичної галузі має ґрунтуватися на принципах, за якими конкурентні переваги будуть виділятися лише тим підприємствам туристичної сфери, які здатні ефективно конкурувати з іноземними компаніями на обох ринках – внутрішньому та зовнішньому. Це надасть можливість активно брати участь у стратегічних альянсах туристичної галузі та відновлювати потенціал туристичних потоків до рівня, який існував перед пандемією [7].

Розвиток світового ринку туристичних послуг визначатимуть велика невизначеність та потреба в гнучкості та інноваціях для відповіді на змінювані вимоги споживачів та економічні умови [8].

#### Висновки

Отже, тенденції розвитку світового ринку туристичних послуг свідчать про значний вплив різноманітних факторів на галузь туризму. Нові реалії, що склалися в результаті глобальних змін, вимагають від галузі адаптації та впровадження інноваційних стратегій. Пандемія визначила нові реалії, що вимагає від галузі гнучкості та швидкої адаптації до змін у попиту та уподобаннях туристів. Розширення використання цифрових технологій стає ключовим елементом у покращенні якості та доступності туристичних послуг. Зростаючий інтерес до сталості та екологічності відповідальності визначає нові стандарти та вимоги до пропозицій галузі. Туристи виявляють більше індивідуалізму та шукають унікальні та менш масові форми відпочинку. Туризм стає важливим каналом для міжкультурного обміну та взаєморозуміння. Галузь туризму повинна враховувати глобальні виклики, такі як зміни клімату та кризи безпеки, у розробці своїх стратегій. Враховуючи ці тенденції, галузь туризму може пристосовуватися до нових реалій та впроваджувати інновації для забезпечення стабільного та привабливого туристичного досвіду у майбутньому.

У подальших наукових дослідженнях звернемо увагу на розвиток туристичної галузі України після завершення російської військової агресії.

**Список використаної літератури**

1. Носирєв О. О., Чернікова Є. А. Сучасні тенденції, проблеми та перспективи управління розвитком туризму: матеріали I міжнар. наук.-практ. конф. (м. Дніпро, 23–24 березня 2023 р.). Дніпро: ДВНЗ «ПДТУ», 2023. 250 с. С. 141–145.
2. Богашко О. Л. Розвиток туристичного бізнесу в умовах цифрової економіки. Розвиток територіальних громад: правові, економічні та соціальні аспекти: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Миколаїв – с. Коблеве, 09 червня 2022 р.) Миколаїв: МНАУ, 2022. С. 142–144.
3. Алієва–Барановська В. М., Дахно І. Міжнародний туризм: навчальний посібник–довідник. 2013. К.: Центр учбової літератури. 343 с.
4. Сайт Всесвітньої туристичної організації. (2023). URL: [http://tourlib.net/wto/WTO\\_highlights\\_2011.pdf](http://tourlib.net/wto/WTO_highlights_2011.pdf) (дата звернення 14.11.2023).
5. Трусова Н., Цвілий С. Безпечний стан інноваційного розвитку туристичної індустрії в економічній системі держави. *Економіка та суспільство*. 2022. № 45. С. 56.
6. Туризм та креативні індустрії: сучасні виклики: зб. наук. праць II Міжнар. наук.-практ. конф., 28 квіт. 2023 р. Дніпро: Біла К. О., 2023. 212 с.
7. Global Summit on City Tourism: Catalysing economic development and social progress. URL: <http://surl.li/gpphd> (дата звернення 14.11.2023).
8. Commission Staff Working Document. Guidance on a strategic framework for further supporting the deployment of EU-level green and blue infrastructure. Brussels. URL: <http://surl.li/gppha> (дата звернення 14.11.2023).

**References**

1. Nosyrev O. O., Chernikova E. A. Suchasni tendentsii, problemy ta perspektyvy upravlinnia rozvytkom turyzmu: Materialy I Mizhnar. nauk.-prakt. konf. [Modern trends, problems and prospects of management of tourism development: Materials I International. science and practice conf.] (Dnipro, March 23–24, 2023) Dnipro: State Technical University “PDTU”. 2023. 250 p. P. 141–145.
2. Bogashko O.L. Rozvytok turystychnoho biznesu v umovakh tsyfrovoi ekonomiky. Rozvytok terytorialnykh hromad: pravovi, ekonomichni ta sotsialni aspekty: materialy II Mizhnar. nauk.-prakt. konf. [Development of tourism business in the digital economy. Development of territorial communities: legal, economic and social aspects: materials II International. science and practice conf.]. (Mykolaiv city – Kobleve village, June 9, 2022) Mykolaiv: MNAU, 2022. P. 142–144.
3. Aliyeva–Baranovska V. M., Dakhno I. Mizhnarodnyi turyzm: navchalnyi posibnyk–dovidnyk [International tourism: educational guide]. 2013. K.: Center of Educational Literature, 343 p.
4. World Tourism Organization website. (2023). URL: [http://tourlib.net/wto/WTO\\_highlights\\_2011.pdf](http://tourlib.net/wto/WTO_highlights_2011.pdf) (accessed 14 November 2023).
5. Trusova N., Tsviliy S. Bezpechnyi stan innovatsiinoho rozvytku turystychnoi industrii v ekonomichnii systemi derzhavy [Safe state of innovative development of the tourism industry in the economic system of the state]. *Economy and society*. 2022. No. 45. P. 56.
6. Turyzm ta kreatyvni industrii: suchasni vyklyky: zb. nauk. prats II Mizhnar. nauk.-prakt. konf. [Tourism and creative industries: modern challenges: coll. of science Proceedings of the II International science and practice Conf.]. April 28 2023. Dnipro: Bila K. O., 2023. 212 p.
7. Global Summit on City Tourism: Catalysing economic development and social progress. URL: <http://surl.li/gpphd> (accessed 14 November 2023).
8. Commission Staff Working Document. Guidance on a strategic framework for further supporting the deployment of EU-level green and blue infrastructure. Brussels. URL: <http://surl.li/gppha> (accessed 14 November 2023).



V. YU. STEPANOV

Doctor of Sciences in Public Administration, Professor,  
Professor at the Department of Tourism Business  
Kharkiv State Academy of Culture  
ORCID: 0000-0001-5892-4239

## INNOVATIVE OPPORTUNITIES OF FORESIGHT IN TOURISM ACTIVITIES

*The article is devoted to a problem that is relevant today – the future development of tourism. The author substantiates the idea that the future of tourism requires the use of new innovative approaches. One of these innovative approaches is the use of foresight methodology.*

*It is shown that forecasting the development of tourism activity requires the use of new innovative mechanisms. Accordingly, an innovative approach will be to apply the foresight methodology, which will allow us to determine priorities for the development of tourism activities, taking into account market changes.*

*It is noted that the purpose of foresight is the probable development of the future of tourism activities, determining strategies for achieving the desired image. That is, foresight is necessary to create alternative destinations, manage the choice of technologies, strategically develop tourism activities, intensify staff training, motivate tourism systems to follow global trends, etc.*

*The methodology of tourism foresight is active in relation to future events. This means that in order to forecast tourism activity, it is advisable to assess the likely risks of certain events, project the current state, strengthen positive trends, increase the likelihood of desired events, prevent the strengthening of negative trends, etc.*

*It is concluded that the foresight methodology in tourism activities will ensure its competitiveness in both the local and global tourism markets. In addition, the use of foresight is gaining importance for the future prospects of tourism development and can influence the improvement of the state policy of tourism development in general.*

**Key words:** *tourism activity, innovative approach, foresight, analysis and forecasting, tourism market, achievement strategy.*

В. Ю. СТЕПАНОВ

доктор наук з державного управління, професор,  
професор кафедри туристичного бізнесу  
Харківська державна академія культури  
ORCID: 0000-0001-5892-4239

## ІННОВАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ФОРСАЙТУ В ТУРИСТИЧНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

*Стаття присвячена актуальній на сьогоднішній день проблемі – майбутньому розвитку туристичної діяльності. Обґрунтовується думка, що майбутнє туристичної діяльності потребує застосування нових інноваційних підходів. Одним із таких інноваційних підходів є застосування методології форсайту.*

*Показано, що в умовах колювання кон'юнктури та загострення конкуренції зростає необхідність прогнозування розвитку туристичної діяльності, що потребує застосування нових інноваційних механізмів. Відповідно до цього інноваційним підходом стане застосування методології форсайту, що дозволить визначати пріоритети розвитку туристичної діяльності з урахуванням кон'юнктурних змін.*

*Зазначено, що метою форсайту є передбачення можливого майбутнього туристичної діяльності, створення його бажаного образу і визначення стратегій досягнення. Тобто форсайт необхідний для оптимізації процесу прийняття рішень, управління вибором технологій, створення альтернативних напрямів для стратегічного розвитку туристичної діяльності, активізації процесу навчання персоналу, мотивації трендам туристичних систем у глобальному вимірі й ін.*

*Методологія форсайту туристичної діяльності є активною відносно майбутніх подій. Це означає, що для прогнозування туристичної діяльності доцільно оцінювати ймовірні ризики виникнення певних подій, проектувати поточний стан, посилювати позитивні тренди, збільшувати ймовірність бажаних подій, попереджувати посилення негативних трендів тощо.*

*Зроблено висновок, що методологія форсайту в туристичній діяльності забезпечить її конкурентоспроможність як на локальному, так і глобальному туристичних ринках. Крім того, застосування форсайту набуває значення для подальших перспектив розвитку туристичної діяльності та може впливати на удосконалення державної політики розвитку галузі туризму в цілому.*

**Ключові слова:** *туристична діяльність, інноваційний підхід, форсайт, аналіз і прогнозування, туристичний ринок, стратегія досягнення.*

### Problem statement

Tourism is the most dynamically developing industry and holds its position in terms of revenue. According to the Law of Ukraine “On Tourism” – “The state proclaims tourism as one of the priority areas of economic and cultural development and creates conditions for tourism activities...” [1]. At the current stage of development of the tourism industry in Ukraine, unique natural and recreational resources are concentrated. The Cabinet of Ministers of Ukraine, in its order “On Approval of the Strategy for the Development of Tourism and Resorts for the Period up to 2026”, noted that “the only way to solve systemic problems in the field of tourism and resorts is a strategically oriented state policy, the main task of which is to identify tourism as one of the main priorities of the state, to introduce economic and legal mechanisms for successful tourism business, investment mechanisms for the development of tourism infrastructure, information and marketing measures to create a tourist image. According to this, “the purpose of the Strategy is to create favourable conditions for intensifying the development of tourism and resorts in accordance with international quality standards and European values, transforming it into a highly profitable, globally integrated competitive sector that accelerates the socio-economic development of regions and the state as a whole, contributes to improving the quality of life of the population, harmonious development and consolidation of society, and popularization of Ukraine in the world...” [2]. In particular, “the creation of a competitive national tourism product on the basis of systematic marketing activities aimed at clearly positioning different types of tourism products adapted to the requirements and expectations of consumers...” [2]. At the same time, in the face of fluctuating market conditions, new innovative approaches are needed to forecast the scenario of tourism development. One of these innovative approaches is the use of foresight methodology. [7, 8].

### Analysis of the latest research and publications

The assumptions of the possible future of tourism activities are considered in their various works by V. Antonova, O. Borysenko, V. Byrkovych, M. Bilynska, V. Vasylenko, V. Velychko, O. Davydova, S. Dombrovskaya, O. Kryukov, O. Lazor, N. Leonenko, S. Maystro, A. Okhrimenko, A. Pomaza-Ponomarenko, O. Rozmetova, V. Shvedun, O. Melnychenko, V. Yazin et al. Scientists note that in the context of an information array and a changing environment, the development of a forecast of tourism activity becomes relevant and important due to the ability to reduce uncertainty and increase the reliability of management decisions in the field of tourism [5, 7]. In such a situation, it is advisable to use innovative methods based on the knowledge, experience, and intuition of scientists, specialists, and analysts of the tourism industry in order to build an adequate picture of the future of tourism [10–12].

Formulation of the research objective. To consider the prospects for the development of possible future tourism activities using the innovative method of “Foresight”.

### Presentation of the main material of the study

Experts believe that the process of shaping tourism activity in the future requires innovative approaches. Accordingly, a new innovative approach would be to apply the foresight methodology [4, 6–8]. It should be noted that the foresight of tourism activities “is consistent with a strategic understanding of the need to take into account the mental, institutional, cultural, and informational impact on consumer expectations and economic interests of the subjects of relations in the tourism market...” [8].

According to scientists A. A. Mazaraki, M. H. Boyko, A. H. Okhrimenko, “Global integration processes are characterized by high dynamism, affecting all sectors of the economy... This is especially true for the tourism system, which, being global in nature, is interconnected with the economic cycles of society... Therefore, in the current complex realities, a key factor for success and competitive advantage in the globalized world is long-term forecasting of trends and development scenarios – foresight studies that provide an opportunity to predict the future, taking into account the fundamentally new content, forms and structures of socio-economic development trends...” [8]. In particular, this will affect the prioritization of tourism market development, taking into account market changes [4, 12]. In other words, to study the foresight of tourism activities, “it is necessary to involve as many experts from various fields as possible, primarily representatives of the authorities, business (restaurateurs, hotel owners, carriers), and tourism experts...” [7].

The idea of foresight was formed through analysis and forecasting [13]. Forecasting involves developing a set of information about the future. The objective of the foresight methodology is to “understand future challenges, problems, opportunities, and uncertainties, formulate future priorities on this basis, and promote the accumulation of the necessary capacity and proactive measures for their implementation...” [9]. It should be noted that “one of the components of foresight is forecasting...” [8]. For example, studies [7, 8, 12, 14] state that foresight combines three components: first, a vision of the future; second, planning; and third, communication.

One of the first publications on the use of foresight was made by US researchers [17, 18]. At that time, the RAND Corporation (USA) applied the Delphi method. This method is based on the repeatability of the procedure, convergence of views, anonymity, structure, feedback, and statistical aggregation.

It is worth noting that the Delphi methodology is successfully used by the world’s leading countries (Japan, the UK, Germany, France, South Korea, etc.). The essence of the foresight innovation method proves that its purpose is to predict the development of a possible future [3, 8, 13, 16, 17, 21, 22]. In addition to forecasting, the goals of using the foresight

method are to identify the necessary resources and accumulate information on the need to support research and innovation. Let us look at some definitions of the concept of “foresight”.

Analysing the foresight methodology, M. Conway defines it as a systematic process associated with “a coordinated expert assessment of the strategic prospects for the development of society...” [16]. According to M. Conway, it is “the basis for determining the levels of strategy, the format of scanning the external environment for making management decisions in the short and long term...” [16]. At the same time, M. Conway noted two innovative strategies.

The first strategy is called the “Foresight Infused Strategy,” which is a strategy developed using foresight approaches. It is based on people, processes, and cooperation as its main process [16]. It is a strategy that connects what is known about the past and present with the unknown future to create a stronger, future-ready strategy.

The second strategy is called “Futures Ready,” which is a flexible strategy that allows an organization to respond quickly and effectively to the challenges and uncertainties of the future [16]. This is a strategy based on long-term thinking.

The definition of foresight was provided by American expert B. Martin. In his opinion, foresight is seen as “the long-term future of science, technology, economy and society with the aim of identifying areas of strategic research and technologies that can bring the greatest economic and social benefits...” [20].

The scientific position on the essence of corporate foresight as a forecasting method for implementing innovations in a company with the involvement of stakeholders is substantiated by scientists L. Bakker and L. Johanson [15]. In addition, some researchers [19] note that the results of foresight are options for a possible future for different time periods. In particular, the foresight study made it possible to identify and substantiate the method that is the opposite of foresight – the hindsight. That is, an assessment of projects that did not achieve their goals and an analysis of the reasons for their failure [9, 12, 13].

One of the proofs of the relevance and importance of foresight on a global scale was the creation of the European Foresight Platform (EFP) in early 2010. It partially continued the activities of the former European Commission’s Sixth Framework Program (FP6) projects “European Foresight Monitoring Platform” (EFMN) and FORLEARN [21]. In particular, the EFP was aimed at creating a global network that brings together different communities and individual professionals to share knowledge about foresight, forecasting, and other methods of research aimed at the future [3, 6, 8].

EFMN, under the 7th Framework Program for the Social Sciences and Humanities, is currently providing funds to continue EFP’s activities in important networking events in Europe and beyond. This joint work on coordination and support of the European Foresight Platform – Support for Future Solutions is aimed at consolidating the database of information and knowledge about foresight in Europe and internationally [23].

In other words, foresight is necessary for the following: optimizing the decision-making process; managing the choice of technologies; creating alternative directions for strategic development; intensifying the process of staff training; motivating changes that meet the trends of tourism systems in the global dimension, etc.

In the format of the foresight methodology, researchers identify three main functions: diagnostics; forecast; determination of prospects and roadmap. Foresight methods are conventionally divided into 3 groups: expert opinion methods that focus on building interpersonal partnerships; modelling and morphological analysis that involve the use of analytical tools that are becoming increasingly computerized; scanning (monitoring) and trend extrapolation that predict the degree of the future determined by the conditions of the moment [7–10, 12].

Unlike traditional forecasting, foresight technology is proactive with respect to future events. This means that forecasting requires more than just assessing the likely risks of certain events. In particular, to project the current state in such a way as to strengthen positive trends, increase the likelihood of desired events, and prevent the strengthening of negative trends [6–8].

### Conclusions

One of the essential components of foresight technologies is the identification of vectors of systemic changes in the future. The emergence of foresight as a method of researching tourism activities is due to increased competition in the tourism market and limited government funding for tourism.

Foresight of tourism activities is considered as a strategic analysis of innovative research methods to determine the desired activities and possible future in the field of tourism. The foresight strategy is an approach that connects what is known about the past and present to create a strategy for future activities. Tourism foresight is characterized by high technology, a combination of different research methods, and the development of various areas of tourism activity to determine future long-term tourism trends.

The foresight methodology for tourism activities will ensure its competitiveness in both local and global tourism markets. The need for foresight studies of tourism activity is based, first of all, on the innovative capabilities of this methodology. Secondly, on the features of national tourism and the need for its multidimensional research. Thirdly, the use of foresight is gaining importance for the future prospects of tourism development and affects the improvement of the state policy of tourism development in general, which requires further research.

## Bibliography

1. Про туризм: Закон України від 15.09.1995 № 324/95-ВР. *Верховна Рада України*. URL: [http://kodeksy.com.ua/pro\\_turizm](http://kodeksy.com.ua/pro_turizm)
2. Про введення воєнного стану в Україні. *Указ Президента України № 64/2022* від 24 лютого 2022 року.
3. Атаман Л. В., Терешко Д. В. Методологія «форсайт» як інноваційний підхід до розвитку туризму регіону. *Туризм XXI століття: глобальні виклики та цивілізаційні цінності : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.* (Пряшів, 10–11 квіт. 2019 р.) / відп. ред. А. А. Мазаракі. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2019. 196 с.
4. Васильконова Е. Використання методів форсайт у формуванні позитивного іміджу регіонів: *Зб. наук. праць ЧДТУ*, 2014. № 37 (2). С. 140–145.
5. Біль М. М. Організаційно-управлінський механізм забезпечення розвитку туристичної галузі України. *Державне будівництво*, 2008. № 1. URL: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/DeBu\\_2008\\_1\\_36.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/DeBu_2008_1_36.pdf).
6. Бойко М. Г., Берідзе Р., Охріменко А. Г. Форсайт розвитку готельного бізнесу. *Туризм XXI століття: глобальні виклики та цивілізаційні цінності : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.* (Пряшів, 10–11 квіт. 2019 р.) / відп. ред. А. А. Мазаракі. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2019. 196 с.
7. Квітка С. А. Форсайт як технологія проектування майбутнього: новітні механізми взаємодії публічної влади, бізнесу та громадянського суспільства. *Аспекти публічного управління*, 2016. № 8 (34). С. 5–15.
8. Мазаракі А. А., Бойко М. Г., Охріменко А. Г. Форсайт розвитку національної туристичної систем. *Вісник ХНТЕУ*, 2018, С. 5–22.
9. Осипов В. М., Парасюк І. Л., О. О. Ворожейкін. Роль форсайта в управлінні субрегіоном. *Економічні інновації*, 2012. Вип. 47. С. 197–205.
10. Пермінова Г. Тенденції розвитку туризму в Україні на межі тисячоліть у контексті світового досвіду. *Україна, українці, українознавство у ХХ ст. в джерелах і документах: Зб. наук. пр.*: у 2 ч. К., 1999. Ч. 2. С. 570–577.
11. Радченко О. В., Радченко О. О. Роль та завдання держави у сфері розвитку туристичної галузі України. URL: <http://studio.ipk.edu.ua/wp-content/uploads/2020/07/Radchenko-DUS-11.pdf>.
12. Савченко А. М. Методи форсайт як інструмент розвитку корпоративного сектора національної економіки України. *БізнесІнформ*, 2014. № 12. С. 62–68.
13. Форсайт [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://aurora-expertum.ru/2009/03/forsajt/>.
14. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015– 2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти (версія для обговорення) / наук. керівник проекту акад. НАН України М. Згуровський // Міжнар. рада з науки (ICSU) ; Нац. техн. ун-т України «Київський політехнічний інститут» ; Ін-т прикладного системного аналізу НАН України МОН України ; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. Київ : КПІ, 2015. 36 с.
15. Bakker L., Johansson L. Managing foresight for innovation in large firms : Master Degree Project in Innovation and Industrial Management. University of Gothenburg. School of Business, Economics and Law. 2014. 102 p.
16. Conway M. Foresight: an introduction. A Thinking Futures Reference Guide. Melbourne, Australia. Thinking Futures, 2015, 45 p.
17. Dalkey N., Helmer O. An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts, *Mnnapwnt Sciences*. 1963. 9. 458–467 p.
18. Helmer O. Adversary Delphi / O. Helmer // *Futures*. 1994. Vol. 26. № 1. P. 79–88.
19. Ivey I. The T&T Foresight Project (Tourism Global Foresight Report) / I. Ivey. Trinidad : NIHIRST, 2006. 35 p.
20. Martin B. Research Foresight and the exploitation of science base. HSMO, London, 1993.
21. Sixth Framework Programme (FP6) projects European foresight monitoring platform (EFMN) and FORLEARN [Електронний ресурс]. URL : <https://ec.europa.eu>
22. United Nations Industrial Development Organization. Vienna International Centre, P.O. Box 300, A-1400 Vienna, Austria. URL : [https://www.tc.cz/files/istec\\_publications/textbook2revisedcf\\_1171283006.pdf](https://www.tc.cz/files/istec_publications/textbook2revisedcf_1171283006.pdf).
23. Foresight analysis & roadmap for fisheries related tourism at EUSAIR level. Nemo project 1M-MED 14–11 wp2. action 2.4.

