

ISSN 2078-4481

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

2(89)

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 13 від 28.05.2024 року)

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

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



Видавничий дім
«Гельветика»
2024

Редакційна колегія

Головний редактор

Литвиненко В.І.

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

Заступник головного редактора

Сарібєкова Ю.Г.

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

Шерстюк В.Г.

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

Відповідальний секретар

Лур'є І.А.

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

Члени редакційної колегії

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

ISSN 2078-4481

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

VISNYK

**OF KHERSON NATIONAL
TECHNICAL UNIVERSITY**

2(89)

Recommended for publication by the Academic Council
of Kherson National Technical University
(Minutes № 13 on 28th May 2024)

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



Publishing House
“Helvetica”
2024

Editorial Board

Editor-in-Chief

Litvinenko V.I.

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

Deputy Editor-in-Chief

Saribekova Yu.G.

Doctor of Engineering Science, Professor, Vice-Rector for Scientific Work and International Relations

Sherstiuk V.H.

DSc (Engineering), Professor, Vice-Rector for Academic Affairs

Executive Secretary

Lurie I.Yu.

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

Members of Editorial Board

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

ЗМІСТ

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

Є. В. Гаврилко, В. Я. Савко. Розробка інтелектуального спеціального програмного забезпечення управління вентиляційних систем конфайнменту на основі урахування інерційності системи.....	11
І. М. Задорожня, М. О. Задорожній. Аналіз умов демпфування коливань в двомасовому електроприводі на основі ефекту резонансної електромеханічної взаємодії з додатковими зворотними зв'язками.....	20
А. В. Йовченко. Дослідження можливості енергосистеми України в забезпеченні обслуговування парку електромобілів.....	27
В. І. Кравченко. Виготовлення та експериментальна оцінка біопалива на основі осадів стічних вод для одержання теплової енергії та будівельного матеріалу.....	32
В. М. Литвиненко. Дослідження впливу технологічних факторів на параметри діодів з нікелевим контактом.....	38
В. С. Парненко, Є. В. Корбут. Покращення технологічності деталі типу «Тримач» з використанням програмного забезпечення Autodesk Fusion.....	44
L. M. Petrov, I. V. Kishianus, S. V. Verpivskyi, O. A. Malinovskyi, V. A. Nikishyn, S. V. Sheluhin. Elements of the theory of dynamic developed suspension military vehicle.....	50
С. А. Русанов, О. І. Ключев, І. А. Шадохіна. Відповідність теорії граничної рівноваги гіпотезам, що покладені в основу теорії Янсена механіки ґрунтів.....	57
А. І. Саченко. Система автоматичного керування режимами роботи розподільної електричної мережі з сонячними електростанціями при несиметричному навантаженні.....	63
І. М. Світій, О. І. Черняк. Про особливості автоматичного керування котлом ДКВр-10-13.....	72
А. А. Симонова, В. Д. Кулинич, Р. Г. Аргат, В. В. Драгобецький. Дослідження способів підвищення міцності поверхневого шару матеріалів, які не піддаються гартуванню.....	79
О. В. Степанов, І. Ю. Кобзар. Організаційно-правовий механізм регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі.....	85

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Т. О. Кузьміна, Ю. В. Березовський, Є. О. Калінський, Ю. А. Арлюкова, А. О. Трофимчук. Інноваційні елементи інформаційно-комунікаційних технологій у стандартизації матеріалів та виробів легкої промисловості.....	90
--	----

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

С. Г. Антошук, Н. О. Комлева. Оптимізаційне моделювання інтелектуальних систем діагностування.....	99
Д. Я. Бейрак, Т. А. Вакалюк. Підходи до міжпроцесної комунікації у побудові мікросервісних систем в науковій літературі.....	109
В. О. Буренко. Групові експертні оцінки обробки інформації в комп'ютерних системах «Розумного міста».....	118
A. V. Vashchenko, Ie. A. Drozdova, O. O. Prykhodko. Determining optimal compression algorithm for files of different formats.....	126
М. О. Vernik. Comparison of classical and quantum computing for particle swarm optimization.....	134
К. П. Газдюк, М. Ю. Горбатенко, К. М. Дмитрашук, В. Ю. Водяничук. Дослідження інструментів збірки сучасних веб додатків.....	139
І. А. Гетьман, Ю. А. Солод, М. А. Держевецька. Дослідження застосування штучних нейронних мереж для підвищення точності прогнозування температури навколишнього середовища.....	145
Н. В. Головіна. Розроблення системи підтримки прийняття рішень для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні.....	150
О. Г. Зінов'єва. Огляд програмних засобів для роботи з нейронними мережами.....	157

В. В. Кальченко, В. К. Ободяк, І. О. Пугач. Нормативні вимоги України в сфері кіберзахисту персональних даних в інформаційно-комунікаційних системах у порівнянні з вимогами США та ЄС.....	162
О. І. Кучеренко, Т. А. Вакалюк. Огляд технічних та програмних засобів керування БПЛА.....	170
В. Г. Мартінович, А. В. Боровко. Еволюція ключових етапів формування інформаційної економіки.....	177
Р. О. Новачук, Д. С. Антонюк. Оцінка ефективності систем електронної комерції на основі багаторитеріального аналізу прийняття рішень.....	183
Є. В. Огінський, Д. С. Антонюк. Моделювання впливу доходності та ризикованості інвестицій у контексті управління персональними фінансами.....	188
О. С. Орехов, Т. А. Фаріонова. Математичні моделі для оцінювання розміру java-застосунків.....	196
Б. В. Пашковський, М. І. Слабінога. Удосконалення автоматизованого процесу визначення ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод на території Івано-Франківської міської територіальної громади.....	204
В. В. Прачик, О. М. Ляшенко. Моделювання та розроблення програмного забезпечення для оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України.....	211
Н. П. Соколова, І. В. Прохоренко, Н. А. Тимошенко, Т. А. Мазур, Б. О. Денисенко. Автоматизована система управління авіаперевезень.....	219
І. О. Suprunenko, V. M. Rudnytskyi. Comparison of message passing systems in context of adaptive logging method.....	228
Н. О. Фесьоха. Стан та тенденції розвитку кібербезпеки в епоху цифрової трансформації – аналіз сучасних загроз та заходів захисту.....	235
О. У. Chaplia, Н. І. Клим. Microservice architecture for cyber-physical systems.....	242
В. Г. Шерстюк, Р. М. Захарченко. Використання можливостей згорткової нейромережі для виявлення позитивного оцінювання недоброчесних студентів.....	251

УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

Ю. О. Джерелюк. Методичний підхід до оцінювання адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства.....	259
V. V. Yevtushenko, O. O. Semchenko, Y. O. Kalinsky, V. M. Bezpalchenko. Market of products of the feed industry in today's conditions.....	265
Є. О. Калінський, С. А. Дrajниця. Особливості проведення товарознавчих експертиз із визначення кодів товару згідно з УКТ ЗЕД.....	269

ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

Т. М. Безверхнюк, І. Б. Азарова. Проблемні питання планування відновлення територіальних громад і регіонів у контексті євроінтеграції України і викликів воєнного стану.....	273
О. М. Вольська. Застосування інформаційних систем в механізмі комунікації місцевої влади та громадськості з метою формування позитивного іміджу України на міжнародній арені.....	280
М. І. Губа. Прозорість місцевого самоврядування як фактор забезпечення інституційної стійкості системи публічного управління в умовах воєнного стану.....	285
В. М. Демченко. Від Петра I до сучасної Росії: імперські традиції та ознаки.....	291
Н. М. Ковальська. Державна політика гендерної рівності та її міжнародне врегулювання.....	297
О. В. Козир. Модель системних перетворень соціального розвитку міста.....	303
І. М. Перестюк. Дефолт і фінансова система України: перегляд регуляторної політики.....	310
Н. О. Серьогіна, І. О. Климчук. Типологія корупційних ризиків у військових конфліктах.....	315
О. С. Семілетов. Особливості формування енергетичної автономії в Україні.....	320
Л. Я. Слободян. Державна політика створення безбар'єрного середовища в Україні: напрямки та реалії.....	326
В. Д. Філіппова. Сучасні орієнтири іміджевої політики України.....	332

СФЕРА ОБСЛУГОВУВАННЯ

Л. В. Чорна, Л. В. Ковальська, Л. В. Польова. Розвиток франчайзингу в туризмі в постковідний період: світова та вітчизняна практика.....	337
---	-----

СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

Н. В. Шандова, Р. А. Шандов. Особливості формування бізнес-моделей стратегічних альянсів.....	345
--	-----

CONTENTS

ENGINEERING SCIENCES

E. V. Gavrillo, V. Y. Savko. Development of intellectual special software for secure control of ventilation systems for confinement based on the secure inertition of the system.....	11
I. M. Zadorozhniaia, M. O. Zadorozhni. Analysis of the damping conditions of oscillations in a two-mass electric drive based on the effect of resonant electromechanical interaction with additional feedback.....	20
A. V. Yovchenko. Study of the possibility of the energy system of Ukraine in providing service to the fleet of electric vehicles.....	27
V. I. Kravchenko. Production and experimental evaluation of biofuels based on sewage sludge for heat energy and building materials.....	32
V. M. Lytvynenko. Study of the influence of technological factors on the parameters of diodes with nickel contact.....	38
V. S. Parnenko, Ie. V. Korbut. Improving the manufacturability of the “Holder” part using Autodesk Fusion software.....	44
L. M. Petrov, I. V. Kishianus, S. V. Verpivskiy, O. A. Malinovskyi, V. A. Nikishyn, S. V. Sheluhin. Elements of the theory of dynamic developed suspension military vehicle.....	50,
S. A. Rusanov, O. I. Kliuiev, I. A. Shatokhina. Compliance of the theory of limiting equilibrium with the hypotheses underlying Jansen’s theory of soil mechanics.....	57
A. I. Sachenko. Automatic control system of the operation modes of the power distribution network with solar power plants under unbalanced load.....	63
I. M. Svityi, O. I. Cherniak. About features of automatic control of DKVr-10-13 boiler.....	72
A. A. Symonova, V. D. Kulynych, R. H. Argat, V. V. Drahobetskyi. Research of ways to increase the strength of the surface layer of not hardenable materials.....	79
O. V. Stepanov, I. Y. Kobzar. Organizational and legal mechanism for regulating the safety of motor vehicles in the transportation process.....	85

THE TECHNOLOGY OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY

T. O. Kuzmina, Yu. V. Berezovsky, E. O. Kalinsky, Ju. A. Arlyukova, A. O. Trofymchuk. Innovative elements of information and communication technologies in the standardization of materials and products of light industry.....	90
--	----

INFORMATION TECHNOLOGIES

S. G. Antoshchuk, N. O. Komleva. Optimization modeling of intelligent diagnostic systems.....	99
D. Ya. Beirak, T. A. Vakaliuk. Approaches to inter-process communication in microservice systems in the scientific literature.....	109
V. O. Burenko. Group expert judgments of information processing in computer systems of the smart city.....	118
A. V. Vashchenko, Ie. A. Drozdova, O. O. Prykhodko. Determining optimal compression algorithm for files of different formats.....	126
M. O. Vernik. Comparison of classical and quantum computing for particle swarm optimization.....	134
K. P. Hazdiuk, M. Yu. Gorbatenko, K. M. Dmytrashchuk, V. Yu. Vodianchuk. Investigation of modern web application bundlers.....	139
I. A. Getman, Y. A. Solod, M. A. Derzhevetska. Exploring the application of artificial neural networks for improved accuracy in environmental temperature prediction.....	145
N. V. Holovina. Decision support system development for monitoring and prevention of forest fires in Ukraine.....	150
O. G. Zinovieva. Overview of software for working with neural networks.....	157

V. V. Kalchenko, V. K. Obodiak, I. O. Puhach. Regulatory requirements of Ukraine in the field of cyber protection of personal data in information and communication systems in comparison with the requirements of the USA and the EU.....	162
O. I. Kucherenko, T. A. Vakaliuk. Overview of technical and software means of UAV control.....	170
V. H. Martinovych, A. V. Borovko. Evolution of the key stages of the formation of the information economy.....	177
R. O. Novachuk, D. S. Antoniuk. Evaluation of e-commerce solution efficiency based on multi-criteria decision making analysis.....	183
Ye. V. Ohinskyi, D. S. Antoniuk. Modeling the impact of investment returns and risks in the context of personal finance management.....	188
O. S. Oriekhov, T. A. Farionova. Mathematical models for the size estimating of Java applications.....	196
B. V. Pashkovskiy, M. I. Slabinoha. Wimprovement of the automated process of determining areas and places of concentration of road and transport accidents in the urban territorial community of Ivano-Frankiv.....	204
V. V. Prachik, O. M. Liashenko. Simulation and development of software for the operational and rescue service of the civil protection of the SES of Ukraine.....	211
N. P. Sokolova, I. V. Prokhorenko, N. A. Timoshenko, T. A. Mazur, B. O. Denysenko. Automated management system of air transportations.....	219
I. O. Suprunenko, V. M. Rudnytskyi. Comparison of message passing systems in context of adaptive logging method.....	228
N. O. Fesokha. The state and trends of cybersecurity development in the era of digital transformation – analysis of current threats and protection measures	235
O. Y. Chaplia, H. I. Klym. Microservice architecture for cyber-physical systems.....	242
V. G. Sherstyuk, R. N. Zakharchenko. Using the possibilities of a convulsional neural network to detect positive assessment of discontinued students.....	251

MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

J. O. Dzhereliuk. Methodical approach to the assessment of the adaptation potential of ensuring anti-crisis sustainability of the tourism enterprise.....	259
V. V. Yevtushenko, O. O. Semenchenko, Y. O. Kalinsky, V. M. Bezpalchenko. Market of products of the feed industry in today's conditions.....	265
E. O. Kalinsky, S. A. Drazhnytsia. Features of conducting commodity expertise for determining product codes according to UCG FEA.....	269

PUBLIC MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

T. M. Bezverkhniuk, I. B. Azarova. Problem issues of planning the restoration of territorial communities and regions in the context of the European integration of Ukraine and the challenges of martial state.....	273
O. M. Volska. Application of information systems in the communication mechanism of local government and the public with the purpose of forming a positive image of Ukraine on the international arena.....	280
M. I. Huba. Transparency of local self-government as a factor in ensuring the institutional stability of the public administration system under martial law.....	285
V. M. Demchenko. Imperial trade from Peter 1-st to modern Russia how a threat for Ukrainian government.....	291
N. M. Koval'ska. State policy of gender equality and its international regulation.....	297
O. V. Kozyr. Model of systemic transformations of city social development.....	303
I. M. Perestyuk. Default and financial system of Ukraine: review of regulatory policy.....	310
N. O. Seruohina, I. O. Klymchuk. Typology of corruption risks in military conflicts.....	315
O. S. Siemilietov. Features of the formation of energy autonomy in Ukraine.....	320
L. Ya. Slobodian. State policy of creating a barrier-free environment in Ukraine: directions and realities.....	326
V. D. Filippova. Current guidelines of the image policy of Ukraine.....	332

SERVICE SECTOR

L. V. Chorna, L. V. Kovalska, L. V. Polyova. Tourism franchising development in the post-Covid period:
global and domestic practice 337

SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES

N. V. Shandova, R. A. Shandov. Specifics of forming business models for strategic alliances..... 345

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 004.853; 504.064

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.1>**Є. В. ГАВРИЛКО**

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0001-9437-3964

В. Я. САВКО

аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0005-0463-6916

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ КОНФАЙНМЕНТУ НА ОСНОВІ УРАХУВАННЯ ІНЕРЦІЙНОСТІ СИСТЕМИ

В статті викладені подальші дослідження процесів переміщення повітряних мас забруднених радіоактивними аерозолями всередині та навколо Нового Безпечного Конфайнменту (НБК) над об'єктом «Укриття» Чорнобильській атомній електростанції з урахуванням інерційності поведінки повітряних мас та на їх основі розробці інтелектуального спеціального математичного програмного забезпечення роботи вентиляційних систем на основі машинного навчання з підкріпленням на основі генетичних алгоритмів.

Стаття є продовженням досліджень з розроблення на нових наукових засадах дійового програмного забезпечення управління вентиляцією конфайнменту. Попередні дослідження були опубліковані в [5] цього наукового видання і знайшли широкий відклик інтернаціональної наукової спільноти.

Розроблений і реалізований генеративний алгоритм інтелектуального спеціального програмного математичного забезпечення буде навчений на пошуку функцій шляхом аналізу великих обсягів даних.

Даним, що були застосовані в ході розробки програмного забезпечення стали історичні данні гідродинамічного стану забрудненого радіоактивними аерозолями повітря під НБК і гідрометеорологічні данні, що відповідають часовим показникам того періоду часу.

Розроблене програмне забезпечення дозволить під час експлуатації вентиляційних систем НБК врахувати інерційність повітряних мас під НБК та оптимізувати по критерію мінімізації витрати електроенергії та викиди РА.

Розробка і впровадження інтелектуального програмного забезпечення для управління вентиляційними системами відкриває можливості для подальшого розвитку в цій галузі. Можливе використання аналізу даних для постійного вдосконалення алгоритмів управління, а також інтеграція з системами штучного інтелекту для автоматичного реагування на зміни у середовищі. Це сприятиме підвищенню ефективності та безпеки експлуатації не лише об'єктів Чорнобильської зони, а й інших промислових та екологічно чутливих об'єктів.

Ключові слова: інженерія програмного забезпечення, архітектура програмного забезпечення, спеціальне математичне програмне забезпечення, бази даних, нейромережі, генеративні алгоритми, радіоактивні аерозолі, Новий безпечний конфайнмент, атомна електростанція, вентиляційна система.

E. V. GAVRILKO

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Software Security Engineering in Energy
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0001-9437-3964

V. Y. SAVKO

Postgraduate Student at the Department of Software Security Engineering in Energy
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0009-0005-0463-6916

DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL SPECIAL SOFTWARE FOR SECURE CONTROL OF VENTILATION SYSTEMS FOR CONFINEMENT BASED ON THE SECURE INERTITION OF THE SYSTEM

The article presents further studies of the processes of movement of air masses contaminated with radioactive aerosols inside and around the New Safe Confinement (NSC) over the «Shelter» facility of the Chernobyl nuclear power plant, taking into account the inertia of the behavior of air masses and, on their basis, the development of intelligent special mathematical software for the operation of ventilation systems based on machine learning with reinforcement based on genetic algorithms.

The article is a continuation of research on the development of effective software for controlling confinement ventilation on new scientific bases. Previous studies were published in [5] of this scientific publication and found a wide response from the international scientific community.

The developed and implemented generative algorithm of intelligent special mathematical software will be trained on finding functions by analyzing large volumes of data.

The historical data of the hydrodynamic state of air contaminated with radioactive aerosols under the NBK and hydrometeorological data corresponding to the time indicators of that time period were the data used during the development of the software.

The developed software will make it possible to take into account the inertia of the air masses under the NSC during the operation of the NSC ventilation systems and optimize according to the criterion of minimizing electricity consumption and RA emissions.

Development and implementation of intelligent software for controlling ventilation of sequential power take-off for additional development in this area. You can perform data analysis to search for control algorithms at a point, as well as integration with sequential intelligence to automatically respond to changes in the middle. This pleasantly increases the efficiency and unemployment of the operation of not only the Chernobyl zone facilities, but also other industrial and environmentally friendly facilities.

Key words: *software engineering, software architecture, special mathematical software, databases, neural networks, generative algorithms, radioactive aerosols, New safe confinement, nuclear power plant, ventilation system.*

Постановка проблеми

Забезпечення ядерної, радіаційної та, комплексно, екологічно безпечної експлуатації НБК над Об'єктом «Укриття» (ОУ) на Чорнобильській АЕС є складною і багатофакторною задачею. На рис. 1 наведений вигляд НБК. НБК – надвелика спеціалізована споруда з великою кількістю спеціалізованого обладнання та потужного устаткування. Крім всього ключовою функцією НБК ОУ є забезпечення задачі ЯБ та РБ.

Споруда спроможна забезпечити поводження, обіг, очистку 1 500 000 м³ забрудненого повітря. Це забезпечується використанням вентиляційних систем та осушувачів (ВОС) НБК (рис. 1).