## References

1. On tourism: Law of Ukraine of September 15, 1995 No. 324/95-BP. *Verkhovna Rada of Ukraine*. URL: [http://kodeksy.com.ua/pro\\_turizm](http://kodeksy.com.ua/pro_turizm)
2. On the introduction of martial law in Ukraine. *Decree of the President of Ukraine No. 64/2022* of February 24, 2022.
3. Ataman L. V., Tereshko D. V. (2019) Foresight methodology as an innovative approach to regional tourism development. *Tourism of the 21st century: global challenges and civilizational values: materials of the International scientific and practical conference* (Prešov, April 10–11, 2019) / ed. A. A. Mazaraki. Kyiv: Kyiv National University of Trade and Economics, 196 p.

4. Vasilkonova E. (2014) Use of foresight methods in the formation of a positive image of the regions: *Collection of scientific works of the ChSTU*, No. 37 (2). P. 140–145.
5. Bil M. M. (2008) Organizational and managerial mechanism for ensuring the development of the tourism industry in Ukraine. *State Building*, No. 1. URL: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/DeBu\\_2008\\_1\\_36.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/DeBu_2008_1_36.pdf).
6. Boyko M. H., Beridze R., Okhrimenko A. H. (2019) Foresight of the hotel business development. *Tourism of the 21st century: global challenges and civilizational values: materials of the International scientific and practical conference (Prešov, April 10–11, 2019)* / ed. A. A. Mazaraki. Kyiv: Kyiv National University of Trade and Economics, 196 p.
7. Kvitka S. A. (2016) Foresight as a technology of designing the future: the latest mechanisms of interaction between public authorities, business and civil society. *Aspects of Public Administration*, No. 8 (34). P. 5–15.
8. Mazaraki A. A., Boyko M. H., Okhrimenko A. H. (2018) Foresight of the national tourism system development. *KNTEU Bulletin*, P. 5–22.
9. Osypov V. M., Parasiuk I. L., O. O. Vorozheikin (2012) The role of foresight in subregional governance. *Economic innovations*, Issue 47. P. 197–205.
10. Perminova H. (1999) Trends in the development of tourism in Ukraine at the turn of the millennium in the context of international experience. Ukraine, Ukrainians, and Ukrainian Studies in the 20th Century in Sources and Documents: *a collection of scientific papers: in 2 parts*. K., Ch. 2. P. 570–577.
11. Radchenko O. V., Radchenko O. O. The role and tasks of the state in the development of the tourism industry in Ukraine. URL: <http://studio.ipk.edu.ua/wp-content/uploads/2020/07/Radchenko-DUS-11.pdf>.
12. Savchenko A. M. (2014) Foresight methods as a tool for the development of the corporate sector of the national economy of Ukraine. *BusinessInform*, No. 12. P. 62–68.
13. Foresight [Electronic resource]. Access mode: <http://aurora-expertum.ru/2009/03/forsajt/>.
14. Foresight of the Ukrainian economy: medium-term (2015–2020) and long-term (2020–2030) time horizons (version for discussion) / scientific project manager, academician of the National Academy of Sciences of Ukraine M. Zhurovskiy // International Council for Scientific Union (ICSU) ; National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” ; Institute of Applied Systems Analysis of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Ministry of Education of Ukraine ; World Data Centre for Geoinformatics and Sustainable Development. Kyiv: KPI, 2015. 36 p.
15. Bakker L., Johansson L. (2014) Managing foresight for innovation in large firms : Master Degree Project in Innovation and Industrial Management. University of Gothenburg. School of Business, Economics and Law. 102 p.
16. Conway M. (2015) Foresight: an introduction. A Thinking Futures Reference Guide. Melbourne, Australia. Thinking Futures, 45 p.
17. Dalkey N., Helmer O. (1963) An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts, *Mnnapwnt Sciences*. 458–467 p.
18. Helmer O. (1994) Adversary Delphi / O. Helmer // *Futures*. Vol. 26. № 1. P. 79–88.
19. Ivey I. (2006) The T&T Foresight Project (Tourism Global Foresight Report) / I. Ivey. Trinidad : NIHERST, 35 p.
20. Martin B. (1993) Research Foresight and the exploitation of science base. HSMO, London.
21. Sixth Framework Programme (FP6) projects European foresight monitoring platform (EFMN) and FORLEARN [Електронний ресурс]. URL : <https://ec.europa.eu>
22. United Nations Industrial Development Organization. Vienna International Centre, P.O. Box 300, A-1400 Vienna, Austria. URL : [https://www.tc.cz/files/istec\\_publications/textbook2revisedcf\\_1171283006.pdf](https://www.tc.cz/files/istec_publications/textbook2revisedcf_1171283006.pdf).
23. Foresight analysis & roadmap for fisheries related tourism at EUSAIR level. Nemo project 1M-MED 14–11 wp2. action 2.4.

**Г. П. ЩУКА**

доктор педагогічних наук, професор,  
професор кафедри географії та туризму  
Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II  
ORCID: 0000-0003-4368-5081

**М. З. ПАСКА**

доктор ветеринарних наук, професор,  
завідувач кафедри готельно-ресторанного бізнесу  
Львівський державний університет фізичної культури  
імені Івана Боберського  
ORCID: 0000-0002-9208-1092

**О. В. ПОБІГУН**

кандидат географічних наук, доцент,  
доцент кафедри туризму, рекреації та регіонального розвитку  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
ORCID: 0000-0001-5387-1510

## ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНЕ ПАРТНЕРСТВО ЯК ОСНОВНА УМОВА РОЗВИТКУ ГАСТРОНОМІЧНОГО ТУРИЗМУ НА ЗАКАРПАТТІ

Ця стаття присвячена використанню державно-приватного партнерства в контексті системного розвитку гастрономічного туризму в Закарпатті, як однієї з найбільш перспективних та важливих галузей, яка є способом ідентифікації нації, сприяє збереженню культурної спадщини, досягненню цілей сталого розвитку, забезпечує можливість економічного зростання сільської місцевості, відповідального споживання та виробництва, соціальної стійкості та добробуту громади тощо. Водночас відсутні дослідження, які аналізують досвід ДПП на регіональному ринку гастрономічного туризму. Мета дослідження: розглянути можливості розвитку ДПП в організації гастрономічного туризму Закарпаття на сучасному етапі. Методика. Застосовано системно-структурний та діалектичний підходи до розгляду поставлених проблем з використанням методів аналізу, синтезу, систематизації, моделювання. Результати. Визначено суб'єктів ринку гастрономічного туризму; охарактеризовано рівень взаємодії стейкхолдерів на ринку гастрономічного туризму Закарпаття, встановлено, які перешкоди заважають їм вибудувати ефективну співпрацю на даному етапі. На основі аналізу зарубіжного досвіду визначено кроки, які забезпечують ефективність організації ДПП в управлінні цим сектором. Надано рекомендації щодо організації партнерства на регіональному та місцевому рівнях у подальшому. Наукова новизна. Вперше проаналізовано рівень взаємодії суб'єктів гастрономічного туризму Закарпаття та охарактеризовано стан ДПП в цьому секторі туризму. Практична значимість. Реалізація визначених кроків щодо організації ДПП в гастрономічному туризмі на рівні території (територіальних громад) дає можливість об'єднати стейкхолдерів даного ринку, забезпечити збереження культурної спадщини, досягнення цілей сталого розвитку, забезпечує можливість економічного зростання сільської місцевості тощо.

**Ключові слова:** гастрономічний туризм Закарпаття, ДПП, державно-приватне партнерство в гастрономічному туризмі Закарпаття.

**Н. П. SHCHUKA**

Doctor of Pedagogical of Sciences, Professor,  
Professor at the Department of Geography and Tourism  
Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education  
ORCID: 0000-0003-4368-5081

**М. Z. PASKA**

Doctor of Veterinary Sciences, Professor,  
Head of the Department of Hotel and Restaurant Business  
Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Bobersky  
ORCID: 0000-0002-9208-1092

O. W. POBIHUN

Ph.D. (Geographic Sciences), Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Tourism, Recreation  
and Regional Development  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
ORCID: 0000-0001-5387-1510

## PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP AS THE ESSENTIAL CONDITION FOR THE DEVELOPMENT OF GASTRONOMIC TOURISM IN TRANSCARPATIA

*This article is devoted to the use of public-private partnership in the context of the systemic development of gastronomic tourism in Transcarpathia, as one of the most promising and important industries, which is a way of identifying the nation, contributes to the preservation of cultural heritage and the achievement of sustainable development goals, provides the possibility of economic growth in rural areas, job creation, responsible consumption and production, social stability and well-being of the community, etc. At the same time, there are no studies that analyze the experience of PPPs in the regional market of gastronomic tourism. The purpose of the research: to consider the possibilities of the development of PPP in the organization of gastronomic tourism in Transcarpathia at the current stage. Method. System-structural and dialectical approaches to the consideration of the problems are applied using the methods of analysis, synthesis, systematization, and modeling. The results. The subjects of the gastronomic tourism market have been identified; the level of stakeholders interaction in the gastronomic tourism market of Transcarpathia is characterized, it was determined what obstacles prevent them from building effective cooperation at this stage. Based on the analysis of foreign experience, the steps that ensure the effectiveness of the organization of PPP in the management of this sector are determined. Recommendations on the organization of PPPs at the regional and local levels in the future have been provided. Scientific novelty. For the first time, the level of interaction between subjects of gastronomic tourism in Transcarpathia was analyzed and the state of PPP in this sector of tourism was characterized. Practical significance. The implementation of the specified steps regarding the organization of PPP in gastronomic tourism at the level of the territory (territorial communities) provides an opportunity to unite the stakeholders of this market, ensure the preservation of cultural heritage, achieve the goals of sustainable development, provides the possibility of economic growth in rural areas, etc.*

**Key words:** *gastronomic tourism of Transcarpathia, public-private partnership, public-private partnership in gastronomic tourism of Transcarpathia.*

### Постановка проблеми

Управління розвитком сфери туризму стає дедалі складнішим: розширення напрямків діяльності, підвищення конкуренції на туристичному ринку, досвідченість та вимогливість споживачів, автономні зовнішні тиски (економічні коливання, геополітика, стихійні лиха тощо) та інші сили, що спонукають до змін, потребують узгодження дій багатьох зацікавлених сторін на різних напрямках діяльності та рівнях управління [6].

Ринок гастрономічного туризму – складна система, яка функціонує на перетині двох сфер: туризму та гастрономії. Перетворення туристом споживання їжі на основну мету подорожі не лише розширює коло суб'єктів даного виду туристичного ринку, але й змінює ключові ролі та відповідальних у цьому процесі. Державно-приватне партнерство (далі – ДПП) називається науковцями [1] як одне з 5 основних факторів, що забезпечують успіх цієї діяльності.

Закарпаття визнається регіоном, який має значний потенціал для розвитку гастрономічного туризму та певний досвід його організації [9; 18]. Проте, контекст, у якому відбувається поступ даного виду туризму в області останні роки, змінився і продовжує перебувати в процесі хаотичних змін. Навіть, враховуючи відносну віддаленість від активних бойових дій, ці зміни для регіону вже стали незворотними, необхідні нові організаційні моделі та підходи до управління. Саме механізм ДПП щодо перерозподілу повноважень та врегулювання між сторонами питань відповідальності, ризиків, фінансового забезпечення тощо зараз є найбільш придатним для розвитку туризму [13, с. 54].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Партнерство визнано ООН однією з Цілей сталого розвитку [15]. Перші дослідження, присвячені ДПП у туризмі, були проведені UNWTO ще у 2000 р., і з того часу стали постійними. Значний внесок у це питання зробили зарубіжні науковці: S. Hartman [1; 2], M. Kusworo [3], B. Wielenga, J. Heslinga [2], X. Mei, M. Lerfald, H. Brata, S. Chang та ін., аналізуючи досвід ДПП в гастрономічному туризмі в різних країнах та дестинаціях. Серед вітчизняних науковців цю проблему досліджували С. Захарін, Л. Данченко, Ю. Усенко, В. Стойка, С. Тищенко, Н. Леоненко [22], Л. Івашова [21] та ін.

Наукові доробки в області гастрономічного туризму Закарпаття (Н. Кампов, О. Касинець, І. Годя, І. Панової та ін.) датуються допандемічним періодом. На даному етапі більшість туризмологів країни працює над питаннями повоєнного розвитку туристичної галузі, але жоден не розглядає гастрономічний туризм як перспективний

сектор на вітчизняному туристичному ринку. Отже, питання розвитку регіональних туристичних ринків, загалом, і закарпатського, зокрема, у післявоєнному періоді умов та чинників, зумовлених російською військовою агресією, є відносно новими і залишаються недостатньо дослідженими. Така ж ситуація простежується і з вивченням впливу адміністративної реформи 2020 р. на організацію ДПП в сфері туризму на регіональному / локальному рівні.

#### Формулювання мети дослідження

Мета дослідження: розглянути можливості розвитку державно-приватного партнерства в організації гастрономічного туризму Закарпаття на сучасному етапі.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

UNWTO визначає гастрономічний туризм як вид туристичної діяльності, який характеризується тим, що мандрівник під час подорожі отримує досвід, пов'язаний з місцевою гастрономією. На додаток до автентичних, традиційних та / або інноваційних кулінарних вражень, він також може включати інші види діяльності: участь у фестивалях їжі, відвідування місцевих виробників або курси кулінарії [4, с. 44].

При цьому основою гастрономічної пропозиції є не стільки їжа (страви), скільки територія (терруар): її ландшафти, культура, продукти, традиції тощо. Саме вони визначають кулінарну ідентичність напрямків, є основою та мають становити ДНК туристичних вражень, які пропонуються відвідувачам [5]. Наразі туристичні дестинації в усьому світі розробляють стратегії для підвищення гастрономічної ідентичності своїх територій.

Для Закарпаття це питання є надзвичайно актуальним і залишиться таким у період повоєнної відбудови країни: з одного боку, гастрономічний туризм є способом ідентифікації нації, сприяє збереженню культурної спадщини, досягненню цілей сталого розвитку, забезпечує можливість економічного зростання сільської місцевості, створення робочих місць, відповідального споживання та виробництва, соціальної стійкості та добробуту громади тощо. Для регіону, де 62,8% складає сільське населення [10], це дуже важливий чинник. З іншого боку, це наявність в області відповідного потенціалу: автентична кухня, досвід проведення еногастрономічних фестивалів, розвинена гастрономічна інфраструктура (заклади ресторанного господарства, дегустаційні зали), велика кількість виробників органічних продуктів тощо [9]. Отже, гастрономічний туризм – це сфера, де співпадають інтереси, потреби та можливості регіону.

Розробка, просування та реалізація гастрономічного турпродукту суттєво не відрізняється від технології формування будь-якого іншого туристичного продукту ні за послідовністю, ні за робочим процесом, але відрізняється з точки зору широкого та різноманітного кола суб'єктів ринку, які повинні брати участь у його розробці.

В останні десятиліття гастрономічний туризм вийшов за рамки столу, об'єднавши в пропозицію всі сектори харчового та туристичного ланцюга місця призначення – виробників, переробні підприємства, сектор туризму та гостинності, сектор розподілу, комерційний сектор і навіть сектор знань. В результаті ланцюжок створення вартості в гастрономічному туризмі неоднорідний і фрагментований (рис. 1), а відповідальність за управління його розвитком розпорощена між різними суб'єктами та ланками виконавчої влади, що вимагає великих зусиль для організації злагодженої роботи.

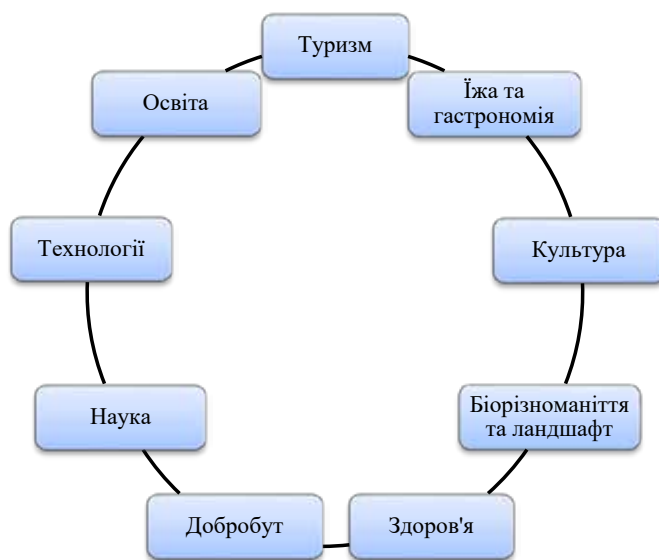


Рис. 1. Ланцюг створення вартості в гастрономічному туризмі

Джерело: складено автором за [5, с. 17]



Очевидно, що взаємозалежність суб'єктів, дотичних до створення гастрономічного турпродукту, має як наслідок формування різноманітних об'єднань, спрямованих на вирішення спільними зусиллями поточних питань. Комбінації учасників у цих об'єднаннях можуть бути різними: підприємці, галузеві та громадські організації, органи управління, природоохоронні асоціації, навчальні заклади, науково-дослідні інститути тощо. Але, як зазначає S. Hartman [1], їхня колективна поведінка визначає те, як цей напрямок буде розвиватися надалі, а їхні колективні дії є ключовими і для результатів розвитку дестинації.

Тому визначення ДПП повинно спиратися на вивчення сутності та взаємодії наступних економічних категорій: потреби, інтереси, учасники, ресурси, система відносин та форми взаємодії. Держава (це можуть бути органи центральної, регіональної та / чи місцевої виконавчої влади, залежно від масштабів проекту) виступає в якості інституту узагальнення й реалізації суспільних потреб та інтересів. При цьому державний сектор виступає в ролі замовника, а приватний – у ролі виконавця замовлення, залучаючи третіх осіб: науковців, експертів, кредиторів, постачальників та ін.[7, с. 87–88].

Представлене в світовій практиці ДПП у сфері туризму відбувається в трьох основних напрямках [14]:

1) співробітництво в області реалізації комплексних проектів, пов'язаних з необхідністю значних вкладень в інженерну інфраструктуру і комунікацій (схеми договорів концесій, лізингу або прямого державного фінансування інфраструктурної частини проекту);

2) співробітництво в галузі створення об'єктів туристичної та розважальної інфраструктури (використання різних інструментів стимулювання приватного сектора: пільги, податки, кредити та далі);

3) співробітництво в сфері маркетингу та просування національного туристичного продукту (створення Національних туристських адміністрацій).

При цьому комплексна державна підтримка стосується не окремих підприємств малого та середнього бізнесу, а їх спеціалізованих груп і галузевих об'єднань, і передбачає обов'язкове використання зовнішньої оцінки програм [13, с. 56].

В Україні ДПП в туризмі обмежується статтями 7–12 Закону України «Про туризм», який не передбачає офіційної участі в управлінні даною сферою жодних установ, окрім органів політичної влади [11]. При цьому наявність регіональних та місцевих організацій з управління туризмом не є чимось обов'язковим. Проведений нами аналіз офіційних сайтів показав, що з шести, утворених в результаті адміністративної реформи 2020 р., районів Закарпаття, в жодній з адміністрацій немає відділу з туризму. Туристичну сферу Закарпаття регулює Управління туризму та курортів обласної адміністрації (далі – Управління).

Ситуація на місцях подібна. На території регіону створено 64 територіальні громади (далі – ТГ). З проаналізованих 59 сайтів ТГ (сайти 5 ТГ на момент проведення дослідження були неактивні), лише в 21 (35,6%) громаді сформовано відділи / управління / комісії, що опікується розвитком туризму (див. рис. 2), при цьому 17 (81%) поєднують туризм з культурою, і лише 2 (9,5%) – з економікою.



Рис. 2. Наявність відділів з питань розвитку туризму в структурі адміністрацій територіальних громад Закарпатської області

Джерело: складено автором за даними веб-сайтів ТГ

Значною мірою така не одноставність у визначенні приналежності туризму (культура / економіка) пояснюється загальною ситуацією, яка склалася в Україні з управлінням галуззю, яка в різні періоди підпорядковувалася міністерствам культури, молоді та спорту; економічного розвитку та торгівлі; інфраструктури.

З іншого боку, як пояснюють цей факт голови громад, обмежений бюджет сільських ТГ не дозволяє створювати окремий відділ туризму, і розподіл повноважень здебільшого визначається з огляду на компетентність працівника. Відсутність окремої структури (чи посади) не означає, що громада не планує розвивати туризм. Приватний сектор хоча і не залучається ними до управління, проте має можливість брати участь у розробці стратегії, програм та планів розвитку громади.

Наразі в області немає окремих регіональних та / чи місцевих організацій, ради яких включали б представників і державного, і приватного секторів. Розподіл відповідальності між Управлінням, районними та місцевими органами влади поки що нечіткий.

Про наміри громади розвивати туризм свідчить існування на їхніх веб-сайтах вкладок «Туризм» та «Туристичні принади громади» (хоча і не скрізь наповнених). Такі вкладки є на 12 сайтах громад. Як саме громади планують цей розвиток, дають уявлення їхні стратегії. На жаль, ці документи (затверджені або у вигляді проекту) представлено лише на 11 сайтах та ще на 6 вказано, що документ знаходиться в стані розробки; на інших (42 сайти) будь-яка інформація з цього приводу відсутня. В Стратегії однієї з громад не передбачено заходи з розвитку туризму.