Ці ВС поділяються на три основні категорії, а саме системи: що подають повітря ззовні до ОО (ВС типу А); подають повітря до периферійного простору конструкції (тип Б); виводять повітря з НБК назовні, проходячи через спеціалізовані фільтрувально-поглинаючі системи для контролю радіоактивних викидів (тип В).

Одна з важливих задач цих систем – запобігання виходу повітря за межі конструкції без належної фільтрації, особливо при неконтрольованому проникненні зовнішнього повітря, спричиненому вітровими навантаженнями.

Керування гідродинамічних процесів в НБК складний процес, що забезпечується маніпуляцією тисками в ОО та КП шляхом використання потужності ВС.

НБК включає турбінний зал, пошкоджений реактор, центральну залу, основний об'єм, круговий простір та периферійний простір.

Керуючий персонал користується Технологічним регламентом, який визначає режими роботи ВС лише на визначених розробником потужностях, що за проведеними розрахунками здатні забезпечити мінімізацію викидів РА. Річна витрата енергії на забезпечення експлуатації НБК складає 1 МВт. Найбільші витрати припадають на ВС.



Рис. 1. Новий Безпечний Конфайнмент об'єкту «Укриття» Чорнобильської атомної електростанції. Вигляд з середини

Управління цими повітряними потоками залежить від багатьох факторів, які доцільно обробляти з застосуванням сучасних програмних засобів, штучний інтелект яких, за певних обставин і навченості спроможне побудувати залежності і функції, що будуть спроможні забезпечити планування зменшення чи збільшення потужності ВС за 0,2–0,5 години для прийняття оптимальних рішень з урахуванням інерційності об'єму зараженого повітря в НБК.

Відсутність урахування інерційності може призвести до недостатньо ефективного контролю викидів РА, особливо в умовах, що швидко змінюються.

Саме тому існує нагальна потреба в розробці більш досконалих методів керування, які б враховували інерційні властивості НБК та забезпечували б більш точне та ефективне регулювання вентиляційних процесів у відповідь на змінні умови навколишнього середовища.

Розробка таких методів дозволить не тільки покращити контроль над потенційними викидами РА, але й сприятиме забезпеченню вищого рівня радіаційної та екологічної безпеки за умови також і зменшення витрати енергії, що є актуальним завданням інженерії програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У статті [1] описано використання інтелектуального аналізу даних для ідентифікації ненормального споживання енергії в будівлях. Автор розробив методику, що дозволяє виявляти неефективну роботу систем HVAC, спираючись на детальний аналіз споживаних енергетичних даних. Ця робота вносить вклад у розвиток методів діагностики систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, підкреслюючи важливість даних для ефективного управління енергоспоживанням.

В дослідженні [2] розглянуто застосування модельно-прогнозуючого управління (MPC) та прогнозів погоди для зниження енергоспоживання в будівлях. Результати вказують на значне покращення енергоефективності кліматичного контролю, демонструючи потенціал MPC в управлінні будівельними системами з урахуванням мінливих погодних умов.

Автори [3] концентрують увагу на використанні MPC для оптимізації роботи систем охолодження в будівлях. Їх підхід дозволяє знизити енергоспоживання та покращити умови комфорту за рахунок ефективного регулювання параметрів роботи систем охолодження, враховуючи змінні умови експлуатації.

В [4] пропонують використання навчання з підкріпленням для модельно-прогнозуючого управління в системах HVAC з метою зниження як миттєвого, так і довгострокового споживання електроенергії. Демонструється, як історичні дані можуть бути використані для підвищення ефективності управління енергоспоживанням, підкреслюючи важливість адаптивних методів в енергетичному менеджменті.

Дослідження показали, що користування такими підходами, що застосовуються до менших приміщень, і які можуть, за певних умов і підходів, масштабуватися і застосовуватися до НБК ОК ЧАЕС.

У науковій літературі описані численні «network» моделі, що дозволяють моделювати витрати вентиляційних систем з урахуванням різних зовнішніх та внутрішніх чинників, зокрема швидкості вітру.

Ці моделі забезпечують засоби для оптимізації роботи вентиляційних установок, але часто не враховують інерційні характеристики великих об'ємів, як-от об'єм НБК.

Досвід проектування та експлуатації чистих кімнат може надати цінні знання для вирішення проблеми контролю над викидами в НБК, оскільки обидва типи об'єктів вимагають ретельного управління повітряними потоками та мінімізації забруднення.

В роботі [5] детально обґрунтовано, розроблено та верифіковано СПМЗ, що стало першим програмним продуктом, що реалізує нейромережу у машинному навчанні нейронної мережі для оптимізації роботи управління

вентиляційними установками Нового безпечного конфайнменту та запропоновано СПМЗ, яке спроможне врахувати багатofакторні показники обігу повітря в та поза НБК.

В [6] проведено аналіз неорганізованих протічок шляхом застосування нейрон-нечіткого моделювання. Розроблено відповідне програмне забезпечення і його роботу моделювання в середовище MathcadPrime.

Формулювання мети та завдання дослідження

Завданням, що ставиться в цій публікації є розробка інтелектуального СПМЗ на основі машинного навчання з підкріпленням на основі генетичних алгоритмів, що дозволить під час експлуатації ВС НБК врахувати інерційність повітряних мас під НБК та оптимізувати по критерію мінімізації витрати електроенергії та викиди РА.

Метою роботи є забезпечення оптимізації витрати електроенергії ВС при мінімумі неконтрольованих викидів РА за межі НБК.

Викладення основного матеріалу дослідження

Враховуючи складність управління ВС на базі контролю необхідного балансу тиску і з метою оптимізації їх роботи з урахуванням інерційності управління, розроблена архітектура СПМЗ.

На рисунку 2 представлено діаграму варіантів використання (UML use case diagram), яка демонструє взаємодію між основними акторами системи: інженером з вентиляції, системним адміністратором та моделлю штучного інтелекту. Ця діаграма виразно показує, як користувачі можуть взаємодіяти з системою для досягнення оптимальної ефективності вентиляційних установок.