В результаті аналізу представлених Стратегій встановлено:

1. ТГ Закарпаття отримують методичну допомогу в розробці Стратегій: в рамках реалізації Програми U-LEAD (фінансування ЄС), Проєкту USAID «ГОВЕРІА» (США), за підтримки Франкфуртського зоологічного товариства в рамках Міжнародної Кліматичної Ініціативи (Німеччина), Агентства місцевого розвитку та інформаційних ресурсів «Європоліс» (Україна, м. Ужгород) та ін.

2. Обсяги Стратегій різні: від кількох десятків до кількох сотень сторінок, отже частина з них не супроводжується конкретними заходами для їх досягнення і більше нагадує політичну декларацію.

3. Подальший розвиток туризму в громадах здебільшого передбачає: маркетингову діяльність (7 ТГ з 10), розвиток туристичної інфраструктури (5 ТГ), розробку нових туристичних продуктів (5 ТГ), збереження історико-культурної спадщини (4ТГ), організацію взаємодії стейкхолдерів (3 ТГ).

4. Очікувані зміни на ринку гастрономічного туризму регіону (за умови успішної реалізації запланованого): поява нових турпродуктів (планується новий фестиваль культури споживання фруктових горілок «Закарпатська палінка»), збільшення кількості турів, туристів.

Основні форми та напрямки взаємодії органів влади з іншими суб'єктами туристичного ринку:

- консультативна підтримка та організаційний супровід підприємців, які працюють в туристично-рекреаційній сфері громади;
- співпраця з іншими громадами, туристичними операторами, готелями, ресторанами та іншими гравцями туристичної галузі.

Проте, під час проведення інтерв'ю із зацікавленими сторонами (в рамках реалізації проєкту «Дорога вина і смаку Закарпаття», 2020–2021 рр.) було виявлено, що у кожній зі сторін існують перестороги на рахунок такої співпраці. Так, власники закладів ресторанного господарства не впевнені в привабливості автентичної кухні для туриста, не вбачають необхідності фінансово вкладатися в навчання кухарів, тим паче, що не зовсім зрозуміло, де, хто і як їх має навчати.

Власники сільських садіб переконані, що можна обмежитися домашньою кухнею, головне, щоб господиня вміла готувати смачно. Працівники культури, на яких покладається організація всіх заходів у громаді, в тому числі гастрономічних і по збереженню нематеріальної культурної спадщини, вважають, що результатами їхньої праці користується лише бізнес. І взагалі, більшість мешканців переконані, що адміністрація ТГ в цьому некомпетентна, а вигоду, як завжди, отримує обмежене коло осіб. Особисто брати участь в управлінні громадою їм заважає цілий ряд факторів, серед яких: політичні погляди, брак часу, грошей, зв'язків та ін.

Треба відзначити, що серед стейкхолдерів гастрономічного туризму вплив неурядових організацій є вищим, ніж офіційних органів влади, бо вони завдяки грантам вносять зміни в життя громади: допомагають в розробці туристичних маршрутів, реконструкції об'єктів, проведенні фестивалів тощо.

Якщо виходити з періодизації розвитку ДПП, який запропонували нідерландські вчені [2], наразі об'єднання суб'єктів на закарпатському ринку гастрономічного туризму знаходиться в нульовій фазі і лише планує перейти до першої – маркетингу (спільне вирішення питань просування та брендингу [16]); в найбільш проактивних громадах замислюються і на рахунок управління (розробка стратегії, туристичного продукту та ін.) – друга фаза. Але проблема полягає в тому, що гастрономічний туризм розвивається успішно лише на третій фазі взаємодії, коли стає невід'ємною частиною стратегічного та інклюзивного просторового планування DESTINACIЙ.

Перехід від однієї стадії до іншої потребує часу і залежить від наявності проактивних осіб, які є успішними розвідними ключами з точки зору зв'язування кількох (політичних) сфер, різних типів учасників та їхніх інтересів у державних та просторових масштабах [2].

Як свідчать факти, в регіоні таких проактивних осіб недостатньо. Наприклад, ринок гастрономічного туризму Закарпаття представлений значною кількістю асоціацій, сформованих з метою просування власної продукції та можливості отримання грантів, які конкурують між собою.

Наприклад, на отримання географічного зазначення для місцевих вин подалися відразу дві асоціації: Асоціація виноградарів і виноробів Закарпаття [12] та Асоціації виноградарів, виноробів та дистильаторів Закарпаття [8].

Об'єднані ж асоціації приватних, громадянських і державних суб'єктів, як і приклади успішного ДПП, наразі відсутні. Кілька спроб об'єднати зусилля було зроблено в рамках грантових проектів «Віртуальний музей гастрономічної спадщини «Вітрина Закарпаття», «Дорога вина і смаку Закарпаття», «Гуцульські сирні плаї» та ін., проте, по завершенню проектів, співпраця припиняється, а результати поступово втрачаються. Така ж ситуація з більшістю проектів, які реалізували за підтримки АРР Закарпаття.

Більшу стабільність демонструють проекти, ініційовані Товариством угорської культури Закарпаття у співпраці із Закарпатською угорською туристичною радою, – це організація етнографічних фестивалів, обов'язковою складовою яких є гастрономія; розвиток сільського туризму, проведення наукових досліджень тощо. До реалізації проектів залучаються представники бізнесу, працівники сфери культури, наукова спільнота з числа викладачів ЗУІ ім. Ф. Ракоці II та ін., фінансуються вони переважно з фондів ЄС та «спрямовані на забезпечення культурних потреб угорців Закарпаття і захисту їх політичних інтересів» [17].

У виробників продуктів існують значні проблеми зі збутом своєї продукції, у туристів – з її придбанням (не говорячи вже про відвідування дегустацій та майстер-класів). Лише нещодавно почали відкриватися крамниці крафтових продуктів: «Крафтс» (м. Ужгород), «Фріга» (м. Хуст), «Шпайз» (м. Мукачево), але в більшості інших міст такі локації відсутні.

Посередником між виробником та туристом виступають туроператори внутрішнього ринку, в основному з інших областей країни (з місцевих гастромаршрути пропонують лише «ПроКарпати»). Туроператори, на думку виробників, переймаються лише власними прибутками і не завжди звертають увагу на якість та асортимент гастрономічної пропозиції. Ті, в свою чергу, скаржаться на відсутність культури споживання у туристів, тому й формують пропозицію відповідно до попиту. На цьому коло замикається.

Зауважимо, що відсутність державної підтримки, компетентних кадрів, регіональних правил щодо дестинацій, рекламних заходів, координації між зацікавленими сторонами, вказівок для учасників розвитку туризму з боку місцевих органів влади та ін. [3] – це загальні проблеми, з якими стикаються на етапі розбудови ДПП майже всі дестинації. Тобто, проблеми Закарпаття не є чимось унікальним, отже і вирішення їх може лежати в площині вивчення та застосування чужого досвіду. Організація результативних ДПП, як показав аналіз зарубіжного досвіду, проходить такі етапи:

1. Визначити основні цілі та завдання реалізації даного партнерства. Як правило, це завдання виконується державними органами або неофіційно доручається їм.

2. Розробити та структурувати наскрізний ланцюг вартості гастрономічного туризму; встановити перелік потенційних учасників, які прямо чи опосередковано пов'язані з туризмом та гастрономією. Головним у даному випадку є спільні моральні цінності, однаково розуміння мети та засобів її досягнення; прав, обов'язків та відповідальності; принципів діяльності та критеріїв оцінювання отриманих результатів. Обов'язково врахувати участь місцевої громади – індивідуально та / або через місцеві асоціації.

3. Забезпечити механізми, які сприяють узгодженню інтересів учасників, дозволяють брати участь у прийнятті рішень; визначати взаємний внесок сторін у спільну справу; справедливо розподіляти результати; встановити спільну відповідальність за можливі наслідки.

4. Обрати керівний орган, який розробить програму розвитку гастрономічного туризму в дестинації чи реалізації конкретного проекту (відновлення традиційних рецептів, розробка гастрономічних маршрутів та ін.) зі спільним та узгодженим баченням усіх учасників процесу.

Впровадження проекту покладається на лідерів галузі та підтримується державними фондами, схемами підприємницького інвестування, інкубаторами стартапів тощо. При виборі моделі співпраці необхідно враховувати такі фактори як досвід співпраці, особливості гастрономічного турпродукту, кількість, профіль та компетентність суб'єктів ринку тощо.

ДПП може охоплювати компанії та організації будь-якого розміру на будь-якому з етапів ланцюжка створення вартості та варіюватись від дуже неформальних відносин до структурованих відносин із юридичними особами.

#### Висновки

Встановлено, що успішний розвиток гастротуризму через принципи стійкості вимагає значних ресурсів та глибоких знань у багатьох економічних сферах, тому спонукає суб'єктів даного ринку до взаємодії. Інтереси учасників процесу (виробників продуктів, посередників, туристичних фірм, закладів культури, громадських організацій, органів місцевого самоврядування та ін.) не завжди сумісні, що потребує координації їхніх дій, і вирішується шляхом ДПП.

Гастрономічний туризм – важливий сектор на регіональному туристичному ринку Закарпаття. Водночас, щоб зробити регіон дестинацією гастрономічного туризму, необхідно з'ясувати чіткі вектори його розвитку, здатні задовольнити широкий спектр інтересів суб'єктів даного ринку та місцевих мешканців даного регіону. Очевидно, що дію негативних факторів складно спрогнозувати та скорегувати. Проте, тут має спрацювати ланцюгова парадигмальність, яка полягає в наступному: 1) ефективність забезпечення розвитку регіонального туризму залежить від результативності співпраці всіх зацікавлених сторін; 2) необхідно вже зараз розробити програму взаємодії та почати її реалізацію.

### Список використаної літератури

- Hartman S. Towards adaptive tourism areas: using fitness landscapes for managing and futureproofing tourism area development. *Journal of Tourism Futures*. 2018. Vol. 4, № 2. P.152–162. DOI: 10.1108/JTF-03-2018-0009.
- Hartman S., Wielenga B. Heslinga J. H. The future of tourism destination management: building productive coalitions of actor networks for complex destination development. *Journal of Tourism Futures*. 2020. Vol. 6, № 3. P. 213–218. DOI: 10.1108/JTF-11-2019-0123
- Kusworo M. Government Functions Acceleration in Tourist Village Development: a Case Study of Dermaji village. *International Journal of Professional Business Review*. 2023. Vol. 8(3). DOI: 10.26668/businessreview/2023.v8i3.1296
- Organización Mundial del Turismo. *Definiciones de turismo de la OMT*. Madrid, 2019. DOI: 10.18111/9789284420858.
- Organización Mundial del Turismo y Basque Culinary Center. *Guía para el desarrollo del turismo gastronómico*. OMT. Madrid, 2019. DOI: 10.18111/9789284420995.
- Peters P. & oth. Research for the TRAN Committee – Overtourism: impacts and possible policy responses. European Parliament, Directorate-General for Internal Policy, Policy Department. *Structural and Cohesion Policy, Transport and Tourism*. 2018. DOI: 10.2861/919195
- Брайловський І. А. Державно-приватне партнерство: методологія, теорія, механізми розвитку : дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.01/ Харків. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна. Харків, 2015. 462 с.
- Вину – географічне зазначення: закарпатських виноробів готують до реєстрації «Вин Срібної Землі». *TOPNEWS.uz.ua*. 2.10.2023. URL: <https://topnews.uz.ua/vynu-heohrafichne-zaznachennia-zakarpatskykh-vynorobiv-hotuiut-do-reiestratsii-vyn-sribnoi-zemli-video/>
- Годя І. М. Гастрономічний туризм Закарпаття: сучасний стан і перспективи. *Географія та туризм: наук. зб.* 2018. Вип. 45. С. 36–41.
- Демографічний паспорт – Закарпатська область. 18.04.2021. URL: [https://web.archive.org/web/20210418051215/http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Dialog/statfile1\\_c\\_files/pasport.files/pasport/21\\_uk.htm#0201](https://web.archive.org/web/20210418051215/http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Dialog/statfile1_c_files/pasport.files/pasport/21_uk.htm#0201)
- Дорожня карта конкурентоспроможного розвитку сфери туризму в Україні. Підсумкова доповідь. URL: <https://nto.ua/assets/files/ntou-book-strategic-ebrd-tourismroadmap.pdf>
- Закарпатські вина готуються отримати захищене географічне зазначення. *Трибуна*. 13.07.2019. URL: <https://trubyna.org.ua/novyny/zakarpatski-vyna-hotuiutsia-otrymaty-zakhyshchene-heohrafichne-zaznachennia/>
- Івашова Л.М. Державно-приватне партнерство у сфері туризму як дієвий механізм забезпечення сталого розвитку економіки країни і регіонів. *Публічне управління та митне адміністрування*. 2019. № 1 (18). С. 52–61.
- Леоненко Н.А. Механізм державно-приватного партнерства в межах державної політики розвитку туристичної сфери України. *Публічне управління і адміністрування в Україні*. 2019. Вип. 14. С. 63–66.
- Партнерство заради сталого розвитку. 17 цілей сталого розвитку. URL: <https://globalcompact.org.ua/tsilijstijjogo-rozvytku/>
- Паска М. З., Головчук Ю. О., Гарасимчук Н. А. Гастрономічний туризм як елемент маркетингових стратегій розвитку регіональної економіки в умовах кризи. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. Серія: «Економічні науки». 2022. № 6. DOI: 10.25313/2520-2294-2022-6-8086
- Товариство угорської культури Закарпаття. *Центр культурних меншин Закарпаття*. URL: <http://surl.li/nktyp>
- Щука Г.П. До питання про розвиток гастрономічного туризму на Закарпатті. Матеріали ІХ Всеукр. наук.-практ. конф-ції «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі», 19–20 травня 2020 р. К.: НУХТ, 2020 р. С. 76–78. URL: [https://tourlib.net/statti\\_ukr/schuka4.htm](https://tourlib.net/statti_ukr/schuka4.htm)

### References

- Hartman S. (2018). Towards adaptive tourism areas: using fitness landscapes for managing and futureproofing tourism area development. *Journal of Tourism Futures*, 4 (2), 152-162. DOI: 10.1108/JTF-03-2018-0009 (in English).
- Hartman S., Wielenga B. Heslinga J. H. (2020). The future of tourism destination management: building productive coalitions of actor networks for complex destination development. *Journal of Tourism Futures*, 6 (3), 213-218. DOI: 10.1108/JTF-11-2019-0123 (in English).

3. Kusworo M. (2023). Government Functions Acceleration in Tourist Village Development: a Case Study of Dermaji village. *International Journal of Professional Business Review*, 8(3). DOI: 10.26668/businessreview/2023.v8i3.1296 (in English).
4. Organización Mundial del Turismo (2019). *Definiciones de turismo de la OMT*, OMT, Madrid, DOI: 10.18111/9789284420858. (in English).
5. Organización Mundial del Turismo y Basque Culinary Center (2019). *Guía para el desarrollo del turismo gastronómico*, OMT, Madrid, DOI: 10.18111/9789284420995. (in English).
6. Peters, P.M. et al. (2018). Research for the TRAN Committee – Overtourism: impacts and possible policy responses. European Parliament, Directorate-General for Internal Policy, Policy Department. *Structural and Cohesion Policy, Transport and Tourism*. DOI: 10.2861/919195 (in English).
7. Brailovskyi, I. A. (2015) Public-private partnership: methodology, theory, mechanisms of development: Dr. Econ. Sciences diss: V. N. Karazina KhNU (in Ukrainian).
8. Vynu – heohrafichne zaznachennia: zakarpatskykh vynorobiv hotuiut do reiestratsii «Vyn Sribnoi Zemli». [Wine – geographical indication: Transcarpathian winemakers are being prepared for the registration of «Wines of the Silver Land»]. *TOPNEWS.uz.ua*. 2.10.2023. URL: <https://topnews.uz.ua/vynu-heohrafichne-zaznachennia-zakarpatskykh-vynorobiv-hotuiut-do-reiestratsii-vyn-sribnoi-zemli-video/> (in Ukrainian).
9. Hodia, I. M. (2018) Hastronomichniy turizm Zakarpattia: suchasnyi stan i perspektyvy. [Gastronomic tourism of Zakarpattia: current state and prospects]. *Geography Heohrafiia ta turizm: naukovyi zbirnyk*, 45, 36–41 (in Ukrainian).
10. Demohrafichniy pasport – Zakarpatska oblast [Demographic passport – Transcarpathian region]. 18.04.2021. URL: [https://web.archive.org/web/20210418051215/http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Dialog/statfile1\\_c\\_files/pasport.files/pasport/21\\_uk.htm#0201](https://web.archive.org/web/20210418051215/http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Dialog/statfile1_c_files/pasport.files/pasport/21_uk.htm#0201) (in Ukrainian).
11. Dorozhnia karta konkurentospromozhnoho rozvytku sfery turyzmu v Ukraini. Pidsumkova dopovid. [Road map of competitive development of tourism in Ukraine. Final report]. URL: <https://nto.ua/assets/files/ntou-book-strategic-ebrd-tourismroadmap.pdf> (in Ukrainian).
12. Zakarpatski vyna hotuiutsia otrymaty zakhyshchene heohrafichne zaznachennia [Transcarpathian wines are preparing to receive a protected geographical indication]. *Trybuna*. 13.07.2019. URL: <https://trybuna.org.ua/novyny/zakarpatski-vyna-hotuiutsia-otrymaty-zakhyshchene-heohrafichne-zaznachennia/> (in Ukrainian).
13. Ivashova, L.M. (2019) Derzhavno-pryvatne partnerstvo u sferi turyzmu yak diievyi mekhanizm zabezpechennia staloho rozvytku ekonomiky krainy i rehioniv [Public-private partnership in the field of tourism as an effective mechanism for ensuring the sustainable development of the economy of the country and regions]. *Publichne upravlinnia ta mytne administruvannia*, 1 (18), 52–61 (in Ukrainian).
14. Leonenko N. (2019) Mekhanizm derzhavno-pryvatnoho partnerstva v mezhakh derzhavnoi polityky rozvytku turystychnoi sfery Ukrainy [The mechanism of public-private partnership within the framework of the state policy of development of the tourism sphere of Ukraine]. *Publichne upravlinnia i administruvannia v Ukraini*, 14, 63–66. (in Ukrainian).
15. Partnerstvo zarady staloho rozvytku. 17 tsilei staloho rozvytku. [Partnership for sustainable development. 17 sustainable development goals]. URL: <https://globalcompact.org.ua/tsili-stijkogo-rozvytku/> (in Ukrainian).
16. Paska, M., Holovchuk, Yu., Harasymchuk, N. (2022) Hastronomichniy turizm yak element marketynhovykh stratehii rozvytku rehionalnoi ekonomiky v umovakh kryzy [Gastronomic tourism as an element of marketing strategies for the development of the regional economy in crisis conditions]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Internauka». Serii: «Ekonomichni nauky»*, 6. DOI: 10.25313/2520-2294-2022-6-8086 (in Ukrainian).
17. Tovarystvo uhorskoi kultury Zakarpattia [Society of Hungarian Culture of Transcarpathia]. *Tsentr kulturnykh menshyn Zakarpattia*. URL: <http://surl.li/nktyp> (in Ukrainian).
18. Shchuka H. (2020) Do pytannia pro rozvytok hastronomichnoho turyzmu na Zakarpatti [Regarding the development of gastronomic tourism in Transcarpathia]. *Innovatsiini tekhnolohii v hotelno-restorannomu biznesi* : Materialy I Vseukr. nauk.-prakt. konf-tsii (pp. 76-78). K.: NUKhT. URL: [https://tourlib.net/statti\\_ukr/schuka4.htm](https://tourlib.net/statti_ukr/schuka4.htm) (in Ukrainian).

## СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

УДК 658.382

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.54>

М. В. БУЖАНСЬКА

кандидат хімічних наук, доцент,  
доцент кафедри харчових технологій  
Львівський торговельно-економічний університет  
ORCID: 0000-0001-9251-4727

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ  
ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ В УКРАЇНІ

*У статті розглянуто проблеми охорони праці під час війни, які є надзвичайно важливим аспектом забезпечення безпеки та здоров'я працівників на робочих місцях. Дане дослідження наводить загальний огляд проблеми і розгляд різних аспектів охорони праці в умовах воєнного конфлікту. Аналізуються проблеми, які пов'язані з організацією безпечної праці в умовах війни, включаючи забезпечення пожежної безпеки, захист від вибухів, застосування захисного обладнання, реалізацію безпечних процедур та дотримання норм і правил охорони праці. Також розглянуті проблеми психологічного здоров'я працівників, в тому числі підтримка емоційного стану та розуміння військово-психологічних та стресових факторів. Обговорюються актуальні загрози, пов'язані зі збройними конфліктами пропонуються ефективні стратегії для забезпечення безпеки працівників та мінімізації ризиків надзвичайних ситуацій. Зазначені загрози певною мірою дотикають і національну безпеку, впливають на соціально-економічне становище країни. Показана роль роботодавців та державних установ у створенні першорядних і комплексних планів захисту життя та здоров'я людей та захисту інфраструктури. Автор звертає увагу на постійне вдосконалення фахового рівня працівників в часі воєнних дій. Висвітлено основні переваги заходів з прогнозування та планування, з метою забезпечення безпеки праці в умовах війни. Представлене дослідження доводить доцільність використання заходів превентивного характеру протидії ризикам та організацію умов праці з урахуванням особливостей воєнного конфлікту. Аналізуючи напрацювання та досвід управління охороною праці в часі воєнного конфлікту, ця стаття допомагає розкрити важливі проблеми і намітити можливі шляхи подальших досліджень.*

**Ключові слова:** безпека праці, екстремальні умови праці, охорона праці в умовах воєнного стану, безпека праці в умовах воєнного стану, надзвичайні ситуації.