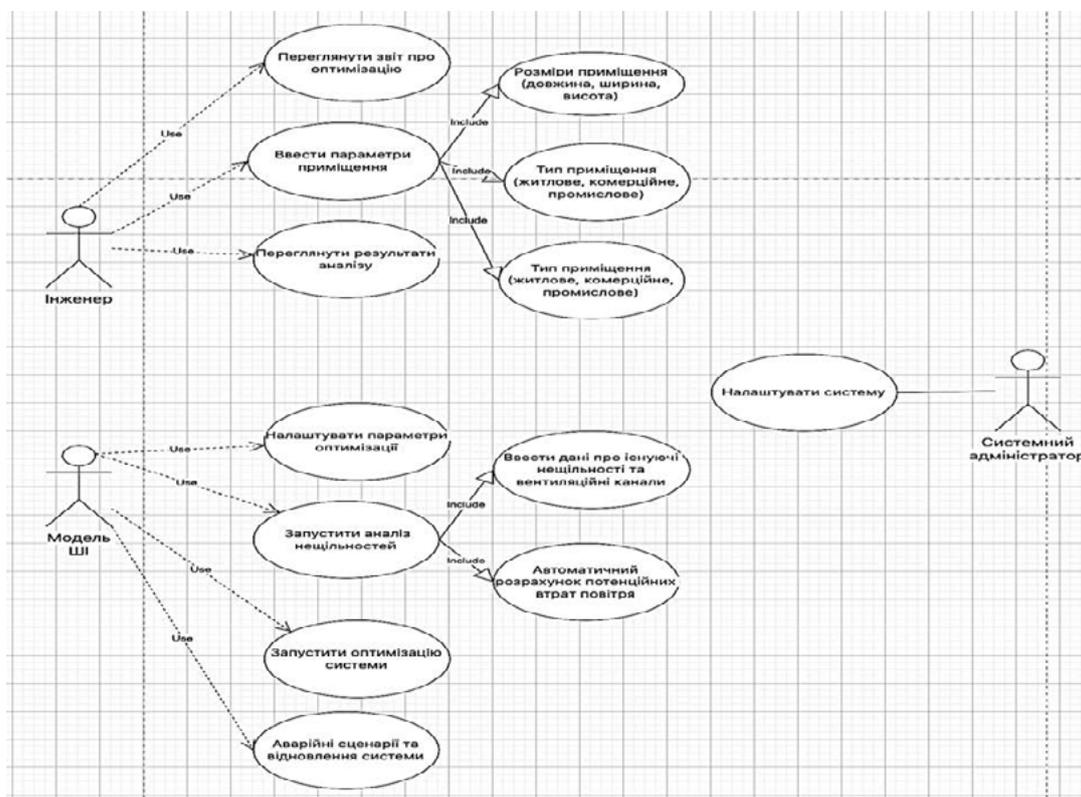


Рис. 2. UMLusecase діаграма взаємодії користувачів з системою

Діаграма ілюструє ключові функціональні можливості, які програма надає користувачам, включаючи введення параметрів приміщення для точного моделювання умов роботи ВС, запуск алгоритмів аналізу поточних нещільностей і можливих втрат повітря, перегляд і аналіз результатів для визначення потреби у корекції налаштувань.

На рисунку 3 зображена архітектуру системи, представлену у формі діаграми класів. Тут детально відображено, як складові системи спілкуються між собою, які дані обробляють та які методи використовують для досягнення цілей оптимізації.

Інтелектуальне СПМЗ для управління ВУ НБК включає кілька ключових етапів:

1. Обрання алгоритмів.

Для інтелектуального СПМЗ обрано Генетичний алгоритм (ГАл). В нашому випадку ГАл є більш відповідним задачі еволюційним алгоритмом пошуку, що нами використовується для вирішення задач моделювання за для пошуку комбінацій й варіантів потужності ВС, послідовного підбору з комбінунання варіації показників, що будуть нами відібрані в тому числі і за допомогою експертів.

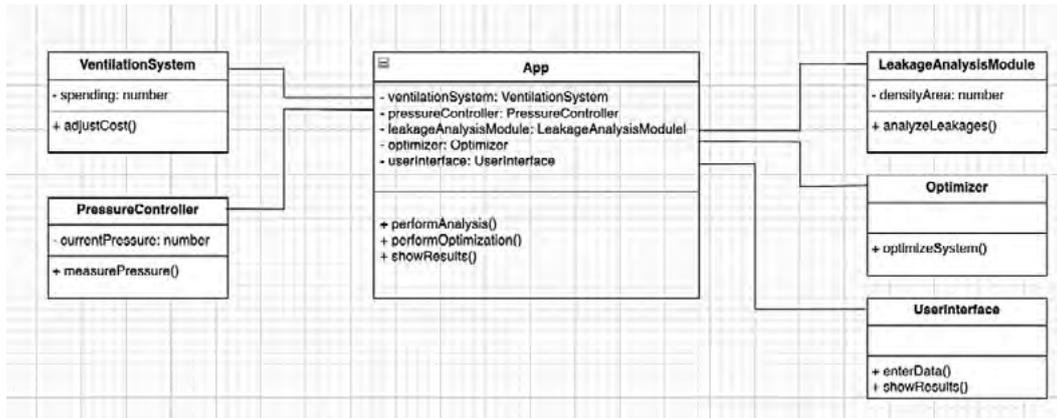


Рис. 3. Архітектура системи

2. Збір і нормалізація даних.

Данні з зовнішніх та внутрішніх датчиків, збираються в базу даних НБК. Ці дані, отримані з широкого спектру зовнішніх та внутрішніх датчиків, є фундаментом для всіх наступних етапів аналізу та управління. Зібрані в базу даних НБК, вони проходять через процес обробки з використанням програмних засобів, що дозволяє точно визначити параметри роботи ВС.

Основні зібрані гідрометеорологічні показники включають:

$$M_i = F \langle M_1; M_2; M_3; M_4; M_5 \dots \rangle, \tag{1}$$

M_1 – швидкість вітру – визначає інтенсивність та потенційний вплив вітру на НБК, впливаючи на розрахунки тиску та вентиляційні потреби.

M_2 – вологість повітря – зовнішня та внутрішня вологість визначають умови працездатності ВС, а також впливають на рівні конденсації та загальний комфорт у НБК.

M_3 – опади (дощ/сніг) – наявність та тип опадів впливають на робочі параметри НБК, зокрема на управління зовнішніми впливами та забезпечення стабільності систем.

M_4 – напрям вітру – важливий для аналізу впливу вітрового навантаження на конструкції НБК та для оптимізації розміщення вентиляційних виходів.

Особливу увагу приділяється моделюванню вітрового навантаження, оскільки це дозволяє точно прогнозувати зміни тиску у критичних зонах моніторингу НБК.

Це сприяє підвищенню ефективності управління ВС НБК ОУ ЧАЕС, дозволяючи своєчасно реагувати на будь-які зміни у робочому середовищі.

3. Тренування генеративного алгоритму (ГАл).

Тренування ГАл для прогнозування параметрів тиску в ОО та КП є ключовим елементом в управлінні ВС НБК. Використання даних, що містять n вимірів за часом і k параметрів експлуатаційних даних на кожен момент часу, дозволяє створити високодеталізовану картину робочих процесів.

На рисунку 4 представлена структура моделі НМ, яка є прикладом використання функції активації ReLU (Rectified Linear Unit) та адаптивного методу оптимізації Adam. Ці технології вибрані завдяки їхній ефективності

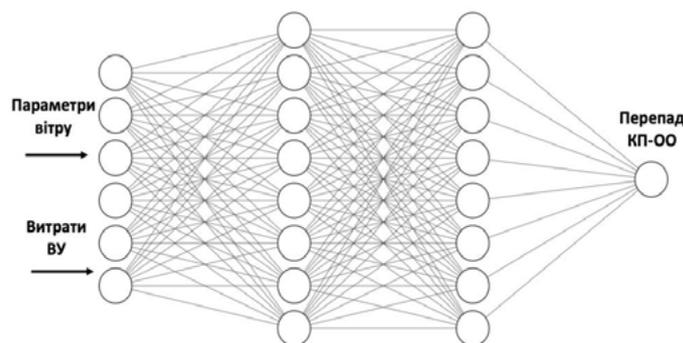


Рис. 4. Модель ГАл для аналізу показників та пошуку функції управління ВС

у мінімізації середньоквадратичної помилки, що приблизно на 10–30% підвищує точність прогнозування порівняно з іншими моделями.