M. V. BUZHANSKA

PhD of Science in Chemistry, Associate Professor,  
Associate Professor at the Department of Food Technologies  
Lviv University of Trade and Economics  
ORCID: 0000-0001-9251-4727

CURRENT WORK SAFETY PROBLEMS  
DURING TIME MARTIAL LAW IN UKRAINE

*The article examines the problems of labor protection during wartime, which are an extremely important aspect of ensuring the safety and health of workers during wartime at workplaces. This study provides a general overview of the problem and consideration of various aspects of labor protection in the conditions of a military conflict. The problems associated with the organization of safe work in wartime are analyzed, including ensuring fire safety, protection against explosions, the use of protective equipment, the implementation of safe procedures and the observance of labor protection rules and regulations. The problems of psychological health of employees are also considered, including support of emotional state and understanding of military psychological and stress factors. Actual threats related to armed conflicts are discussed, effective strategies are offered to ensure the safety of workers and minimize the risks of emergency situations. These threats to some extent affect national security and affect the socio-economic situation of the country. The role of employers and state institutions in creating primary and comprehensive plans for the protection of people's lives and health and the protection of infrastructure is shown. The author draws attention to the constant improvement of the professional level of workers during hostilities. The main advantages of forecasting and planning measures aimed at ensuring labor safety in war conditions are highlighted. The presented study proves the expediency of using measures of a preventive nature against risks and the organization of working conditions taking into account the peculiarities of the military conflict. Analyzing the development and experience of labor protection management in times of military conflict, this article helps to reveal important problems and outline possible ways of further research.*

**Key words:** labor safety, extreme labor conditions, labor protection under martial law, labor safety under martial law, emergency situations.

### Постановка проблеми

Безпека праці під час військового стану становить серйозну проблему, яка потребує спеціальної уваги та заходів з метою забезпечення захисту працівників. Для системи управління охороною праці бойові дії є зовнішніми небезпечними чинниками, які впливають на систему функціонування підприємства та підвищують ризики виникнення додаткових нещасних випадків на робочих місцях, які є нетипові для мирного часу та мають наслідки різної тяжкості. Відповідно до статистичних даних в Україні станом на 30.09.2022 виробничий травматизм зі смертельними наслідками, що відбулись через бойові дії, становить близько половини загального смертельного травматизму на роботі в умовах російської агресії. У зоні військових дій робоче середовище може бути небезпечним через присутність вибухонебезпечних матеріалів, зруйновані споруди, нестабільні умови тощо. Необхідно приділити увагу захисту працівників від прямих фізичних пошкоджень, забезпечивши їм необхідні засоби індивідуального захисту, враховуючи особливості конкретної воєнної ситуації. Військові дії можуть створити напружені умови та стрес для працівників, що може впливати на їхнє психічне здоров'я та добробут. Важливо забезпечити підтримку працівникам, психологічну допомогу та надавати необхідну інформацію, щоб зменшити негативний вплив військових дій на їхній стан та продуктивність праці.

Війна має серйозний вплив на економіку країни і виробництво. Нестабільна ситуація, втрати і руйнація інфраструктури можуть призвести до зменшення робочих місць, збільшення безробіття та економічної нестабільності. Важливо приділити увагу заходам з прогнозування та планування, щоб забезпечити економічну стійкість в умовах війни.

У воєнний період можуть виникати юридичні складнощі та питання, пов'язані з виконанням законодавства. Наприклад, припинення обмежень щодо робочого часу, надання конкретних прав та гарантій працівникам в умовах воєнного стану. Важливо мати належне розуміння правової системи, щоб захистити права та інтереси працівників. Уряд та роботодавці повинні спільно працювати над розробкою та впровадженням відповідних заходів. Перераховані аргументи зумовлюють значимість даної проблеми.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Важливість безпеки праці під час війни є актуальною проблемою, яка описується в літературі. Дослідники розглядають різні аспекти цієї теми, зокрема вплив воєнного конфлікту на умови праці, безпеку працюючих осіб, а також ефективність заходів щодо забезпечення безпеки [1–4].

Деякі дослідження зосереджуються на впливі воєнного конфлікту на інфраструктуру та промисловість, що призводить до погіршення умов праці та збільшення ризиків для працівників [5–7]. Інші дослідження аналізують вплив психологічних та фізичних наслідків війни на працівників та їхню безпеку [8, 9]. Враховуючи реальні загрози, пов'язані зі збройними конфліктами, безпека праці під час війни є актуальною проблемою, яка вимагає уваги дослідників та розвитку ефективних стратегій для забезпечення безпеки працівників під час надзвичайних ситуацій.

### Формулювання мети дослідження

Стаття розкриває основні аспекти, проблеми та виклики, з якими стикаються працівники у небезпечних умовах пов'язаних з воєнним станом. Стаття також намагається надати практичні поради та рекомендації щодо того, як забезпечити власну безпеку на робочому місці під час військових дій. При цьому, звертається увага на заходи превентивного характеру, протидії ризикам та організацію умов праці з урахуванням особливостей воєнного конфлікту.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Гарантування безпеки є першочерговою метою держави. Загрози політичного, економічного, соціального, військового та воєнного характеру є викликом політиці безпеки держави та міжнародних організацій. Можна відзначити, що загрози військового характеру є найсерйознішими викликами, з якими сьогодні зіткнулися держава та роботодавці. З початком широкомасштабної війни, що ведеться росією, порушуються конституційні права працівників на охорону їхнього життя і здоров'я під час трудової діяльності на гідні, безпечні та здорові умови праці. Сьогоднішня ситуація призводить до збільшення рівня травматизму і летальних випадків на виробництві. Для зменшення ризиків і наслідків небезпек під час військових дій та забезпечення конституційних прав працівників законодавство зобов'язує роботодавця забезпечувати виконання необхідних профілактичних заходів відповідно до обставин, що змінюються. Важливими заходами щодо попередження нещасних випадків, що відбулись внаслідок ведення бойових дій під час виконання працівниками трудових (посадових) обов'язків, є:

- проведення відповідних інструктажів для працівників щодо заходів безпеки в часі повітряної тривоги;
- впровадження ефективного контролю за чітким виконанням працівниками заходів, передбачених у разі отримання сигналу «Повітряна тривога»;
- проведення навчання щодо надання першої домедичної допомоги потерпілим внаслідок ведення бойових дій.

Разом з тим з метою необхідності правового урегулювання та поліпшення процедури розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві на період дії в Україні режиму військового (надзвичайного) стану введено в дію постанову Кабінету Міністрів України «Про внесення змін

до Порядку розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві» 20.01.2023 вступили в дію зміни.

В першу чергу удосконалено структуру акта розслідування нещасного випадку за формою Н-1, зменшено чисельний склад комісії із спеціального розслідування нещасних випадків та її обов'язки, а також спрощено механізм оформлення документів за матеріалами розслідування. Дозволяється дистанційне засідання комісії з розслідування нещасного випадку з використанням засобів конференц-зв'язку, а також затвердження та підписання протоколів та актів робочими членами комісії. Керівник підприємства, що створив спеціальну комісію, може затверджувати акти шляхом накладання кваліфікованого електронного підпису. Голова комісії зобов'язаний повідомити членів, з використанням усіх наявних засобів зв'язку, що були відсутні на засіданні під час прийняття рішення.

Відповідно до даного нормативного акту нещасні випадки, що сталися з працівниками під час роботи внаслідок воєнних дій (бомбардувань, ракетних та артилерійських обстрілів, мінувань тощо), підлягають спеціальному розслідуванню незалежно від ступеня тяжкості травм. При травмах, отриманих під час бойових дій, дослідження вмісту в організмі потерпілого алкоголю, наркотичних речовин і ступеню його сп'яніння не проводиться. Розслідування нещасних випадків, що призвели до тяжких наслідків, у тому числі з можливою інвалідністю, проводиться комісією підприємства без відповідного письмового доручення територіального органу Держпраці. Термін розслідування також може бути обґрунтовано продовжений без погодження з територіальним органом Держпраці.

Підтримка психологічного здоров'я важлива проблема, яка акцентує увагу. Військові конфлікти можуть мати серйозні психологічні наслідки для працівників. Психічне здоров'я на робочому місці є дуже важливим аспектом загального благополуччя та продуктивності працівників. Стрес на робочому місці може мати негативний вплив на психічне здоров'я. Під час війни багато людей перебувають у стані стресу, але не кожен стрес, навіть сильний і хронічний, призводить до розвитку психологічної травми. Роботодавці повинні забезпечити доступ до психологічної підтримки та консультування, а також створити відповідні програми для підтримки психологічного здоров'я працівників. Забезпечення відповідного балансу між часом на роботу та часом на відпочинок є важливим сприятливим чинником для психічного благополуччя. Роботодавці повинні створити робоче середовище, що сприяє зниженню стресу, наприклад, установлюючи посилені вимоги до результатів праці та забезпечуючи ефективний відпочинок працівників.

Задоволення від робочих відносин та підтримка колег можуть бути важливими чинниками для збереження психічного здоров'я. Роботодавці можуть сприяти соціальній підтримці, стимулюючи командну роботу, організовуючи спільні заходи й створюючи можливості для обміну думками та спілкування. Загалом, роботодавці повинні приділяти увагу психічному благополуччю своїх співробітників, постійно оцінювати робочу атмосферу й вживати заходів для забезпечення психічного здоров'я на робочому місці.

Роботодавець відповідно до «Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці», затверджених наказом Міністерства соціальної політики України від 29.11.2018 № 1804, на роботах зі шкідливими та небезпечними умовами праці, а також роботах, що пов'язані із забрудненням, або тих, що здійснюються в несприятливих метеорологічних умовах, забезпечує засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) працівників, як у воєнний стан, так і в мирні часи. Працівники забезпечуються безоплатно спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту за встановленими нормами, які для роботодавця є обов'язковим мінімумом безоплатної видачі ЗІЗ, з визначенням захисних властивостей ЗІЗ та термінів їх використання.

Аналізуючи літературні дані бачу, що до законодавства не вносили змін, що передбачали б забезпечення роботодавцем використання спеціальних засобів колективного та індивідуального захисту на період воєнного стану в Україні, введеного в дію Указом Президента України від 24.02.2022 № 64/2022. Сьогоднішня ситуація, враховуючи високі ризики для працівників, які пов'язані з російською агресією, стимулює роботодавців додатково, понад встановлені норми, видавати спеціальні засоби індивідуального захисту, зокрема, захисні каски, бронежилети, протигази та інші ЗІЗ. Військові дії порушують логістичні шляхи постачання ЗІЗ тому роботодавець повинен подбати про створення резервного фонду спецодегу та ЗІЗ заздалегідь.

З початком повномасштабного вторгнення росії Держпраці зосередилась на консультуванні та наданні допомоги в організації безпечного процесу трудової діяльності з метою збереження та зміцнення економіки України. Для зменшення наслідків небезпечних подій під час воєнного стану, Держпраці розробила для роботодавців та працівників методичні рекомендації щодо основних вимог безпеки, механізми виконання робіт під час діяльності суб'єктів господарювання в умовах воєнного стану. Небезпеки, які виникають в умовах воєнних дій, вимагають впровадження нових механізмів управління, що дають можливість, скажімо, віддалено ухвалювати першочергові рішення з урахуванням тих викликів, які перед бізнесом висуває російська агресія та пов'язані з нею обмеження.

Небезпечна ситуація в деяких регіонах призвела до зупинки роботи, але навіть у зачинених приміщеннях залишилися станки, меблі, техніка, документи та вже готова продукція. Усе це можуть пошкодити обстріли.



Для власника процес перевезення важкий, адже пов'язаний з багатьма складнощами, що не так просто подолати. Держава також зацікавлена у збереженні бізнесу в країні та розвитку підприємств. Саме тому сьогодні в Україні функціонує програма релокації бізнесу. Фактично релокація – це перевезення потужностей підприємства на нове місце.

Державна програма сприяє полегшенню процесу переміщення об'єктів господарювання, а в деяких випадках компенсує пов'язані з ним фінансові витрати. Існує декілька варіантів релокації: повне переміщення, при якому перевозять не лише обладнання, а й працівників; часткова релокація, у цьому випадку переміщують лише першочергові потужності підприємства. Іншим механізмом релокації є самостійна релокація: в окремих регіонах передбачена фінансова допомога для підприємців, що перевезли власні об'єкти господарювання. Такі ініціативи зі сторони держави дозволяють зберегти можливість працювати, створювати робочі місця та підтримувати економіку країни до перемоги.

Держпраці надає консультативну підтримку релокованим підприємствам, створено окремі підрозділи для консультування роботодавців та працівників (в т. ч. онлайн), розроблено інтерактивний вебпортал, де розміщена довідково-консультативна інформація для підтримки роботодавців щодо створення безпечних та здорових умов праці на виробництві.

У межах даного проєкту усім об'єктам господарювання, що мають потреби і бажають, швидко адаптуватися у новому регіоні, інспектори праці в межах їхньої компетенції надають фаховий консультативний супровід з широкого спектра питань: від оплати праці, переведення, оголошення простою, звільнення, обліку робочого часу до організації безпечного здійснення робіт, створення безпечних та здорових умов праці, надання адміністративних послуг тощо. Це лише декілька актуальних питань безпеки праці під час війни, і розуміння специфічних умов та потреб робочого місця є важливим для прийняття адекватних заходів безпеки.

#### Висновки

Забезпечення безпеки праці, створення комфортних умов праці та захист працівників є обов'язком кожного роботодавця. Роботодавці мають приділяти особливу увагу попередженню можливих загроз та ідентифікації ризиків небезпек, які можуть виникнути внаслідок війни. Розробляти та впроваджувати план ліквідації надзвичайних ситуацій, що є важливим кроком для гарантування безпеки працівників. Іншим ефективним методом є постійне вдосконалення фахового рівня працівників. Працівники повинні проходити навчання з питань охорони праці та пожежної безпеки. В часі війни це може включати спеціальне навчання щодо евакуації, що передбачає практичне відпрацювання заходів щодо реагування на надзвичайні ситуації та проведення евакуації працівників.

Важливо приділяти увагу запобіганню травмам та їх мінімізації в умовах війни. Роботодавці повинні періодично переглядати та оновлювати свої плани охорони праці згідно зі змінами законодавства України та обстановкою військового конфлікту. Це допоможе забезпечити відповідність найновішим стандартам та розробити ефективні заходи безпеки. Охорона праці в часі війни є незвичайно складною задачею, але з мобілізацією відповідних ресурсів, навчання та обізнаністю вона може бути успішною. Вирішення проблем охорони праці є важливим завданням для забезпечення безпеки і добробуту працівників, навіть у найнебезпечніших умовах.

#### Список використаної літератури

1. Ковальчук В. Трудові відносини під час війни: аналіз норм надзвичайного трудового законодавства України. URL: [http://fes.kiev.ua/n/cms/fileadmin/upload2/Trudovi\\_vidnosini\\_2022.pdf](http://fes.kiev.ua/n/cms/fileadmin/upload2/Trudovi_vidnosini_2022.pdf). (дата звернення: 26.11.2023).
2. Про організацію трудових відносин в умовах воєнного стану: Закон України: від 01.07.2022 № 2352-IX (поточна редакція – 19.07.2022) – [електронний ресурс]. – режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua>. (дата звернення: 26.11.2023).
3. Siekkanowski Z. Rodzaje i źródła zagrożeń bezpieczeństwa. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*. № 1. 2010. Ss. 27–46.
4. Головач Н. В., Лапицька Н. І. Охорона праці медичних працівників України в період військового стану: проблеми безпеки праці та умов праці. *Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Економічні науки*. 2022. № 4 (67). С. 16–21. DOI: <https://doi.org/10.32689/2523-4536/67-3>
5. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення / Київська Школа Економіки (KSE). 2023, берез. URL: [https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR\\_Feb23\\_FINAL\\_Damages-Report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report.pdf) (дата звернення: 26.11.2023).
6. «Наше громадянське суспільство усвідомлює свою спроможність докорінно змінити подальшу історію України». Коментарі академіка Елли Лібанової (Інститут демографії та соціальних досліджень імені М. В. Птухи НАН України) «5 каналів» / НАН України: офіц. сайт. 2022. 14 квіт. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8955> (дата звернення: 26.11.2023).
7. Wasiuta O., Wasiuta S. *Wojna hybrydowa Rosji przeciwko Ukrainie*, Wydawnictwo «Arcana», Kraków. 2017. Ss. 424.

8. Прокоф'єва Л. Психологічна модель ПТСР та особливості корекції в умовах воєнного стану. *Науковий вісник Ізмаїльського державного гуманітарного університету*. № 57. 2022. С. 110–120.

9. Гуменюк Л.Й., Федчук О.В. Дослідження посттравматичного стресового розладу і напрямків психореабілітації постраждалих від воєнних психотравм. *Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ*. № 1. 2016. С. 228–239.

#### References

1. Koval'chuk V. (2022) Trudovi vidnosyny pid chas viny: analiz norm nadzvyčajnoho trudovoho zakonodavstva Ukrainy [Labor relations during the war: an analysis of the norms of emergency labor legislation. of Ukraine]. URL: [http://fes.kiev.ua/n/cms/fileadmin/upload2/Trudovi\\_vidnosini\\_2022.pdf](http://fes.kiev.ua/n/cms/fileadmin/upload2/Trudovi_vidnosini_2022.pdf) (accessed: 26.11.2023).

2. Pro orhanizatsiiu trudovykh vidnosyn v umovakh voiennoho stanu: Zakon Ukrainy [On the organization of labor relations under martial law: Law of Ukraine] : vid 01.07.2022 № 2352-IX (potochna redaktsiia – 19.07.2022) – [elektronnyj resurs]. rezhym dostupu : <http://zakon5.rada.gov.ua>. (accessed: 26.11.2023).

3. Siekanowski Z. (2010) Rodzaje i źródła zagrożeń bezpieczeństwa [Types and sources of security threats]. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*. no 1. S. 27–46.

4. Holovach N. V., Lapyts'ka N. I. (2022) Okhorona pratsi medychnykh pratsivnykiv Ukrainy v period vijs'kovoho stanu : problemy bezpeky pratsi ta umov pratsi [Labor protection of medical workers of Ukraine during the period of martial law: problems of labor safety and working conditions]. *Naukovi pratsi Mizhrehional'noi Akademii upravlinnia personalom. Ekonomichni nauky*. no 4, vol. 67, pp. 16–21.

5. Kyivs'ka Shkola Ekonomiky (KSE). (2023) Zvit pro priami zbytky infrastruktury vid rujnuvan' vnaslidok vijs'kovoї ahresii rosii proty Ukrainy za rik vid pochatku povnomasshtabnoho vtorhennia [Report on the direct damage to the infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine a year after the start of the full-scale invasion] URL: [https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR\\_Feb23\\_FINAL\\_Damages-Report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report.pdf) (accessed: 26.11.2023).

6. NAN Ukrainy (2022) Nashe hromadians'ke suspil'stvo usvidomylo svoju spromozhnist' dokorinno zminyty podal'shu istoriiu Ukrainy [Our civil society realized its ability to fundamentally change the future history of Ukraine]. Komentari akademika Elly Libanovoi (Instytut demografii ta sotsial'nykh dosli-dzhen' imeni M. V. Ptukhy NAN Ukrainy) «5 kanalovi» / URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8955> (accessed: 26.11.2023).

7. Wasiuta O., Wasiuta S. (2017) *Wojna hybrydowa Rosji przeciwko Ukrainie* [Russia's hybrid war against Ukraine]. Wydawnictwo «Arcana» : Kraków 2017. S. 424. [in Poland]

8. Prokof'ieva L. (2022). Psykholohichna model' PTSR ta osoblyvosti korektsii v umovakh voiennoho stanu [Psychological model of PTSD and features of correction in the conditions of martial law] *Naukovyj visnyk Izmail's'koho derzhavnoho humanitarnoho universytetu*. no 57, pp. 110–120.

9. Humeniuk L. J., Fedchuk O.V. (2016) Doslidzhennia posttravmatychnoho stresovoho rozladu i napriamkiv psykhereabilitatsii postrazhdal'nykh vid voiennykh psykhotravm [Study of post-traumatic stress disorder and directions of psycho-rehabilitation of war trauma victims] *Naukovyj visnyk L'viv's'koho derzhavnoho universytetu vnutrishnikh sprav*. no 1, pp. 228–239.

С. М. КВАША

доктор економічних наук, професор,  
академік Національної академії аграрних наук,  
проректор з науково-педагогічної роботи  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID: 0000-0001-7448-0543

В. Л. ВАКУЛЕНКО

кандидат економічних наук,  
доцент кафедри менеджменту імені професора Й. С. Завадського,  
завідувач відділу аспірантури  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID: 0000-0001-7019-1832

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

*Дослідження присвячено актуальному на разі питанню продовольчої безпеки. Питання продовольчої безпеки, як глобальної проблеми, закріплено у Глобальних цілях сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй до 2030 року, що визначає важливість даної проблеми для кожної країни. Об'єктом дослідження є проблема продовольчої безпеки, як складова національної безпеки кожної держави. Предметом дослідження виступають окремі аспекти проблеми продовольчої безпеки, а саме – її регулювання у межах ООН, її аналіз та оцінка, а також проблема продовольчої безпеки в Україні.*

*Мета дослідження полягає у проведенні комплексного аналізу питання продовольчої безпеки. Спершу було проаналізовано особливості регулювання питання продовольчої безпеки згідно з Глобальними цілями ООН, а також визначено їх вплив на забезпечення продовольчої безпеки. Було встановлено, що актуальною проблемою забезпечення продовольчої безпеки є голод, який є глобальною проблемою і прояви якого зростають з кожним роком. Окрім цього, було визначено основні Глобальні цілі ООН до 2030 року та встановлено місце продовольчої безпеки у даних цілях. Було визначено основні дії, які здійснює ООН з метою забезпечення продовольчої безпеки. Важливою частиною було здійснення оцінки та аналізу індексів продовольчої безпеки. Вагомим індексом є Глобальний індекс продовольчої безпеки, що визначає Продовольча та сільськогосподарська організація.*

*Було визначено основні складові індексу, країни-лідери за даним показником та країни, які мають найнижчий індекс. Окрім цього, було встановлено основні причини негативного стану продовольчої безпеки у світі. Також було досліджено питання законодавчого регулювання продовольчої безпеки в Україні та стан споживчого кошика українців. Проведений аналіз дозволив визначити наявні проблеми законодавчого регулювання, склад споживчого кошику та актуальні проблеми, що характеризують його стан на сучасному рівні. Окрім цього, було визначено основні проблеми, що стають причиною негативного рівня продовольчої безпеки в Україні. Отримані результати засвідчують необхідність запровадження дієвих заходів з метою покращення стану продовольчої безпеки на глобальному рівні та в Україні.*

**Ключові слова:** продовольча безпека, Глобальні цілі сталого розвитку ООН, Глобальний індекс продовольчої безпеки, Продовольча та сільськогосподарська організація ООН, продовольчий кошик.

S. M. KVASHA

Doctor of Economic Sciences, Professor,  
Academician of the National Academy of Agricultural Sciences,  
Vice-Rector for Scientific and Educational Activities and Development  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID: 0000-0001-7448-0543

V. L. VAKULENKO

PhD in Economics,  
Associate Professor at the Department of Management named  
after Professor J. S. Zavadskyi, Head of Postgraduate Department  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID: 0000-0001-7019-1832

## THEORETICAL FOUNDATIONS OF FOOD SECURITY IN THE MODERN WORLD

*The study is devoted to the issue of food security, which is currently relevant. The issue of food security as a global problem is enshrined in the United Nations Global Sustainable Development Goals until 2030, which determines the importance of this problem for each country. The object of the study is the problem of food security as a component of the national security of each state. The subject of the study is certain aspects of the problem of food security, namely, its regulation within the UN, its analysis and evaluation, as well as the problem of food security in Ukraine. The purpose of the study is to conduct a comprehensive analysis of food security. First, the peculiarities of regulating food security in accordance with the UN Global Goals were analyzed, and their impact on food security was determined. It was found that the most pressing problem of food security is hunger, which is a global problem and whose manifestations are increasing every year. In addition, the main UN Global Goals by 2030 were identified and the place of food security in these goals was established. The main actions taken by the UN to ensure food security were identified. An important part was the assessment and analysis of food security indices. An important index is the Global Food Security Index, which is determined by the Food and Agriculture Organization. The main components of the index, the leading countries by this indicator and the countries with the lowest index were identified. In addition, the main reasons for the negative state of food security in the world were identified. The study also examined the issues of legislative regulation of food security in Ukraine and the state of the Ukrainian consumer basket. The analysis made it possible to identify the existing problems of legislative regulation, the composition of the consumer basket and the current problems that characterize its state at the current level. In addition, the main problems that cause a negative level of food security in Ukraine were identified. The results obtained demonstrate the need to introduce effective measures to improve food security at the global level and in Ukraine.*

**Key words:** food security, UN Global Sustainable Development Goals, Global Food Security Index, Food and Agriculture Organization of the United Nations, food basket.

### Постановка проблеми

Питання забезпечення людства якісними продуктами харчування у достатній кількості є особливо актуальним. Основні положення даного питання окреслені у Глобальних цілях сталого розвитку ООН, що підкреслює необхідність вирішення питань, пов'язаних з достатнім доступом громадян до якісних продуктів харчування, що є важливою умовою сталого розвитку держави. Наразі глобальною є проблема голоду, що є наслідком негативного доступу до продуктів харчування у багатьох країнах світу, насамперед країнах, що розвиваються. Окрім цього, проблеми доступу до продуктів харчування спостерігаються і у розвинених країнах, причинами чого є стрімке зростання чисельності населення світу, погіршення кліматичних умов, забруднення довкілля внаслідок господарської діяльності людини, негативна економічна ситуація у багатьох країнах світу. Усе це негативно впливає на стан продовольчої безпеки держави, що визначає належний доступ громадян до продуктів харчування. Наразі стан продовольчої безпеки, з огляду на наявні проблеми, є негативним, внаслідок чого дане питання на сьогодні є глобальною проблемою, яка потребує вирішення як на глобальному, так і на локальному рівні. Враховуючи усе це, актуальним є вивчення питання продовольчої безпеки, як важливої умови розвитку держави та складової її національної безпеки.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання продовольчої безпеки є одним із важливих питань багатьох сучасних досліджень. До питання продовольчої безпеки звертається чимала кількість українських та закордонних дослідників. Так, Г. Н. Алішов визначає продовольчу безпеку, як «ступінь забезпеченості населення країни екологічно чистими і корисними для здоров'я продуктами харчування вітчизняного виробництва за науково-обґрунтованими нормами і доступними цінами при збереженні і поліпшенні середовища проживання» [1]. Окрім цього, у дослідженні З. Б. Живко, Н. Б. Даниленко та М. Є. Стадник звертається увага на те, що продовольча безпека полягає у здатності держави гарантувати населенню країни доступність, якість та безпеку харчових продуктів, доступ до питної води та інших харчових потреб, які забезпечують фізичний та інтелектуальний розвиток особи, а також сприяють забезпеченню стабільної соціально-політичної ситуації в країні та її економічного розвитку [2]. Також дослідники звертаються до питань продовольчої безпеки, як важливого елементу економічної і національної безпеки. І. О. Іртишева, Л. П. Рогатіна та О. С. Ільницька у своєму дослідженні розглядають особливості Глобального індексу продовольчої безпеки, як основного показника продовольчої безпеки країни [3]. Окрім цього, О. А. Шевченко розглядає важливість продовольчої безпеки з урахуванням Цілей сталого розвитку ООН та нормативно-правового регулювання продовольчої безпеки в Україні [4]. До питань продовольчої безпеки України звертається також Г. М. Колісник, розглядаючи дану проблему з економічної точки зору. Аналіз останніх досліджень доводить, що дана тема наразі є поширеною серед українських та закордонних авторів, однак, враховуючи актуальність даної проблеми на глобальному та державному рівні існує необхідність проведення детального дослідження питання продовольчої безпеки [5].

### Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження виступає проблема продовольчої безпеки, як складова національної безпеки кожної держави. Предметом дослідження виступають окремі аспекти проблеми продовольчої безпеки, а саме – її регулювання у межах ООН, її аналіз та оцінка, а також проблема продовольчої безпеки в Україні.

### Формулювання мети дослідження

Отже, мета дослідження полягає у проведенні комплексного аналізу теоретичних та прикладних питань проблеми продовольчої безпеки, визначивши особливості її регулювання на міжнародному рівні, особливості оцінки та особливості нормативно-правового регулювання і загального сучасного стану в Україні.

### Методи дослідження

Всебічний аналіз обраної теми був можливим завдяки проведенню детального аналізу актуальних наукових та статистичних джерел інформації, праць українських та закордонних авторів. Основним методом дослідження став метод аналізу, який було використано для проведення комплексного аналізу наукових досліджень обраного питання. Українські та закордонні джерела, які склали основу даного дослідження, слугували джерелом для отримання достовірної інформації щодо теоретичних та прикладних аспектів питання продовольчої безпеки. Окрім цього, було використано метод аналізу статистичних даних для оцінки показників індексу продовольчої безпеки. Важливим теоретичним методом дослідження слугував метод синтезу, що дозволив виділити найбільш вагомні аспекти проаналізованих досліджень. Дослідження було проведено із використанням комплексу методів, що дозволило провести детальний аналіз обраного питання на основі теоретичних досліджень, статистичних даних та нормативно-правових актів, що регулюють питання продовольчої безпеки.

### Викладення основного матеріалу дослідження

#### 1. Глобальні цілі ООН та їх вплив на забезпечення продовольчої безпеки

На сьогоднішній день, як відомо, питання продовольчої безпеки є актуальним для українських та закордонних дослідників. Окрім цього, питання продовольчої безпеки є важливим на глобальному рівні з огляду на те, що продовольча безпека полягає у забезпеченні якісними харчовими продуктами і доступу до них, що є умовою повноцінного розвитку держави, оптимального рівня якості життя населення та його добробуту тощо, продовольча безпека на сьогодні є важливим питанням міжнародних відносин, а вирішення даної проблеми здійснюють як окремі держави, так і міжнародні організації.

З огляду на це, зазначимо, що важливу роль у регулюванні питання продовольчої безпеки здійснює Організація Об'єднаних Націй (ООН). Діяльність міжнародної організації, членами якої є 193 країни світу, спрямована на вирішення актуальних глобальних проблем, однією з яких є саме проблема продовольчої безпеки. Важливо підкреслити, що актуальною наразі для багатьох держав, що розвивається, є проблема голоду, оскільки громадяни не мають доступу до достатньої кількості продуктів харчування. Внаслідок цього відбувається погіршення продовольчої безпеки країни, а, отже, її соціально-політичне становище є негативним. Голод на сьогодні є глобальною проблемою, яка негативно впливає на продовольчу безпеку, оскільки є проявом неадекватної продовольчої безпеки країни [6].

Спираючись на актуальні статистичні дані, графічно представимо прояви проблеми голоду на глобальному рівні, згідно з даними Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO) (Рис. 1).



Рис. 1. Кількість людей, що недоїдає, млн (2013–2022) [7]

Згідно з цим, зазначимо, що з 2019 року кількість людей, що недоїдає, стабільно збільшується, що негативно впливає на стан продовольчої безпеки. Причинами цього зазначають глобальні зміни клімату, що призводить до зниження продуктивності сільського господарства, та локальні військові конфлікти, які погіршують доступ до продуктів харчування.

Враховуючи дані, відображені на Рис. 1, варто зазначити, що на сьогодні проблемним є забезпечення продовольчої безпеки усіх країн світу, оскільки наявність різних природних умов, різного рівня економічного розвитку та соціально-політичної ситуації стають причинами погіршення стану продовольчої безпеки. Дана проблема зумовлює необхідність прийняття дієвих рішень, які сприятимуть її вирішенню. З огляду на це, на глобальному рівні важливу роль у контексті регулювання продовольчої безпеки здійснює Організація Об'єднаних Націй за допомогою створення Цілей сталого розвитку 2030, які визначають сталий розвиток держав до 2030 року, що дасть можливість подолати наявні глобальні проблеми [8].

Таким чином, зазначимо наступні Цілі сталого розвитку ООН:

- Подолання бідності;
- Подолання голоду, розвиток сільського господарства;
- Міцне здоров'я і благополуччя;
- Якісна освіта;
- Гендерна рівність;
- Чиста вода та належні санітарні умови;
- Доступна та чиста енергія;
- Гідна праця та економічне зростання;
- Промисловість, інновації та інфраструктура тощо.

Розглянувши Цілі сталого розвитку, зазначимо, що ООН закріпила проблему харчової безпеки у складі однієї з головних цілей сталого розвитку, а саме – подолання голоду, розвиток сільського господарства. Дана Ціль передбачає наступне:

- Забезпечення доступності збалансованого харчування для усіх верств населення на рівні науково обґрунтованих норм;
- Підвищення продуктивності сільського господарства вдвічі, що дозволить збільшити виробництво продуктів харчування;
- Забезпечення створення стійких систем виробництва продуктів харчування, що буде сприяти збереженню екосистем та покращенню якості земель і ґрунтів;
- Зниження волатильності цін на продукти харчування.

Окрім цього, є інше трактування Цілі 2 Сталого розвитку, а саме – «Ціль 2: Покінчити з голодом, забезпечити продовольчу безпеку і поліпшення харчування і сприяти сталому розвитку сільського господарства». Відповідно, зазначимо, що Цілі сталого розвитку ООН визначають забезпечення продовольчої безпеки однією з важливих Цілей, досягнення якої позитивно впливатиме на розвиток людства в цілому. Усе це зумовлено тим, що на початку другого десятиліття XXI ст. голод досі залишається актуальною проблемою у багатьох країнах, насамперед – країнах Африки, Азії (Близького Сходу та Південно-Східної Азії), Латинської Америки та Карибського басейну [9]. Причини голоду, за даними Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (FAO) є:

- Військові конфлікти;
- Негативна кліматична ситуація, спричинена глобальними змінами клімату;
- Економічна рецесія, спад виробництва, що сприяє зростанню ризиків виникнення голоду.

Таким чином, зазначимо, що глобальні цілі ООН (Цілі сталого розвитку) відіграють станом на сьогодні провідну роль у контексті забезпечення продовольчої безпеки у країнах світу. Діяльність ООН спрямована на покращення доступу до продуктів харчування у країнах, що розвиваються, наданням гуманітарної допомоги, покращенням стану виробництва продуктів харчування шляхом модернізації сільського господарства на глобальному рівні.

## **2. Оцінка та аналіз індексів продовольчої безпеки**

Важливим питанням дослідження теорії продовольчої безпеки зазначимо проведення оцінки та аналізу індексів продовольчої безпеки, визначення яких дає можливість отримати достовірні дані про стан продовольчої безпеки країн світу. Вимірювання стану продовольчої безпеки на глобальному рівні здійснюється Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН. Для цього було створено глобальну еталонну шкалу «Шкала досвіду продовольчої безпеки» (Food Insecurity Experience Scale, FIES), що на сьогодні є основою для вимірювання індексів продовольчої безпеки [10]. Окрім цього, для оцінки продовольчої безпеки здійснюється вимірювання Глобального індексу продовольчої безпеки (Global Food Security Index), який розглядає питання доступності, наявності та якості продуктів харчування. Це динамічна кількісна та якісна модель порівняльного аналізу, побудована з 34 унікальних показників, що вимірює ці фактори продовольчої безпеки як у країнах, що розвиваються, так і в розвинених. Мета Глобального індексу продовольчої безпеки полягає у проведенні оцінки того, які країни є найбільш і найменш вразливими до продовольчої безпеки за такими категоріями, як доступність, наявність, якість та безпека [11].

Окрім цього, визначаються чотири основні питання, які розглядаються у контексті Глобального індексу продовольчої безпеки [12]:

- Доступність (доступність за ціною);
- Наявність (фізична доступність);

- Якість та безпека продуктів харчування;
- Сталість та адаптація галузей, що здійснюють виробництво продуктів харчування.

Оцінка Глобального індексу продовольчої безпеки здійснюється щороку, що дає можливість встановити стан продовольчої безпеки у країнах світу.

З огляду на це, проведемо аналіз Глобального індексу продовольчої безпеки станом на 2022 рік. Для цього спершу розглянемо Глобальний індекс продовольчої безпеки країн, що мають найвищий показник. Отримані результати представлено у Таблиці 1.

Таблиця 1

Глобальний індекс продовольчої безпеки, 2022 (країни-лідери) [13]

Країна	Загальний показник	Доступність	Наявність	Якість та безпека	Сталість та адаптація
1. Фінляндія	83,7	91,9	70,5	88,4	82,6
2. Ірландія	81,7	92,6	70,5	86,1	75,1
3. Норвегія	80,5	87,2	60,4	86,8	87,4
4. Франція	80,2	91,3	69,0	87,7	70,3
5. Нідерланди	80,1	92,7	70,7	84,7	69,2
6. Японія	79,5	89,8	81,2	77,4	66,1
7. Швеція	79,1	91,9	68,3	85,0	68,3
7. Канада	79,1	88,3	75,7	89,5	60,1
9. Великобританія	78,8	91,5	71,6	77,6	71,1
10. Португалія	78,7	90,0	77,0	79,8	64,5

Отже, станом на 2022 рік лідерами за Глобальним індексом продовольчої безпеки є: Фінляндія, Ірландія, Норвегія, Франція, Нідерланди, Японія, Швеція, Канада, Великобританія, Португалія. Країни мають достатній рівень доступності, наявності, якості та безпеки, сталість та адаптація. Відповідно, стан продовольчої безпеки у цих країнах – на високому рівні [13].

Окрім цього, згідно з Глобальним індексом продовольчої безпеки визначимо перелік країн, які мають нестачу продуктів харчування та низький рівень продовольчої безпеки. Станом на 2022 рік це такі країни, як: Сирія, Ємен, Малі, Ефіопія, Камерун, Південний Судан, Чад, Нігер, Кенія, Афганістан. При цьому зазначимо, що абсолютна більшість країн, що мають низький рівень продовольчої безпеки, є країнами Африки, менша частка – країни Близького Сходу. Основними причинами низького рівня продовольчої безпеки є локальні військові конфлікти, низький рівень економічного розвитку та якості життя населення, непридатні природні умови для вирощування харчових продуктів [14].

Також звернемо увагу на карту, на якій способом якісного фону зображено Глобальний індекс продовольчої безпеки за загальним результатом станом на 2022 рік (Рис. 2).



Рис. 2. Індекс продовольчої безпеки за загальним балом [14]

Згідно з даною картою ми бачимо, що стан продовольчої безпеки є найбільш негативним у країнах Африки та Близького Сходу, дещо кращою є ситуація у країнах Південної і Південно-Східної Азії, а також країнах Латинської Америки і Карибського регіону. Країни Європи, Австралія і Нова Зеландія, США, Канада, Японія та Китай мають високий рівень продовольчої безпеки порівняно з іншими країнами. Це зумовлено стабільною соціально-політичною ситуацією у регіоні, наявністю фінансової та фізичної доступності до якісних продуктів харчування у достатній кількості, що позитивно впливає на стан продовольчої безпеки у країнах.

З огляду на це, основним індексом, за допомогою якого здійснюється оцінка стану продовольчої безпеки країн світу, є Глобальний індекс продовольчої безпеки, що визначається за 34 показниками та включає в себе чотири основні складові. Глобальний індекс продовольчої безпеки дозволяє отримати релевантні дані про стан продовольчої безпеки у країні, встановити наявні проблеми та визначити ймовірні шляхи їх подолання.

### 3. Законодавство України щодо продовольчої безпеки та склад продовольчого кошика

Продовольча безпека є актуальним питанням і для України. Зауважимо, що за останні роки стан продовольчої безпеки в Україні є незадовільним, причиною чого виступає негативна економічна ситуація в країні, зумовлена кризою та іншими проблемами економічного і соціального характеру, що виникли внаслідок військових дій. Питання продовольчої безпеки досліджуються як науковцями, так і визначаються у законодавстві України. З огляду на це, зауважимо, що законодавче регулювання питання продовольчої безпеки України наразі має низку проблем. Насамперед, регулювання з боку законодавства здійснюється за допомогою Основного закону – Конституції України, яка регламентує права українців на доступ до інформації про якість харчових продуктів [15]. Також питання продовольчої безпеки окреслено у Законі України «Про державну підтримку сільського господарства України», де вона визначається, як захищеність життєвих інтересів людини, яка виражається у гарантуванні державою безперешкодного економічного доступу людини до продуктів харчування з метою підтримання її звичайної життєвої діяльності [16].

Окрім цього, у минулому було прийнято наступні закони:

- Закон України «Про продовольчу безпеку України», який був ухвалений у 2011 році. Він передбачав правові, економічні й організаційні основи діяльності держави, спрямованої на захист національних інтересів і гарантування в Україні продовольчої безпеки. Однак, після ухвалення Верховною Радою України даний закон було повернуто з пропозиціями президента України, тобто на нього було накладено право вето.

- Окрім цього, питання продовольчої безпеки України було окреслено у Законі України «Про основи національної безпеки України» від 19 червня 2003 року, який на сьогодні втратив чинність.

З огляду на це, зазначимо, що правове забезпечення продовольчої безпеки в Україні сьогодні характеризується низкою проблем, оскільки наразі відсутній закон, який би регулював у повній мірі питання продовольчої безпеки. Разом з тим, прийняття універсального закону про продовольчу безпеку не гарантує регулювання усього кола відносин, які виникають у контексті продовольчої безпеки, оскільки, як зазначає В. Р. Шишлюк, «за своїм призначенням він повинен стати останньою ланкою, яка завершує правову ієрархію нормативно-правових актів у цій сфері та за допомогою якої реалізується мета правового забезпечення продовольчої безпеки України». Відповідно, питання регулювання продовольчої безпеки на державному рівні і досі залишається невирішеним [17].

Підкреслимо, що у 2022 році було ухвалено Закон України про продовольчу безпеку в умовах воєнного стану – Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення умов для забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану», який набув чинності 7 квітня 2022 року [18]. Даний закон регулює питання, пов'язані з виробництвом продуктів харчування, зокрема – спрощує набуття права користування на земельні ділянки сільськогосподарського призначення в умовах воєнного стану. Дане питання є важливим аспектом продовольчої безпеки держави, оскільки таким чином спрощується також процес вирощування сільськогосподарської продукції та її подальшого збуту, що позитивно впливає на продовольчу безпеку держави в умовах воєнного стану. Однак, зауважимо, що універсального закону, що регулює питання продовольчої безпеки України, немає, також існують проблеми, пов'язані з комплексним регулюванням питання продовольчої безпеки від вирощування продукції до її подальшої переробки і збуту. Як наслідок, продовольча безпека України на сьогоднішній день перебуває у негативному стані, причиною чого є не лише загальна соціально-політична ситуація в країні, але й недостатнє правове регулювання відносин, що сприяють формуванню продовольчої безпеки [19].

Спираючись на дані Індексу глобальної продовольчої безпеки, звернемо увагу на те, як за останні роки змінювались показники продовольчої безпеки України (Рис. 3).

Згідно з даними, відображеними на графіку, зазначимо, що загальний стан продовольчої безпеки України є негативним впродовж останніх 10 років. За цей період Індекс продовольчої безпеки був найвищим у 2021 році, однак внаслідок війни він зменшився на понад 4%. Окрім цього, протягом останніх 10 років показник індексу періодично зменшувався, причиною чого була загальна ситуація в Україні, а також недостатнє виробництво продуктів харчування, що було зумовлено негативною ситуацією з врожаєм [20]. Відповідно, серед причин, що впливають на стан продовольчої безпеки України, що відображаються на значенні індексу, визначимо наступні:

- Загальна негативна соціально-політична ситуація в Україні;



- Військові дії (війна на Сході України, а після – повномасштабне російське вторгнення);
- Негативна економічна ситуація, що негативно впливає на доступ українців до продуктів харчування;
- Кліматичні умови, які стають причиною погіршення стану врожаю, який збирають українські аграрії.



**Рис. 3. Індекс глобальної продовольчої безпеки України, 2013–2022, %**

Окрім цього, зазначимо, що окремим питанням продовольчої безпеки України наразі є питання продовольчого кошику та його складу. Згідно з визначенням, продовольчий кошик – це мінімальний набір найнеобхідніших для повноцінного життя людини продуктів харчування, товарів непродовольчої групи і різних послуг. До складу продовольчого кошику входять продукти та товари, які були спожиті людиною протягом місяця або року.