Особливістю цього підходу є застосування двох окремих НМ для аналізу та прогнозування параметрів тиску у двох різних зонах НБК. Таке розділення дозволяє забезпечити високу спеціалізацію мереж і оптимізувати їхню роботу з конкретними даними. Кожна мережа тренується на половині доступних даних і перевіряється на іншій половині, що дозволяє забезпечити високу надійність та точність прогнозів.

Тренування НМ забезпечує можливість «прогнозування» тиску в НБК з урахуванням мінливих зовнішніх умов, таких як характеристики вітру, та змін у роботі ВС.

4. Забезпечення інерційності ВС.

Забезпечення інерційності ВС є критично важливим аспектом управління середовищем в НБК на ВУ ЧАЕС. Це дозволяє ефективно контролювати обсяги повітряного потоку, що переміщується між внутрішнім простором НБК і зовнішнім середовищем, з метою мінімізації витоків та оптимізації енергоспоживання. Систематичний підхід до налаштувань агрегатів забезпечує високу адаптивність системи до зовнішніх змін та експлуатаційних потреб.

У кожен конкретний часовий інтервал і, враховуючи задані зовнішні умови тиску, виконується оптимізація роботи вентиляційних агрегатів. Вентиляційні агрегати типу В налаштовуються відповідно до потреб, тоді як агрегати типу А та Б зазвичай працюють на стандартних або мінімальних рівнях потужності. Такий підхід дозволяє забезпечити необхідний контроль за обсягами повітря, що переміщується, при цьому зберігаючи енергетичну ефективність системи.

Перший крок у цьому процесі полягає у використанні моделей НМ для обчислення тисків у основному об'ємі та кільцевому просторі. Потім, на основі отриманих даних про тиск, виконуються розрахунки об'ємних потоків повітря з основного об'єму за принципами рівняння Бернуллі, враховуючи також площі витоків та гідравлічний опір системи.

Об'ємний потік G , що вимірюється в кубічних метрах на секунду, визначається як добуток коефіцієнта витoku, ефективної площі витoku, різниці статичних тисків, та оберненого значення гідравлічного опору. Завдяки точним обчисленням можливо знайти оптимальні налаштування для вентиляційних агрегатів, які не тільки забезпечують ефективну вентиляцію але й оптимізують використання енергії.

Інтерпретація результатів та їх апробація

Для перевірки обраної методики використано модельну ситуацію з приміщенням об'ємом 50 м^3 , де через систему вентиляції та нещільності здійснювався контроль тиску. Сумарна площа нещільностей становила 0.02 м^2 , що відповідає реалістичним умовам для середньостатистичного приміщення з мінімальними втратами через недовліки у герметизації. Задача полягала у забезпеченні стабільного позитивного тиску в $+10 \text{ Па}$ всередині приміщення відносно атмосферного тиску зовні, що мінусує на 10 Па .

Результати аналізу показали, що для компенсації втрат повітря через нещільності та підтримання необхідного тиску, вентиляційна система повинна забезпечувати постійну витрату повітря на рівні приблизно $0.053 \text{ м}^3/\text{с}$. Цей показник було отримано на основі розрахунків, які враховують площу нещільностей, різницю тисків всередині та зовні приміщення, а також густину повітря.

Для створення порівняльної таблиці витрат на вентилятор до та після оптимізації системи вентиляції, яка враховує змінні витрати повітря протягом дня, було проведено заміри, що до оптимізації система працювала з високою витратою, необхідною для забезпечення максимального тиску, а після оптимізації система стала здатна адаптуватися до змін умов і потреб, зменшуючи загальні енергетичні витрати. На рис. 5 показано різницю в витратах на роботу ВУ до та після оптимізації, де червоний графік відповідає за витрати до оптимізації а жовтий за витрати після оптимізації. Одна поділка дорівнює 0.05 кВт/год .

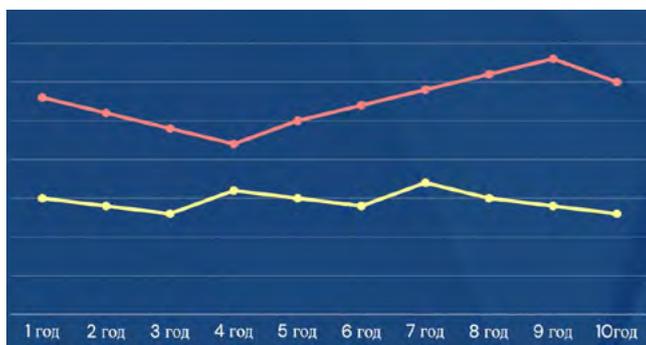


Рис. 5. Порівняльний графік витрат ВУ до та після оптимізації

Нижче наведено порівняльну таблицю 1 з точними значеннями витрат ВС до та після оптимізації.

Таблиця 1

Порівняння витрат ВС до та після оптимізації

Година	Витрати до оптимізації (кВт·год)	Витрати після оптимізації (кВт·год)
1	0.28	0.15
2	0.26	0.14
3	0.24	0.13
4	0.22	0.16
5	0.25	0.15
6	0.27	0.14
7	0.29	0.17
8	0.31	0.15
9	0.33	0.14
10	0.3	0.13

На рис. 6 представлено графік результату роботи системи прогнозування швидкості вітру, що використовується для моніторингу та адаптації вітрових умов. Графік показує прогнозовану швидкість вітру з кроком у одну годину, надаючи уявлення про зміни вітрових умов.

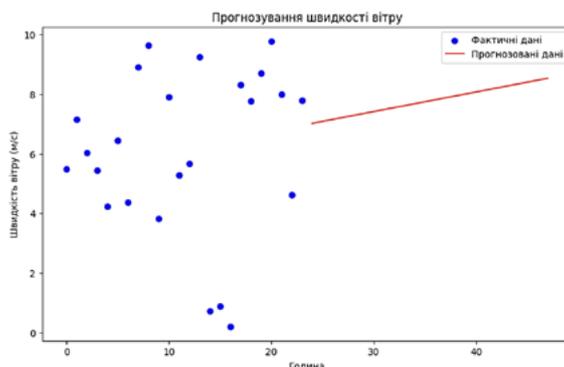


Рис. 6. Графік результату роботи системи стосовно швидкості вітру

На осі абсцис відображено час доби в форматі годин, що дозволяє легко ідентифікувати, у який час доби очікується зміна швидкості вітру. Вісь ординат показує швидкість вітру в метрах за секунду (м/с).