Зазначимо, що продовольчий кошик українців було затверджено у 2000 році, і з цього моменту склад споживчого кошику залишався незмінним. Проте, згідно з Законом України «Про прожитковий мінімум», склад продовольчого кошику має переглядатись кожні 5 років. Відповідно, зазначимо, що складовими продовольчого кошику українців є: хлібпродукти; крупи; овочі; м'ясо; риба; картопля; цукор; сіль; чай; кава. При цьому, згідно з дослідженнями, склад продовольчого кошику інших країн є більш різноманітним, окрім цього, більшою є кількість продуктів різних категорій, що передбачається на одну особу протягом встановленого періоду. Відповідно, склад продовольчого кошику та кількість продуктів харчування, зазначені у ньому, не задовольняють потреби українців, що також стає негативним чинником стану продовольчої безпеки.

Окрім цього, варто підкреслити, що негативно на продовольчу безпеку впливає не лише кількість продуктів, зазначених у продовольчому кошику, але й загальна вартість продовольчого кошику, що визначає фінансову доступність продуктів харчування та є одним із показників, який враховується під час оцінки Індексу глобальної продовольчої безпеки. Згідно з даними Мінфіну зазначимо динаміку змін цін на продовольчий кошик в Україні протягом останніх років (Рис. 4):

Згідно з даними, відображеними на графіку, зазначимо, що з 2019 по 2022 рік спостерігалось підвищення рівня цін на продовольчий кошик українців, причинами чого є:

- Збільшення рівня інфляції;
- Негативна економічна ситуація в країні;
- Ковід-19 та економічні наслідки пандемії;
- Військові дії, які стали причиною стрімкого зростання цін на продукти харчування.

Також зазначимо, що станом на 2023 рік вартість споживчого кошика стабілізувалась та стала меншою, порівняно з 2022 роком, однак вона досі залишається високою, що негативно впливає на стан продовольчої безпеки в Україні [22].

З огляду на це, зауважимо, що стан продовольчої безпеки в Україні на сьогоднішній день є негативним, що негативно впливає на рівень якості життя населення та рівень економічного розвитку держави. Тому наразі існує необхідність вдосконалення продовольчої безпеки шляхом покращення доступу до продуктів харчування, зниження цін, підвищення їх якості, а також шляхом вдосконалення законодавчого регулювання питання продовольчої безпеки в Україні [23].

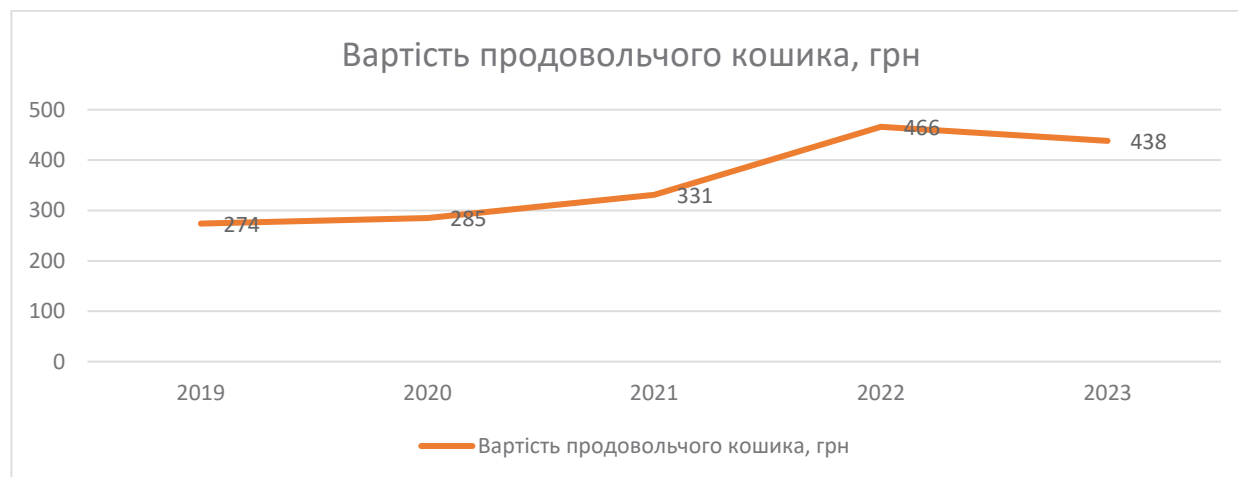


Рис. 4. Вартість продовольчого кошика в Україні: динаміка зміни цін за 2019–2023 рр. [21]

#### Перспективи подальших досліджень

Враховуючи важливість питання продовольчої безпеки на глобальному та локальному рівні, необхідним є проведення подальших досліджень, що дасть можливість у повній мірі визначити актуальний стан продовольчої безпеки, визначити причини, що погіршують стан продовольчої безпеки тощо. Окрім цього, враховуючи негативну динаміку голоду у світі, актуальним є проведення дослідження даної вузької теми, що дозволить встановити основні причини проблеми та шляхи її подолання. Разом з тим, важливим і перспективним є вивчення питання продовольчої безпеки України, насамперед, з огляду на наукове обґрунтування шляхів розв'язання даної проблеми у повоєнний період, оскільки під час війни стан продовольчої безпеки є негативним. Таким чином, наразі перспективним є проведення досліджень, спрямованих на дослідження окремих питань продовольчої безпеки України та глобального стану продовольчої безпеки.

#### Висновки

Отже, враховуючи вищезазначене, можна зробити висновки. Питання продовольчої безпеки на сьогодні регулюється на глобальному рівні. Основні питання забезпечення продовольчої безпеки окреслені у Цілях сталого розвитку ООН, що дає можливість вирішувати глобальні питання, пов'язані з продовольчою безпекою. Одним з найбільш актуальних питань є питання голоду, що на сьогодні має глобальний характер, а його динаміка є негативною, що свідчить про те, що забезпечення продовольчою безпекою країн світу наразі є ускладненим внаслідок впливу низки чинників. З огляду на це, ООН, як міжнародна організація, що вирішує гуманітарні проблеми, має сприяти вирішенню питань, пов'язаних з продовольчою безпекою та голодом, що негативно впливає на розвиток країн та стає причиною негативної соціально-політичної ситуації у світі в цілому.

Окрім цього, важливим джерелом оцінки стану продовольчої безпеки у світі є Глобальний індекс продовольчої безпеки, що щороку визначає Продовольча та сільськогосподарська організація ООН. Аналіз індексу свідчить про те, що найвищим він є у високорозвинених країнах світу, насамперед Європи та Північної Америки, які мають стабільно високий рівень економічного і соціального розвитку, не мають ускладненого доступу до продуктів харчування тощо. Разом з тим, найнижчим цей показник є у країнах, що розвиваються, насамперед Африки та Близького Сходу. Існує необхідність запровадження дієвих заходів, які допоможуть покращити стан продовольчої безпеки у цих країнах, насамперед заходи, спрямовані на подолання гуманітарної кризи та проблеми голоду.

Важливим питанням дослідження був аналіз законодавчого регулювання продовольчої безпеки України. Проведений аналіз свідчить про відсутність універсального закону, який має регулювати питання продовольчої безпеки, про відсутність інших законів, які б регулювали окремі аспекти даного питання. Окрім цього, наразі здійснюється вдосконалення державного законодавчого регулювання продовольчої безпеки в Україні, однак існуючі заходи не сприяють вирішенню даної проблеми. Наразі стан продовольчої безпеки в Україні, згідно з Глобальним індексом продовольчої безпеки, є негативним, основною причиною чого є негативна економічна та соціально-політична ситуація в країні. Разом з тим, наразі негативним є стан продовольчого кошику українців, який містить обмежений перелік продуктів харчування, обмежену кількість порцій цих продуктів, а також високу вартість, яка зростає в умовах війни. Усе це дає можливість констатувати необхідність запровадження більш дієвих заходів, спрямованих на покращення стану продовольчої безпеки в Україні, насамперед заходи з законодавчого регулювання та покращення фінансового доступу українців до якісних продуктів харчування.

Таким чином, питання дослідження теорії продовольчої безпеки наразі є актуальним, оскільки стан продовольчої безпеки в Україні та світі наразі в цілому є негативним. Тому важливим є наукове обґрунтування заходів, що сприятимуть покращенню стану продовольчої безпеки, завдяки чому існує можливість підвищити рівень економічного розвитку держав та рівень добробуту населення.

## Список використаної літератури

1. Алішов, Г. Н. (2017). Продовольча безпека України та чинники, що формують її рівень. *Економіка та управління національним господарством*. 13, 164–168.
2. Живко, З. Б., Даниленко, Н. Б. & Стадник М. Є. (2019). Продовольча безпека України: теоретико-аналітичний огляд. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. 6, 15–23.
3. Іртищева, І. О., Рогатіна, Л. П. & Ільницька, О. С. (2020). Продовольча безпека – важливий елемент економічної та національної безпеки. *Агросвіт*. 22, 3–8.
4. Шевченко, О. А. (2021). Екологічна та продовольча безпека як складові забезпечення економічної безпеки України у стратегічному форматі. *Науковий вісник Ужгородського Національного Університету*. 68, 110–117.
5. Колісник, Г. М. (2015). Продовольча безпека України та особливості її розвитку. *Економіка та управління національним господарством*. 5 (115), 72–76.
6. Якименко, І. Л., Петрашко, Л. П., Димань, Т. М., Салавор, О. М., Шаповалов, Є. Б., Галабурда, М. А., Ничик, О. В. & Мартинюк, О. В. (2022). Стратегія сталого розвитку: Європейські горизонти
7. Hunger and food insecurity, URL: <https://www.fao.org/hunger/en/>
8. Цілі Сталого Розвитку: Україна. Національна доповідь. (2017). URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf>
9. Біла, С. О., Пилипенко, А. С. (2019). Пріоритети забезпечення продовольчої безпеки та вирішення проблеми голоду у світовому господарстві. *Стратегія розвитку України*. 2, 36–44.
10. Марина, А. С., Янковська, Я. Р. (2023). Дослідження стану глобальної продовольчої безпеки. *Економічний простір*. 184, 26–30.
11. The Global Food Security Index. URL: <https://www.unccd.int/resources/knowledge-sharing-system/global-food-security-index>
12. Global Food Security Index. (2022). URL: <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/>
13. Global Food Security Index. (2022). The GFSI website navigation guideю URL: [https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist\\_Impact\\_GFSI\\_2022\\_Website\\_Navigation\\_Guide\\_Sep\\_2022.pdf](https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist_Impact_GFSI_2022_Website_Navigation_Guide_Sep_2022.pdf)
14. Global Food Security Q2. (2022). URL: <https://www.dka.global/global-food-security-q2-2022>
15. Конституція України. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/constitution>
16. Закон України «Про державну підтримку сільського господарства України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1877-15>
17. Шишлюк, В. Р. (2021). Розвиток законодавства України у сфері забезпечення продовольчої безпеки після проголошення Незалежності України: проблеми й перспективи. *Південноукраїнський правничий часопис*. 3, Ч. 1, 8–14.
18. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення умов для забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-20#Text>
19. Пащенко, О. М. (2022). Проблеми правового забезпечення продовольчої безпеки в умовах воєнного стану. *Південноукраїнський правничий часопис*. 1–2, 283–291.
20. Палапа, Н. В., Дем'янюк, О. С. & Нагорняк, О. М. (2022). Продовольча безпека України: стан та актуальні питання сьогодення. *Агроекологічний журнал*. 2, 34–45.
21. Дьячкіна, А. (2023). Продуктовий кошик українця 2023: як змінились ціни на базові продукти. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/10/23/705764/>
22. Братінова М. (2023). Нова Спільна аграрна політика Європейського Союзу як цільовий орієнтир трансформації земельного законодавства України. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2, 104–113
23. Вакуленко В. (2018). Шляхи вдосконалення державного регулювання агровиробництва. *Економіка та управління національним господарством*. 110–115.

## References

1. Alishov, H. N. (2017). Prodovolcha bezpeka Ukrainy ta chynnyky, scho formuyut yii rivne [Food security of Ukraine and factors that form its level]. *Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom* [Economics and Management of the National Economy], no 13, 164–168. [in Ukrainian].
2. Zhyvko, Z. B., Danylenko, N. B. & Stadnyk, M. E. (2019). Prodovolcha bezpeka Ukrainy: teoretyko-analitychnyy ohlyad. [Food security of Ukraine: A theoretical and analytical review], *Scientific Notes of Vernadsky TNU* [Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho]. no 6, 15–23. [in Ukrainian].
3. Irtysheva, I. O., Rohatina, L. P. & Il'nyts'ka, O. S. (2020). Prodovolcha bezpeka – vazhlyvyi element ekonomichnoyi ta natsionalnoyi bezpeky. [Food security is an important element of economic and national security]. *Agrosvit*. [Agro world], no 22, 3–8. [in Ukrainian].

4. Shevchenko, O. A. (2021). Ekologichna ta prodovolcha bezpeka yak skladovi zabezpechennya ekonomichnoyi bezpeky Ukrainy u strachichnomu formati. [Environmental and food security as components of ensuring economic security of Ukraine in a strategic format]. *Naukovy visnyk Uzhhorodskoho Natsionalnoho Universytetu. [Scientific Bulletin of Uzhhorod National University]*. no 68, 110–117. [in Ukrainian].
5. Kolisnyk, H. M. (2015). Prodovolcha bezpeka Ukrainy ta osoblyvosti yii rozvytku. [Food security of Ukraine and features of its development]. *Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom. [Economics and management of the national economy]*. no 5 (115), 72–76. [in Ukrainian].
6. Yakymenko, I. L., Petrashko, L. P., Dyman, T. M., Salavor, O. M., Shapovalov, Ye. B., Halaburda, M. A., Nychyk, O. V. & Martyniuk, O. V. (2022). Stratehiia staloho rozvytku: Yevropeyski horizonty. [Strategy of sustainable development: European horizons].
7. Hunger and food insecurity, URL: <https://www.fao.org/hunger/en/> [in English].
8. Sustainable Development Goals: Ukraine. National report. (2017). [Tsili Staloho Rozvytku: Ukraina. Natsionalna dopovid]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/natsionalna-dopovid-csr-Ukrainy.pdf>.
9. Bila, S. O., & Pylypenko, A. S. (2019). Prioritety zabezpechennya prodovolchoyi bezpeky ta vyrishennia problemy holodu u svitovomu hospodarstvi. [Priorities for ensuring food security and solving the problem of hunger in the world economy]. *Stratehiia rozvytku Ukrainy. [Strategy of development of Ukraine]*, no 2, 36–44. [in Ukrainian].
10. Maryna, A. S., Yankovska, Ya. R. (2023). Doslidzhennia stanu hlobalnoyi prodovolchoyi bezpeky. [Research on the state of global food security]. *Ekonomichniy prostir. [Economic space]*. no 184, 26–30. [in Ukrainian].
11. The Global Food Security Index. Retrieved from <https://www.unccd.int/resources/knowledge-sharing-system/global-food-security-index>. [in English].
12. Global Food Security Index. (2022). Retrieved from <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/> [in English].
13. Global Food Security Index. (2022). The GFSI website navigation guide Retrieved from [https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist\\_Impact\\_GFSI\\_2022\\_Website\\_Navigation\\_Guide\\_Sep\\_2022.pdf](https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Economist_Impact_GFSI_2022_Website_Navigation_Guide_Sep_2022.pdf) [in English].
14. Global Food Security Q2. (2022). Retrieved from <https://www.dka.global/global-food-security-q2-2022> [in English].
15. Konstitucija Ukrainy [Constitution of Ukraine]. Retrieved from <https://www.president.gov.ua/documents/constitution> [in Ukrainian].
16. Zakon Ukrainy “Pro derzhavnu pidtryмку silskoho hospodarstva Ukrainy [Law of Ukraine “On State Support of Agriculture of Ukraine”]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1877-15> [in Ukrainian].
17. Shyshliuk, V. R. (2021). Rozvytok zakonodavstva Ukrainy u sferi zabezpechennya prodovolchoyi bezpeky pislia proholoshennia Nezalezhnosti Ukrainy: problemy y perspektyvy. [Development of Ukrainian legislation in the field of food security after the declaration of Independence of Ukraine: problems and prospects]. *Pivdenoukrajynskiy pravnychiy chasopys. [South Ukrainian Law Journal]*. no 3, Ch. 1, 8–14. [in Ukrainian].
18. Zakon Ukrainy “Pro vnesennia zmin do deiakyykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo stvorennia umov dlia zabezpechennia prodovolchoyi bezpeky v umovakh voiennoho stanu” [Law of Ukraine “On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Creating Conditions for Ensuring Food Security under Martial Law”]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-20#Text>. [in Ukrainian].
19. Pashchenko, O. M. (2022). Problemy pravovoho zabezpechennia prodovolchoyi bezpeky v umovakh voiennoho stanu. [Problems of legal support of food security under martial law]. *Pivdenoukrajynskiy pravnychiy chasopys. [South Ukrainian Law Journal]*. no 1–2, 283–291. [in Ukrainian].
20. Palapa, N. V., Demyanyuk, O. S. & Nahorniak, O. M. (2022). Prodovolcha bezpeka Ukrainy: stan ta aktualni pytannia sohodennia. [Food security of Ukraine: state and topical issues of the present]. *Agroekologichniy zhurnal. [Agroecological journal]*. no 2, 34–45. [in Ukrainian].
21. Diachkina, A. (2023). Produktovyi koshyk ukraiyns'ia 2023: yak zminylyss tsiny na bazovi produkty. [Food basket of Ukrainians in 2023: how prices for basic products have changed]. Retrieved from <https://www.epravda.com.ua/news/2023/10/23/705764/> [in English].
22. Bratimova M. (2023) Nova Spilna aharna polityka Yevropeys'koho Soyuzu yak tsilovyy orientyr transformatsiyi zemel'noho zakonodavstva Ukrayiny. [The new Common Agricultural Policy of the European Union as a target guideline of Ukrainian land legislation transformation]. *Zemleustriy, kadastr i monitorynh zemel. [Land Management, Cadastre, and Land Monitoring]*. no 2. 104–113. [in Ukrainian].
23. Vakulenko V. (2018). Shliakhy vdoskonalennia derzhavnogo rehuliuвання ahrovyrobnytstva. [Ways to Improve State Regulation of Agriculture]. *Ekonomika ta upravlinnia natsionalnym hospodarstvom. [Economics and Management of the National Economy]*. 110–115.

А. М. СОРОКІНА

асистентка кафедри готельно-ресторанного та туристичного бізнесу  
Херсонський державний університет  
ORCID: 0000-0003-1811-5116

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПІДПРИЄМСТВ КОНДИТЕРСЬКОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА З ЗАПРОВАДЖЕННЯМ ІННОВАЦІЙ

*Дана стаття присвячується аналізу стану кондитерської галузі України та шляхам підвищення ефективності функціонування підприємств даної промисловості.*

*Вивчаючи питання підвищення економічної ефективності функціонування підприємств кондитерської галузі виникла необхідність для розробки шляхів підвищення економічної ефективності виробництва кондитерської галузі, який би успішно вирішував проблеми економіки у сфері харчової промисловості.*

*Особливо актуальним наразі є впровадження інновацій саме для компаній харчової промисловості, зокрема ринку кондитерської галузі, адже це найперспективніша промисловість України, яка виготовляє перспективні товари, котрі можуть успішно вийти на міжнародні ринки з метою зайняття стійких конкурентних позицій.*

*Економічну ефективність кондитерської галузі України проаналізовано через сучасний стан розвитку промисловості. Україна характеризується досить розвинутою у сфері кондитерської промисловості. Для оцінки та тенденції розвитку виробництва проаналізовано ринок кондитерських товарів за сегментами, досліджено динаміку виробництва кондитерської продукції, визначено країни які імпортують та експортують товари кондитерської промисловості, систематизовано дані стосовно діючих підприємств галузі та визначено обсяг іноземних інвестицій у кондитерську галузь України.*

*Досліджуючи аналіз сучасного стану підприємств кондитерської галузі було використано такі методи: статистичний аналіз – задіяний для вивчення, групування, порівняння, оцінки та інтерпретації фактичних даних щодо результатів господарської діяльності підприємств; теоретичного узагальнення та порівняння – використовувався з метою уточнення наукових понять з проблем виокремлення факторів формування системи конкурентоспроможності та аналізу зовнішнього й внутрішнього середовищ; метод таксономії – для аналізу узагальнюючих показників ринкової позиції підприємств та власних резервів під час проведення аналізу конкурентоспроможності серед існуючих конкурентів.*

*Тому проаналізувавши сучасний стан виробництва, ми вважаємо, що використання інновацій має стати потужним інструментом на шляху до підвищення економічної ефективності виробництва кондитерської галузі України.*

**Ключові слова:** кондитерська галузь, кондитерська продукція, імпорт, експорт, асортимент та інновації.

A. M. SOROKINA

Assistant at the Department of Hotel, Restaurant and Tourism Business  
Kherson State University  
ORCID: 0000-0003-1811-5116

## ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF ENTERPRISES IN THE CONFECTIONERY INDUSTRY OF UKRAINE AND WAYS TO INCREASE THE ECONOMIC EFFICIENCY OF PRODUCTION WITH THE IMPLEMENTATION OF INNOVATIONS

*This article is devoted to the analysis of the state of the confectionery industry of Ukraine and ways to improve the efficiency of the enterprises of this industry.*

*Studying the issue of increasing the economic efficiency of the confectionery industry's operations, there was a need to develop ways to increase the economic efficiency of the confectionery industry's production, which would successfully solve the economic problems in the food industry.*

*The introduction of innovations is especially relevant at the moment for companies in the food industry, in particular the confectionery market, because this is the most promising industry of Ukraine, which produces promising products that can successfully enter international markets in order to take stable competitive positions.*

*The economic efficiency of the confectionery industry of Ukraine is analyzed through the current state of industry development. Ukraine is characterized by a fairly developed confectionery industry. In order to assess and develop production trends, the confectionery market was analyzed by segment, the dynamics of confectionery production was studied, the countries that import and export confectionery products were determined, data on the active enterprises of the industry were systematized, and the volume of foreign investments in the confectionery industry of Ukraine was determined.*

*The following methods were used to analyze the current state of enterprises in the confectionery industry: static analysis – used for studying, gathering, verifying, evaluating and interpreting factual data regarding the results of economic activity of enterprises; theoretical generalization and comparison – was used with the aim of clarifying technical concepts with the problem of identifying the facts of the formation of the competitiveness system and analyzing the external and internal environments; taxonomy method – for the analysis of general indicators of the market position of enterprises and their own reserves during the analysis of the competitiveness among existing competitors.*

*Therefore, after analyzing the current state of production, we believe that the use of innovations should become a powerful tool on the way to increasing the economic efficiency of production in the confectionery industry of Ukraine.*

**Key words:** confectionery industry, confectionery products, import, export, assortment and innovations.

### Постановка проблеми

Кондитерська галузь України залишається однією з небагатьох галузей харчової промисловості, яка в умовах війни та пандемії, економічної кризи все ж продовжує активно розвиватися та працювати. Тому вважаємо доцільним проаналізувати сучасний стан галузі кондитерського виробництва та визначити інновації, як інструмент підвищення економічної ефективності, який би успішно вирішив проблеми кондитерської галузі України.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам дослідження сучасного стану підприємств кондитерської промисловості України та питанню підвищення ефективності функціонування галузі присвячуються праці Л. Антонюк, І. Дудла, С. Близнюк, Т. Лагода, С. Ілляшенко, О. Мельник, Д. Стрельникова, Л. Закревської, О. Шестак. Проте, дивлячись на сучасний стан кондитерської промисловості в Україні, на сьогодні залишаються невирішеними питання, які спрямовані на підвищення економічного розвитку підприємств, тому потреба у подальшому аналізі питання залишається не дослідженою, що і визначає актуальність дослідження, результати якого представлені у даній статті.

### Формулювання мети дослідження

Метою є обґрунтувати доцільність запровадження інновацій як шляхів підвищення економічної ефективності виробництва на основі аналізу сучасного стану кондитерської галузі України.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Харчова промисловість – це сукупність галузей, яка включає в себе близько 50 галузей виробництва, які виробляють харчові продукти різного походження. Кондитерська галузь – це одна з галузей промисловості України, яка входить до харчової промисловості. Загальний обсяг продукції харчової промисловості складає 22%, частка загального обсягу ВВП 7,8% [5]. Харчова промисловість характеризується більш-менш стабільним попитом, якщо порівнювати з іншими галузями, які більше залежать від рівня життя населення та схильні до коливань на ринку, проте головною метою функціонування є задоволення потреб споживача. Стосовно головної цілі кондитерської галузі, то вона досягається тоді, коли відбувається задоволення додаткової потреби клієнта, і завдяки цьому кондитерська галузь є більш залежною від коливання економіки країни та світу.

Для виготовлення кондитерської продукції використовують наступні складові: молочні продукти, борошно, цукор, масло, какао продукти, фрукти, горіхи, мед, крохмал, ароматичні речовини, барвники та ін. Тому головну роль відіграє наявність сировинної бази при урахуванні фактору розміщення підприємств кондитерської галузі.

Кондитерська продукція – це продукти харчування, які мають високу калорійність та досить високий вміст цукру, тому галузь кондитерської промисловості розвивається досить швидкими темпами та є однією з основних галузей харчової промисловості. Споживачі кондитерських виробів наразі отримують від виробника досить широкий вибір продукції.

Товари кондитерського виробництва – це харчові продукти, які мають дуже широкий вибір асортименту та різняться за технологією виробництва, рецептурним складом та своїми властивостями споживання. Але не зважаючи на те, що ці продукти не входять до споживчого кошика та не є продуктами першої необхідності, все ж вони користуються великим споживчим попитом населення, особливо серед дітей.

Класифікувати виробництво кондитерських товарів можна поділити за трьома категоріями (рис. 1):

- вироби з борошна ( вафлі, печиво, крекертта ін.);
- шоколадні товари(шоколадні цукерки, шоколад та ін.);
- цукрові вироби (мармелад, зефір, карамель та ін.).

Проаналізувавши ринок кондитерських товарів, дійшли висновку представити його трьома сегментами (2013–2022 рр.) (табл. 1).

З 2013–2019 рр. можна говорити про не значні коливання цукрових виробів; виробництво товарів з какао знижується, а виробництво кондитерських виробів з борошна навпаки зростає на 3,8% порівнюючи з початковим періодом. Це говорить про те що, виробники кондитерської галузі України використовують для виробництва сировину вітчизняної якості (купуючи цукор та борошно за національну валюту), а також частково відмовляються від імпоротної сировини (какао терте, какао масло), купуючи при цьому за іноземну валюту.

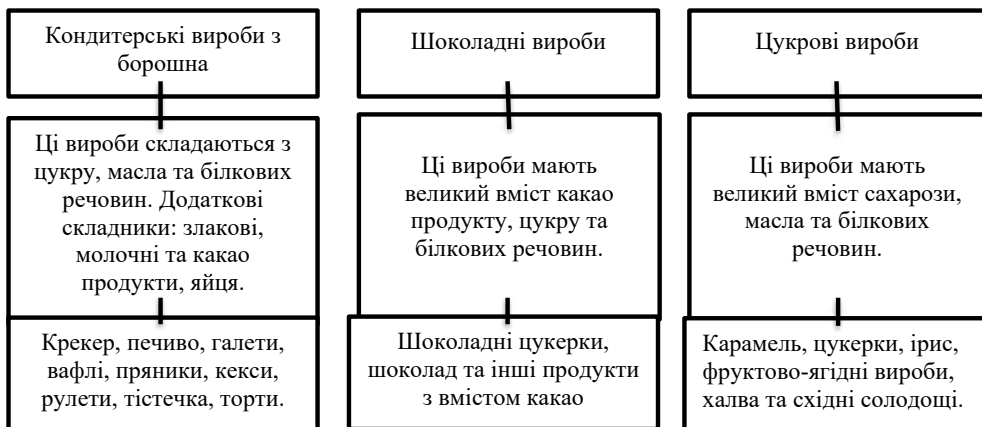


Рис. 1. Класифікація кондитерських виробів за категоріями

Таблиця 1

Ринок кондитерських товарів за сегментами (період 2013–2022 рр.)

Назва сегменту	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Кондитерські вироби з борошна,%	74,6	76,3	76,9	79,5	78,4	79,1	79,2	77,7	76,7	78,4
Шоколадні вироби,%	15,8	13,2	11,3	9,9	10,6	10,9	12,5	9,8	10	10,2
Цукрові вироби,%	9,6	10,5	11,8	10,6	11,0	10,0	10,0	12,5	13,3	11,4

Назва сегменту	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Вироби з борошна,%	1561	1357	1232	1366,8	1286,6	1481,6	1498	1475,5	1460,7	1485,5
Шоколадні вироби,%	331	235	183	171	175	203,5	205	199	199,4	199,8
Цукрові вироби,%	202	186	190	182	180	187,6	181	185,5	187	183,4

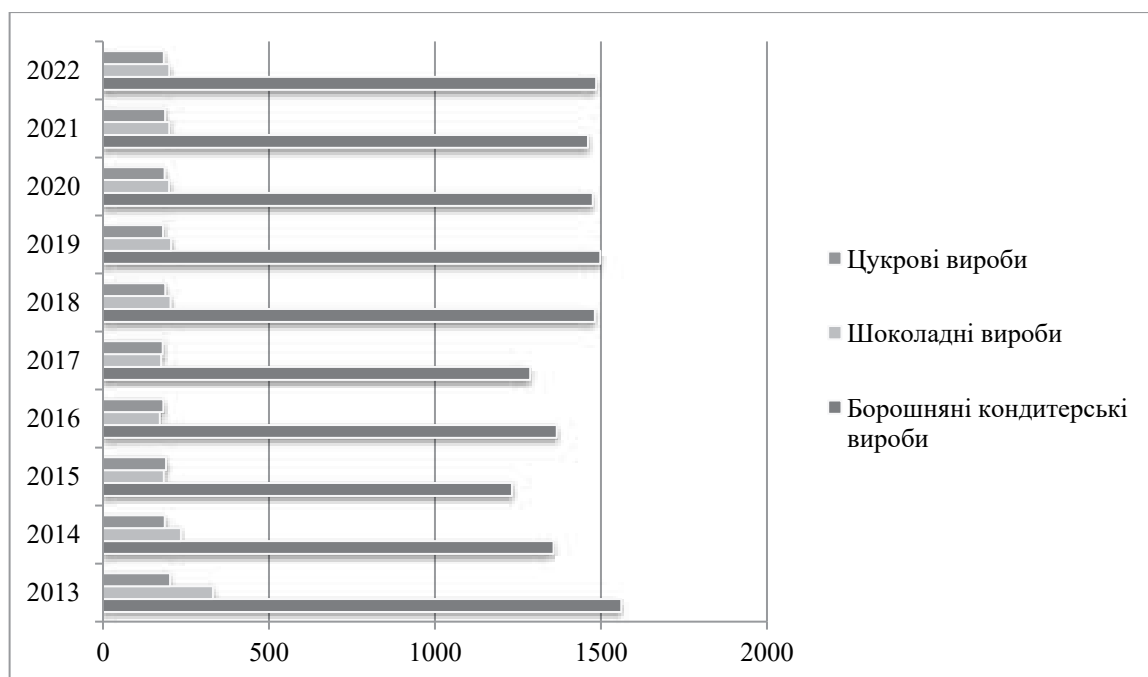


Рис. 2. Виробництво кондитерських товарів у 2013–2022 рр.

З 2013–2022 рр. ми спостерігаємо, як імпорт кондитерських товарів в Україні пішов на спад. Основною проблемою є події на сході, які розпочалися у 2013 році та події повномасштабного вторгнення Російської Федерації на територію України у 2022 році. Аналізуючи період з 2013 року ми вже бачимо, що конфлікт на сході країни вплинув на об'єм, тобто він знизився, якщо порівнювати з минулими роками, а 2022 рік став підтвердженням подій 2013 року, але вже в більших масштабах. Основною причиною зниження об'ємів виробництва є війна в країні котра сприяє зростанню сучасних товарів на ринку України, котрі за якістю не гірші за продукти інших країн світу.

В Україну імпортують продукцію з 60 країн світу (рис. 3).

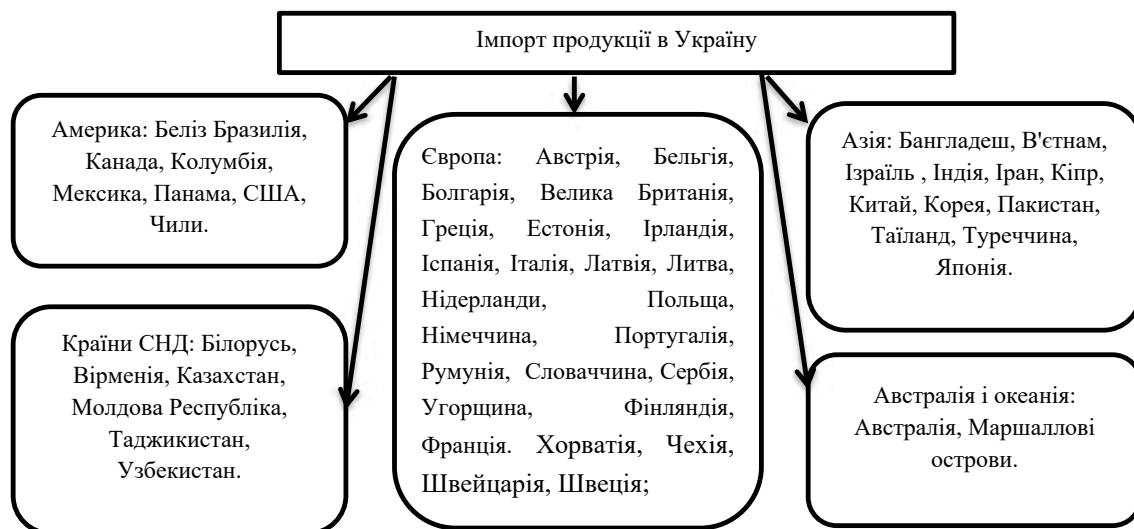


Рис. 3

Імпорт кондитерських товарів досяг своєї максимальної позначки у 2013 р., а у 2016 р. мінімальне значення імпорту.

З 2013–2022 рр. ми спостерігаємо, як відбувається спад експорту товарів кондитерського виробництва. Після початку воєнних дій на сході країни об'єм виробництва кондитерських товарів так і не досяг рівня виробництва 2010–2012 рр. Основна проблема зниження експортного об'єму – воєнні дії в країні, які призвели до втрати збутового ринку Російської Федерації та Білорусі, а вони були головними збутовими ринками для України. Тому підприємства кондитерської галузі змушені шукати більш підходячі та вигідніші ринки для продажу товарів за кордон.

Україна експортує продукцію кондитерського виробництва в 105 країн світу (рис. 4).

Україна має велику кількість підприємств кондитерської галузі, тому у період 2013–2021 р. в Україні працює понад 850 виробництв кондитерської промисловості [1].

Кількість кондитерських підприємств з 2013–2022 рр. представлена на рис. 5.

У цей період, ми можемо побачити зміну кількості кондитерських підприємств. Кількість підприємств кондитерської галузі, яка була максимальна це 1278 од. – у 2019 році, а мінімальна – у 2016 та 2017 роках це 1176 од.

Лідерами вітчизняного ринку кондитерських товарів у 2022 році, за обсягом виробництва продукції є Рошен, АВК, Конті, Монделіс Україна, Світоч, Деліція, Лагода, Світ ласощів, Полтава, Лукас та інші.

Тому виробники кондитерської галузі намагаються створити асортимент товару відмінний від інших підприємств галузі, роблячи при цьому товар конкурентоспроможним. Для підвищення конкурентоспроможності застосовують різні методи, такі як: створення сучасних екологічних пакувань, реєстрація знаків сертифікації, використання різних видів сировини задля створення конкурентоспроможного товару. Ніші кондитерського ринку котрі звільняються вони швидко заповнюються новими підприємствами кондитерської галузі.

Тому висока конкуренція серед підприємств кондитерських виробів в середині країни штовхає виробників постійно бути в пошуку нових шляхів підвищення та удосконалення конкурентоспроможності, спираючись при цьому на новинки кондитерської галузі та останні тенденції розвитку.

Виробники кондитерських товарів постійно інвестують у нове сучасне обладнання, та модернізацію виробництва. Це дозволяє їм збільшувати виробничий потенціал, а також розробляти та запроваджувати нові продукти, котрі раніше не виготовлялися жодним підприємством.

Кожне з підприємств кондитерської галузі України постійно поліпшує якість виробів застосовуючи ребрединг товарів та поліпшуючи якість упаковки з метою унікальності та привернення більшої уваги споживачів до своєї продукції.



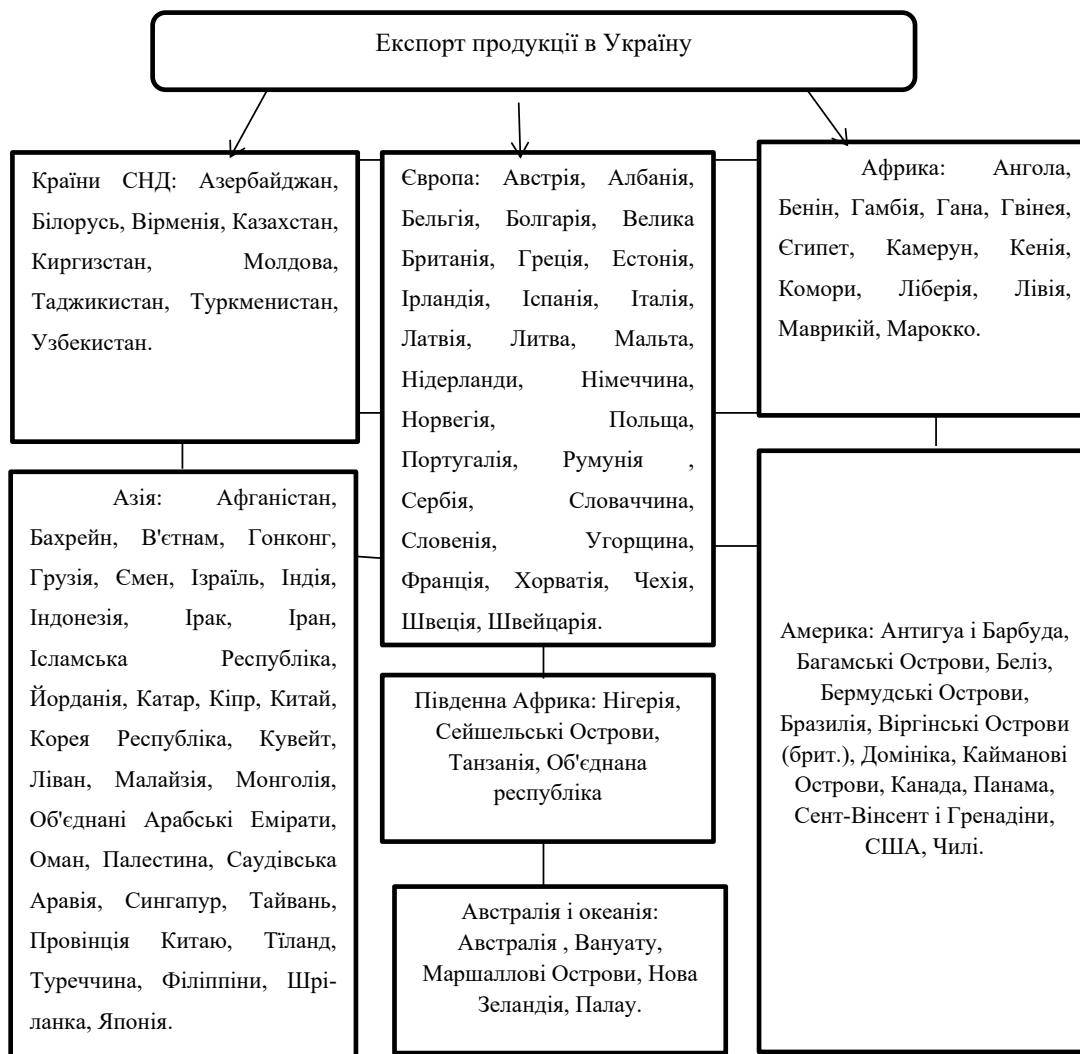


Рис. 4

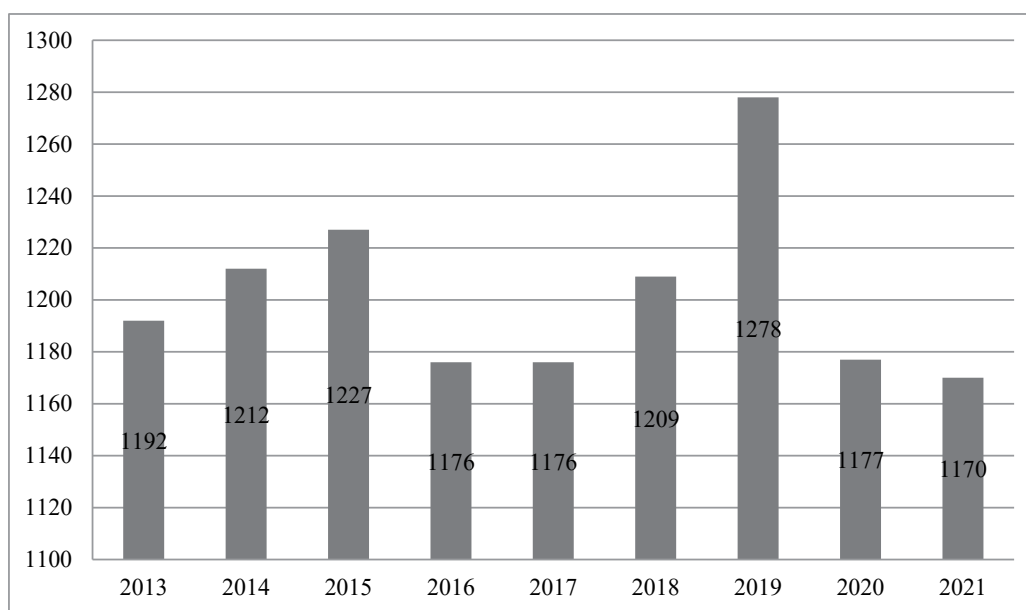


Рис. 5

Головною ціллю кожної компанії є постійне вдосконалення вже існуючих продуктів та розвиток нових унікальних, корисних та якісних товарів. Також мати сильні бренди, постійно зростати та бути світовим лідером з гідними умовами для матеріального та професійного зростання працівників.

Аналізуючи вище сказане, можна говорити про те, що компанії кондитерської промисловості розвиваються за такими напрямками:

- дотримання вимог стосовно безпечності продукції та якості;
- використовуючи світові технології провідних виробників світу та устаткування розвивати нові види продукції;
- вдосконалювати систему якості та безпеки товарів харчування;
- залучати персонал компаній для досягнення завдань і цілей стосовно безпечності кондитерської продукції, мотивуючи, навчаючи та підвищуючи кваліфікацію персоналу;
- запровадження контролю за випуском якісного товару;
- займання основних позицій на ринках;
- прийняття належних заходів для запобігання забруднення навколишнього середовища від діяльності кондитерського виробництва.

Тому спираючись на дослідження даної галузі варто стверджувати, що галузь кондитерської промисловості на сьогоднішній день це є зростаюча галузь, яка приваблює інвесторів не тільки в середині країни, а й за її межами, хоча і має певні ризики та загрози. Аналізуючи галузь харчової промисловості за обсягом іноземних вкладень в економіку нашої країни, бачимо, що одне з перших місць займає виробництво кондитерських товарів, оскільки переважна частина інвестицій сконцентрована на даній галузі. Тому сума іноземних інвестицій у кондитерську галузь з 2013 року складає 1,65 млрд. доларів США (рис. 6).