На рис. 7 зображено графік з результатом роботи системи щодо прогнозування напрямку вітру. Графік демонструє очікувані зміни напрямку вітру протягом наступних 24 годин, з інтервалом в одну годину.

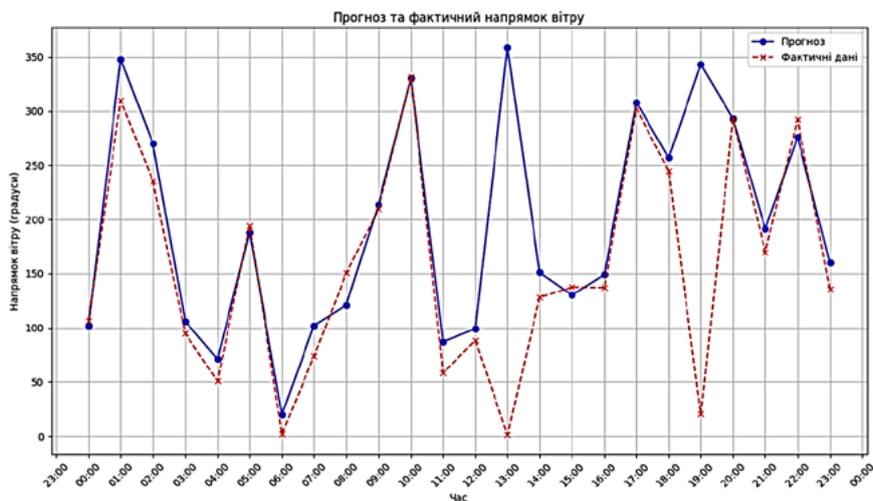


Рис. 7. Графік результату роботи системи стосовно напрямку вітру

Горизонтальна вісь показує час у годинах, що дозволяє легко визначити, коли протягом дня будуть відбуватися зміни в напрямку вітру. Вертикальна вісь представляє напрямок вітру у градусах від 0 до 360, де 0 градусів (або 360) означає північ, 90 градусів – схід, 180 градусів – південь, а 270 градусів – захід.

На рис. 8 видно результат прогнозування температури повітря.

На графіку зображено прогнозовану динаміку температури на наступні 24 години з годинним кроком. Вісь X відображає час у годинах, а вісь Y показує температуру в градусах Цельсія.

Для другої задачі, з умовою вентиляційної витрати в 1 м³/с, було розроблено модель, що демонструє динаміку змін тиску в приміщенні в часі. Результати моделювання вказують на те, що при такій витраті повітря-можливе швидке досягнення необхідного рівня тиску, після чого система повинна регулювати подачу повітря для його підтримання.

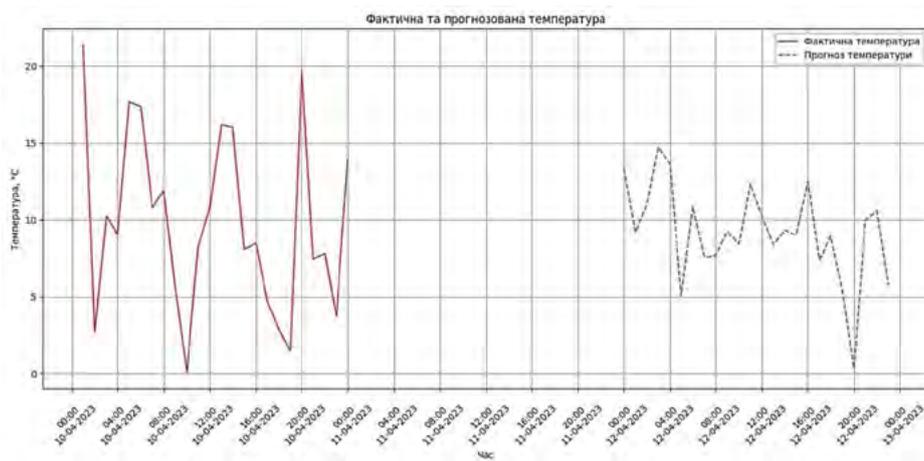


Рис. 8. Графік прогнозу температури повітря

Основні припущення:

- Витрата ВС стабільна.
- Об’єм приміщення (V) є заданим і не змінюється.
- Площа нещільностей (A) і коефіцієнт проникності (C) відомі.
- Зовнішній тиск залишається незмінним або його вплив може бути ігнорованим для спрощення розрахунків.

Розрахунок:

Для моделювання зміни тиску в приміщенні можна використати рівняння, що описує баланс маси повітря:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{RT}{V} (Q_{in} - Q_{out}), \tag{2}$$

- де $\frac{dP}{dt}$ – зміна тиску в часі;
- R – газова стала для повітря;
- V – абсолютна температура повітря в середині приміщення;
- V – об’єм приміщення;
- Q_{in} – витрата повітря, що подається вентилятором (1 м³/с);
- $Q_{out} = CA\sqrt{\Delta P}$ – витрата повітря, що виходить через нещільності.

Витрата повітря, що виходить, Q(out) може бути розрахована через коефіцієнт проникності нещільностей (неконтрольовані протічки НБК) і різницю тисків всередині і зовні приміщення:

$$Q_{out} = CA\sqrt{\Delta P}, \tag{3}$$

- де A – коефіцієнт проникності нещільностей;
- A – площа нещільностей;
- ΔP – різниця тисків всередині і зовні приміщення.

Метод розв’язку:

Це диференціальне рівняння можна розв’язати чисельно, використовуючи методи, такі як метод Ейлера або метод Рунге-Кутта, для отримання зміни тиску в часі.

Для цього потрібно задати початкові умови (наприклад, початковий тиск всередині приміщення) і крок за часом для ітерацій.

Практичне застосування:

Ця модель дозволяє аналізувати, як швидко ВС зможе досягти потрібного рівня тиску в НБК і як цей тиск буде підтримуватися або змінюватися в часі залежно від змін умов М.

Описані підходи та результати розрахунків демонструють ефективність використання розробленої методики для зміни підходів до управління ВС НБК контролю та управління станами.

Отримані дані можуть бути використані для оптимізації роботи ВС з метою економії енергії та забезпечення необхідних умов комфорту та безпеки в приміщеннях.

Висновки

1. Проаналізовано умови і фактори, що впливають на гідродинамічний стан повітря в НБК та вплив на нього обраних в роботі показників.

2. Розроблено генетичний алгоритм для інтелектуальної СПМЗ.

3. Запропоновано сама інтелектуальне СПМЗ на основі машинного навчання з підкріпленням на основі генетичних алгоритмів

4. Проведено експериментальні дослідження з метою розробки системи прогнозування та управління, яка опирається на методи машинного навчання. Система призначена для аналізу метеорологічних параметрів всередині та навколо конфайнменту з метою оптимізації роботи вентиляційних систем.