Галузь кондитерської промисловості з 2013 по 2019 та з 2021 по 2022 збільшила своє виробництво за останні два роки. Така тенденція виробництва кондитерських товарів забезпечується завдяки інвестуванню в розвиток галузі кондитерських підприємств та постійному оновленню виробництва, оскільки інвестиції в дану галузь щороку становлять більше 200 млрд. дол.

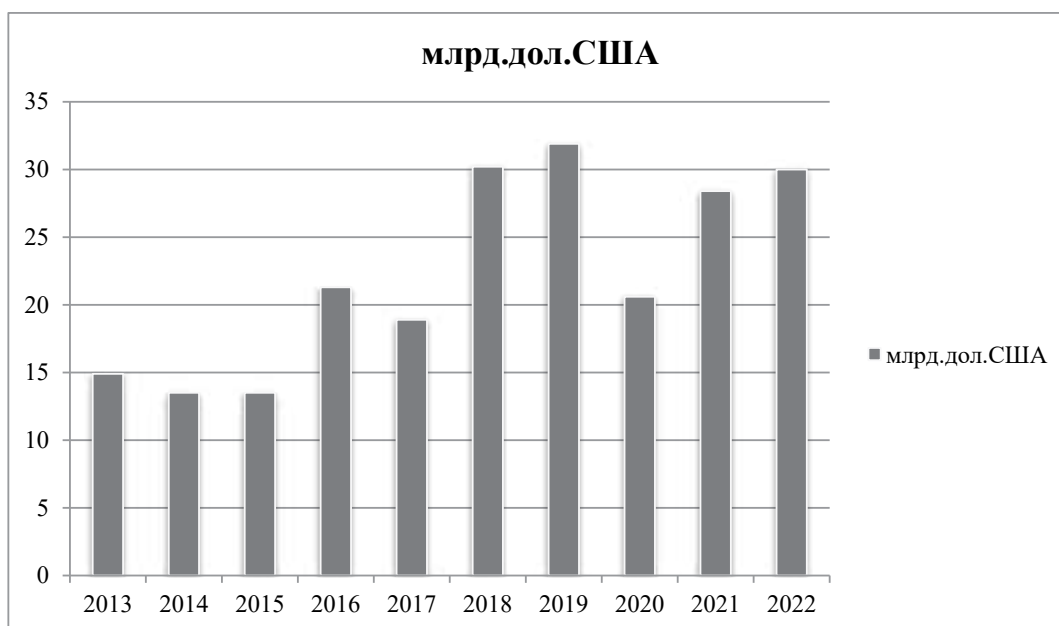


Рис. 6. Обсяг іноземних інвестицій у харчову промисловість (кондитерська галузь)

Зараз виробництво кондитерської галузі як ніколи потребують залучення інвестиційних ресурсів, оскільки головним джерелом фінансування інновацій у виробництво були та залишаються власні кошти компаній, яких не вистачає для підвищення ефективності функціонування підприємства.

Для вирішення проблеми споживчого попиту, яке почалося фінансовою кризою, доцільним є освоювати нові сегменти та пропозиції нових видів товару. Обов'язково товар має бути конкурентоспроможним, якісним, забезпечуватися оновленим асортиментом, мати попит та задовольняти споживчі потреби.

Дослідники кондитерської галузі стверджують, що надалі ринок кондитерської продукції України буде зростати лише за можливості збільшення частки продукції преміум-класу та шоколадного сегменту.

Ринок кондитерських товарів на сьогоднішній день переповнений звичайною продукцією, він дійшов до точки насичення споживача даною продукцією. Тому, наразі необхідним є створення нового сегменту, аби не втратити своїх споживачів. Тому ми пропонуємо розвивати сегмент преміум-класу, із застосування інновацій. Оскільки інновації є дуже важливим інструментом у розвитку виробництва кондитерських товарів. Тому, що для того, щоб отримати якісний товар преміум-касу необхідно перш за все встановити додаткові вимоги до виробництва шоколаду; реалізувати сучасну технологію виробництва шоколаду з застосуванням сучасних автоматизованих ліній; розробити технологію виробництва шоколаду відповідно стандартам якості та запровадження найсучаснішого пакувального обладнання.

Для успішної діяльності підприємств кондитерської галузі потрібно чітко дотримуватися властивостей зберігання товару, виробництва, реалізації, а також споживання. Для зменшення витрат на збереження продукції потрібно створити власний логістичний центр. Це дасть можливість зменшити час на завантаження товару, а також сформуванню замовлення заздалегідь. Тому основними цілями логістичного комплексу є: поліпшення умов збереження продукції; оптимізація поставок; уникнення проблеми з затримками продукції на складі.

На сьогоднішній день на підприємствах ДП «Кондитерська корпорація Roshen» та ЗАТ «ВО Конті», такі логістичні центри вже створені, і це дає їм значну перевагу над іншими виробництвами даної сфери.

#### Висновки

В умовах війни та економічної кризи всеодно основною метою будь-якої компанії залишається отримання прибутку. Для збільшення продажів та підвищення економічної ефективності і функціональності, підприємства використовують різні стратегії та методи покращення структури організації та підвищення ефективності функціонування підприємств кондитерської галузі. Одним з інструментів економічної ефективності виробництва є інновації. Підприємства кондитерської промисловості постійно намагаються глобалізувати процес виробництва, постійно досліджують конкурентоспроможність підприємств, чинники, які впливають на рівень розвитку компанії та від яких залежить обсяг виробництва продукції. Всі ці дослідження мають на меті одне – зменшити ризики підприємства. Тому для досягнення цієї мети потрібно постійно вдосконалювати процес розвитку кондитерської галузі та залишатися конкурентоспроможним в сучасних ринкових умовах.

Також в статті проаналізовано сучасний стан підприємств кондитерської промисловості України в сучасних умовах, досліджено проблеми галузі та запропоновано один з інструментів вирішення даної проблеми, шляхом запровадження інновацій. Доведено, що інновації це є рушійний процес, поштовх підприємствам для подолання кризи та успішного його функціонування компанії в подальшому.

#### Список використаної літератури

1. Бажал Ю.М. Інноваційна Україна 2020 : національна доповідь. Київ : НАН України, 2015. 334 с.
2. Дубинський С.В., Щербініна Т.О. Проблеми інноваційного розвитку підприємств та його особливості в Україні. Європейський вектор економічного розвитку. 2017. № 1 (22). С. 21–32.
3. Загальна статистика кондитерської галузі України. – Режим доступу: <http://ukrkondprom.com.ua/statistika/> (дата звернення: 01.06.2023).
4. Корніковський Д. О. Аналіз економічних факторів впливу на кондитерську промисловість України. Економіка харчової промисловості. – 2014. Вип. 4(24). С. 17–24.
5. Момот В.Е Соціометричне дослідження процесу реалізації стратегій інноваційного розвитку підприємств. URL: <https://www.ir.duan.edu.ua> (дата звернення: 01.06.2023).
6. Офіційний сайт державного комітету статистики України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>. (дата звернення: 01.06.2023).
7. Перегуда Р.В., Стасюк Ю.М. Інвестиційна привабливість підприємств харчової промисловості України. Вісник Мукачівського державного університету. Економіка і суспільство. 2018. Вип.17. С. 314–321.
8. Поліщук І.І., Ковальчук А.І. Сучасний стан та оцінка прибутковості підприємств кондитерської промисловості України / І.І. Поліщук, А.І. Ковальчук // Вісник ОНУ ім. І.І. Мечникова. 2015. Т. 20. Вип. 6. С. 52.
9. Фінансове забезпечення інноваційної діяльності підприємств України / І.В. Руденко, Н.О. Постољна, О.М. Голованова, Т.М. Приходько, В.П. Золотоверха. Економічні науки. 2019. № 58. С. 18–22.
10. Шашина М.В. Специфіка управління ризиками інвестиційної діяльності підприємств кондитерської галузі. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки. 2018. Вип. № 29. Ч. 2. С. 39–42.

#### References

1. Bazhal Y.M. (2015) Innovative Ukraine 2020: national report. Kyiv: NAN of Ukraine, 334 [in Ukrainian].
2. Dubyn's'kyu S.V., Shcherbinina T.O. (2017) Problems of innovative development of enterprises and its features in Ukraine. European vector of economic development, 1(22), 21–32 [in Ukrainian].
3. General statistics of the confectionery industry of Ukraine. URL: <http://ukrkondprom.com.ua/statistika/> (Last accessed: 01.06.2023).

4. Kornikovs'kyi D. O. (2014) Analysis of economic factors influencing the confectionery industry of Ukraine. *Economics of the food industry*, 4(24), 17–24 [in Ukrainian].
5. Momot V.E Sociometric study of the process of implementation of strategies of innovative development of enterprises. URL: [https:// www.ir.duan.edu.ua](https://www.ir.duan.edu.ua) (Last accessed: 01.06.2023).
6. Official website of the State Statistics Committee of Ukraine. URL: <http://ukrstat.gov.ua> (Last accessed: 01.06.2023).
7. Perehuda R.V., Stasyuk Y.M. (2018) Investment attractiveness of food industry enterprises of Ukraine. *Bulletin of the Mukachevo State University. Economy and society*, 17, 314–321 [in Ukrainian].
8. Polishchuk I.I., Koval'chuk A.I. (2015) The current state and profitability assessment of enterprises of the confectionery industry of Ukraine. *Bulletin of ONU named after I.I. Mechnikova*, 20(6), 52 [in Ukrainian].
9. Rudenko I.V., Postol'na N.O. (2019) Financial provision of innovative activity of Ukrainian enterprises. *Economic sciences*, 58, 18–22 [in Ukrainian].
10. Shashyna M.V. (2018) The specifics of risk management of investment activities of enterprises in the confectionery industry. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series: Economic sciences*, 29(2), 39–42 [in Ukrainian].

## ПРАВИЛА ПРИЙОМУ СТАТЕЙ

### ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У НАУКОВИЙ ФАХОВИЙ ЖУРНАЛ «ВІСНИК ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

До журналу приймаються оригінальні статті, що не публікувалися в інших виданнях. **Обсяг рукопису** – не менше 5 повних сторінок основного тексту статті (починаю з постановки проблеми, закінчуючи висновками). Статті публікуються українською, російською та англійською мовами.

#### Обов'язкові елементи статті:

- індекс УДК у верхньому лівому кутку листа (*Times New Roman, 12 nm*);
- ініціали та прізвище автора великими літерами у верхньому правому кутку сторінки (*Times New Roman, 12 nm*), із зазначенням місця роботи повністю справа (*Times New Roman, 8 nm*);
- ORCID у верхньому правому кутку сторінки (*Times New Roman, 10 nm*);
- назва статті великими літерами, по центру (*Times New Roman, 12 nm, жирний*); назва статті подається без використання вузькоспеціалізованих скорочень, крапка в кінці назви не ставиться;
- основний текст статті (*Times New Roman, 10 nm*).

**Основний текст статті** повинен складати не менше 5 повних сторінок тексту і 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, російською та англійською мовами (*Times New Roman, 10 nm, курсив*) (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.

Статті подаються у вигляді файла формату *doc* для *Word for Windows* у незаархівованому вигляді. Шрифт *Times New Roman*, розмір – 10, інтервал – одинарний, поля: зліва – 25 мм; справа – 25 мм; зверху – 25 мм; знизу – 25 мм, відступ першої строчки – 127 мм, сторінки не пронумеровані. Таблиці слід виконувати в Excel чи Word, рисунки потрібно подавати у чорно-білому варіанті, вони мають бути згруповані. Для набору формул використовувати лише редактор формул Microsoft Equation 3.0.

Шрифт у заголовках, текстах, рисунках повинен співпадати. Ілюстрації, діаграми, схеми, таблиці та формули оформлюються відповідно до Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника (Постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 № 567).

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. Розмір шрифту – 10 пт. Посилання на літературні джерела в тексті подають у квадратних дужках.

Після списку літератури, через інтервал в один рядок, розташовують слово **References** та наводиться англомовний список літератури (стиль – IEEE) 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. DOI видань можна знайти на сайті:

<http://search.crossref.org/>

**Вимоги щодо оформлення англomовного списку літератури****Опис статті з періодичних видань**

Sokol Ye.I., Gryb O.G., Shvets S.V. The structural and parametrical organization of elements of a power supply system in the conditions of network centrism. *Electrical engineering & electromechanics*, 2016, no.2, pp. 61-64. doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.1.

*\*Прим. Коректний переклад назв журналів можна знайти на їх офіційних сайтах, де також у архіві, у більшості випадків, можна відшукати і необхідні статті із перекладом назв на англійську мову.*

**Опис статті з електронних журналів**

Dmitriev M.V. Ekраны odnofaznykh kabelei 6-500 kV. Oshibki pri vypolnenii skhem zazemleniia [6- 500 kV single phase cables screens. Grounding circuit implementation mistakes]. *Novosti elektrotehniki – Electrical Engineering News*, 2014, no.1(85). Available at: <http://www.news.elteh.ru/arh/2014/85/10.php> (Accessed 23 April 2014).

**Опис статті із збірника праць**

Shevchenko V.V. Puti povysheniia moshchnosti turbogeneratorov pri provedenii robot po ikh rehabilitatsii [The ways to increase turbogenerators power in the execution works during the rehabilitation]. *Sistemi obrobki informatsii. Zbirnik naukovikh prats'. Kharkivs'kii universitet povitrianih sil [The systems of information processing. The collection of scientific works Kharkov Air Forces University]*, 2012, no.7(105), pp. 152-155.

**Опис матеріалів конференцій**

Grechko O.M., Klymenko B.V., Bugaychuk V.M. Mathematical modeling of energy-efficient electromagnetic actuator for vacuum circuit-breaker. Anotatsii dopovidei 8 Mizhn. nauk.-prakt. konf. "Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiia, osvita, zdorov'ia" [Abstracts of 8th Int. Sci.-Pract. Conf. "Information technology: science, engineering, technology, education and health"]. *Kharkov*, 2004, p. 365.

**Небажано** залишати тільки перекладну назву конференції.

**Опис книги (монографії)**

Chalykh E.F. *Oborudovanie elektrodnykh zavodov [Equipment of the Electrode Plants]*. Moscow, Metallurgija Publ., 1990. 238 p.

**Опис перекладної книги**

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Rus. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

**Опис Інтернет-ресурсу**

Bormosov V.A., Kostousova M.N., Petrenko A.F., Smol'skaja N.E. *Perspektivy i sostojanie razrobotok raspredelitel'nyh transformatorov massovyh serij (Prospects and development state of mass series distribution transformers)* Available at: [www.trans-form.ru](http://www.trans-form.ru) (accessed 13 September 2004).

**Опис дисертації (автореферату дисертації)**

Geraskin O.A. *Vibrodiagnostika ushkodzen' rotoriv potuzhnykh asinkhronnykh dviguniv na osnovi pol'ovikh matematichnykh modelei. Diss. kand. techn. nauk [Damage rotor vibration monitoring power asynchronous motors based on the field mathematical models. Cand. tech. sci. diss.]*. Kyiv, 2012. 226 p.

**Опис ГОСТу**

GOST 8.586.5-2005. *Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkosti i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroystv [State Standard 8.586.5-2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]*. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

**Опис патенту**

Klymenko B.V., Eres'ko O.V., Grechko O.M. *Elektromagnitnyj pryvid [Electromagnetic actuator]*. Patent UA, no.25222, 2007.

Приклад оформлення рукопису для представлення в редколегію подано у додатку 1.

Статті, які не відповідають наведеним вимогам, до друку не приймаються.

До редколегії направляються:

- **електронна копія** статті на e-mail: **editor@kntu.kherson.ua**, назва файлу повинна відповідати прізвищу першого автора;
- **експертний висновок** щодо відсутності відомостей, заборонених для відкритого опублікування;
- **авторська довідка** за формою (додаток 2);
- **заява авторів** на опублікування статті (додаток 3).

Телефон редколегії: +38 (068) 487 18 05

**ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РУКОПISУ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ  
У РЕДАКЦІЮ (ПОДАНО ФРАГМЕНТ 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. При меншому тиску відбувається характерне руйнування ще на початкових етапах деформування на зовнішній поверхні заготовки. Дослідження ПДВ матриці з використанням методу кінцевих елементів підтвердило достатню міцність і надійність інструменту при отриманні прецизійних трубчастих виробів гідропресування з рухомою гладенькою оправкою. Натурні експерименти підтвердили адекватність комп'ютерного моделювання та ефективність запропонованого методу виготовлення високоточних довгомірних трубчастих виробів.*

.....

**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.*



*The research of deflected mode of mould using the method finite elements confirmed accommodate strength and reliability of the tool in the receipt of precision tubular products by hydraulic forging with the smooth moving mandrel.*

*The full-scale experiments confirmed the adequacy of computer simulation and the efficiency of introduced method of manufacturing exacting long-measuring tubular products.*

.....

**Key words:** hydraulic forging, hydrostatic extrusion, deformation, mould, modelling, strength, reliability, destruction.

**Постановка проблеми**

Товстостінні трубчасті вироби з прецизійними елементами внутрішнього профілю (6 ... 8 квалітет, при шорсткості 0.16 ... 0.64 мм) досить широко застосовуються в машинобудуванні, приладобудуванні та виробках спеціального призначення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Ефективність дії рідини під високим тиском на пластичність при механічних випробуваннях зразків і в процесах прямого видавлювання показана в роботах [1-3].

У зв'язку з цим, був запропонований перспективний метод отримання високоточних довгомірних трубчастих виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями методом гідропресування на гладкій оправці [4, 5].

**Формулювання мети дослідження**

Метою роботи було вивчення можливості отримання довгомірних трубчастих заготовок методами холодного пластичного деформування.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Розрахунок матриці проводили в умовах, наближених до реальних, при максимальних значеннях зусилля видавлювання  $P$  (630 кН) і гідростатичного тиску  $q$  (750 МПа), яке впливає на матрицю. Вихідні дані для розрахунку матриці наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Задані вихідні дані для розрахунку матриці**

№ з/п	Матеріал матриці	Модуль пружності, ГПа	Межа міцності, МПа	Твердість, HRCэ
1	P18	228	2250	66
2	...	...	...	...

.....

$$\varphi = N_k \frac{\cos(2 \cdot l \cdot \omega)}{\sqrt{j \cdot Q \cdot \alpha_i}}, \tag{1}$$

де  $\varphi$  – ... ;  
 ...  
 $\alpha_i$  – .

.....

**Висновки**

1. За результатами чисельного експерименту були визначені необхідні параметри гідропресування, остаточно геометрична форма деформівної заготовки та її ПДВ.

2. Проведене моделювання показало, що даний процес можливо реалізувати із значним гідростатичним тиском на вільній поверхні заготовки (750 МПа), тоді як при меншому тиску відбувається характерне руйнування ще на початкових етапах деформування на зовнішній поверхні заготовки.

## Список використаної літератури

1. Акофф Р. Л. Идеализированное проектирование : как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации / Акофф Р. Л., Магидсон Д., Эддисон Г. Д. ; пер. с англ. Ф. П. Тарасенко. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – XLIII, 265 с.
2. Петров П. П. Активність молодих зірок сонячної маси : дис.... доктора фіз, -мат. наук : 01.03.02 / Петров Петро Петрович. – К., 2005. – 276 с.
3. Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж, науч. – исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).
4. Бібліотека і доступність інформації у сучасному світі: електронні ресурси в науці, культурі та освіті (підсумки 10-ї Міжнар. конф. "Крим-2003") [Електронний ресурс] / Л. Й. Костенко, А. О. Чекарьов, А. Г. Бровкін, І. А. Павлуша // Бібліотечний вісник – 2003. – № 4. – С. 43. – Режим доступу до журн. : [http : //www.nbuv.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm](http://www.nbuv.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm).

.....

## References

.....

Додаток 2

## Авторська довідка

<b>Бондарь Іван Федорович</b>	кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики Херсонського національного технічного університету, E-mail: bondar_if@gmail.com
-----------------------------------	--

## Додаток 3

В редакцію наукового журналу  
«Вісник Херсонського національного  
технічного університету»

## ЗАЯВА

Прошу опублікувати у журналі «Вісник Херсонського національного технічного університету»  
(надалі – Журнал) мою статтю \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (надалі – Стаття)  
(назва статті)

в рубриці \_\_\_\_\_  
(назва рубрики)

Передаючи для опублікування Статтю, я (надалі – Автор) заявляю про таке.

1. Автор ознайомлений і згодний з видавничою політикою Журналу і етичними нормами для публікацій.

2. Автор ознайомлений з вимогами до оформлення статей у Журналі та іншими умовами щодо опублікування.

3. Автор є єдиним автором Статті.

4. Авторські права на Статтю не передавалися Автором раніше і не будуть передані у майбутньому третім особам.

5. Стаття не була раніше опублікована і не буде опублікована у будь-якому виданні до публікації її у Журналі.

6. Стаття не є компіляцією раніше опублікованих робіт Автора.

7. Публікація статті не порушує прав інтелектуальної власності інших осіб.

8. Стаття не містить відомостей, заборонених до відкритого друку згідно з чинним законодавством України, і публікація Статті не призведе до розголошення таємної або конфіденційної інформації, у тому числі такої, що містить державну або службову таємницю.

9. Автор дає згоду на публікацію та/або передачу третім особам таких його особових даних:

- Прізвище, Ім'я та По-батькові;
- Відомості про наукову кваліфікацію (науковий ступінь, вчене звання);
- Відомості про місце роботи та посаду;
- Контактні дані (адреса для листування, номери телефонів, номери факсів, електронні адреси тощо).

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали автора)

\_\_\_\_\_  
(Особистий підпис автора)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

*(Заповнюється та підписується всіма співавторами Статті,  
або одним зі співавторів від імені всіх за письмовим дорученням)*

# 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	Вольвач І.Ю. к.е.н., доцент, завідувач відділу з навчально-наукової роботи і міжнародної діяльності

Підписано до друку 28.12.2023.  
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman. Папір офсет. Цифровий друк.  
Ум. друк. арк. 51,62. Замов. № 0124/025. 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.