5. Впровадження розробленої системи прогнозування і керування дозволяє знизити споживання електроенергії ВС на 13% при незмінних показниках неорганізованих викидів РА.

6. У подальших дослідженнях планується детальніше вивчити вплив невизначеностей у вихідних даних на ефективність запропонованого методу, враховуючи можливі зміни в нещільностях конструкцій та розподіл тисків при різних метеорологічних умовах.

Список використаної літератури

1. Seem, J.E. (2007). «Using intelligent data analysis to detect abnormal energy consumption in buildings». *Energy and Buildings*, 39(1), 52–58.

2. Oldewurtel, F., Parisio, A., Jones, C.N., Morari, M., Gyalistras, D., Gwerder, M., Stauch, V., Lehmann, B., Morari, M. (2012). «Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control». *Energy and Buildings*, 45, 15–27.

3. Ma, Y., Borrelli, F., Hancey, B., Coffey, B., Bengea, S., Haves, P. (2011). «Model predictive control for the operation of building cooling systems». *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 20(3), 796–803.

4. Aswani, A., Master, N., Taneja, J., Culler, D., Tomlin, C. (2012). «Reducing Transient and Steady State Electricity Consumption in HVAC Using Learning-Based Model-Predictive Control». *Proceedings of the IEEE*, 100(1), 240–253.

5. Pysmennyu Y., Havrylko Y., Krukovskiy P., Starovit I., Diadiushko Y. Development of special mathematical software for management of ventilation units of the New Safe Confinement of the Chernobyl Nuclear Power Plant. *Nuclear and radiation safety*. 2022, 2(94), C. 35–43.

6. Petro Loboda, Ivan Starovit, Oleksii Shushura, Yevhen Havrylko, Ventilation control of the New Safe Confinement of the CHNPP based on neuro-fuzzy networks. *Informatyka, Automatyka, Pomiarzy W Gospodarce I Ochronie Środowiska*. 2023. Vol. 13 (4). P. 114–118.

References

1. Seem, J.E. (2007). «Using intelligent data analysis to detect abnormal energy consumption in buildings». *Energy and Buildings*, 39(1), 52–58.

2. Oldewurtel, F., Parisio, A., Jones, C.N., Morari, M., Gyalistras, D., Gwerder, M., Stauch, V., Lehmann, B., Morari, M. (2012). «Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control». *Energy and Buildings*, 45, 15–27.

3. Ma, Y., Borrelli, F., Hancey, B., Coffey, B., Bengea, S., Haves, P. (2011). «Model predictive control for the operation of building cooling systems». *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 20(3), 796–803.

4. Aswani, A., Master, N., Taneja, J., Culler, D., Tomlin, C. (2012). «Reducing Transient and Steady State Electricity Consumption in HVAC Using Learning-Based Model-Predictive Control». *Proceedings of the IEEE*, 100(1), 240–253.

5. Pysmennyu Y., Havrylko Y., Krukovskiy P., Starovit I., Diadiushko Y. Development of special mathematical software for management of ventilation units of the New Safe Confinement of the Chernobyl Nuclear Power Plant. *Nuclear and radiation safety*. 2022, 2(94), C. 35–43.

6. Petro Loboda, Ivan Starovit, Oleksii Shushura, Yevhen Havrylko, Ventilation control of the New Safe Confinement of the CHNPP based on neuro-fuzzy networks. *Informatyka, Automatyka, Pomiarzy W Gospodarce I Ochronie Środowiska*. 2023. Vol. 13 (4). P. 114–118.

І. М. ЗАДОРЖНЯ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації
Донбаська державна машинобудівна академія
ORCID: 0000-0002-7822-3517

М. О. ЗАДОРЖНИЙ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації
Донбаська державна машинобудівна академія
ORCID: 0000-0003-0957-9998

АНАЛІЗ УМОВ ДЕМПФУВАННЯ КОЛИВАНЬ В ДВОМАСОВОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ РЕЗОНАНСНОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ З ДОДАТКОВИМИ ЗВОРОТНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

В роботі розглянуто актуальну задачу вибору оптимальних параметрів електромеханічних систем технологічних машин для вдосконалення їх динамічних якостей, зокрема за критерієм мінімуму коливальності перехідних процесів. Показано, що параметри визначаються закономірностями електромеханічного взаємозв'язку, що дозволяє використовувати специфічну властивість демпфування пружних механічних коливань власне електроприводом.

Існуючі методи синтезу передбачають використання класичних оптимізаційних алгоритмів, які орієнтовані на мінімізацію реакції електроприводу при дії пружних коливань. В роботі акцентовано увагу на тому, що в електромеханічних системах необхідно в загальному випадку розглядати пов'язані процеси при взаємодії коливань в електромагнітній та механічній підсистемах електроприводу.

На основі закономірностей ефекту резонансної електромеханічної взаємодії процесів у електромагнітній та механічній підсистемах приводу пропонується використовувати узагальнені показники, що в повній мірі відповідає синергетичному підходу. В результаті досліджень показано, що при оптимізації двомасових електроприводів за критерієм мінімуму коливальності основних координат налаштування параметрів системи автоматичного керування потрібно виконувати з урахуванням ефектів резонансної електромеханічної взаємодії, зумовленій коефіцієнтом розподілу інерційних мас γ .

Отримав подальший розвиток метод синтезу електроприводу з з активним демпфуванням пружних механічних коливань, що досягається вибором відповідного співвідношення динамічних параметрів з додатковими зворотними зв'язками при реалізації процесів резонансної електромеханічної взаємодії і дозволяє забезпечити оптимальність перехідних процесів за критерієм мінімуму коливальності.

Реалізація запропонованих оптимальних розрахункових співвідношень для налаштування контуру регулювання швидкості при оптимізації заснована на компенсації впливу пружних сил інерційними та може бути рекомендована для налаштування систем підпорядкованого регулювання електроприводів технологічних машин.

Ключові слова: електропривод, електромеханічна система, пружні механічні коливання, динамічні навантаження, демпфування, двомасова система, система автоматичного керування, додатковий зворотний зв'язок, регулятор, взаємозв'язок, взаємодія, узагальнені показники.

I. M. ZADOROZHNIYA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Electromechanical Automation Systems
Donbass State Engineering Academy
ORCID: 0000-0002-7822-3517

M. O. ZADOROZHNIY

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Electromechanical Automation Systems
Donbass State Engineering Academy
ORCID: 0000-0003-0957-9998

ANALYSIS OF THE DAMPING CONDITIONS OF OSCILLATIONS IN A TWO-MASS ELECTRIC DRIVE BASED ON THE EFFECT OF RESONANT ELECTROMECHANICAL INTERACTION WITH ADDITIONAL FEEDBACK

The decision of actual problem of choosing the optimal parameters of electromechanical systems of electric drives of technological machines to improve their dynamic qualities, in particular, according to the criterion of minimum oscillation of transients. It is shown that the parameters characterizing a particular type of electric drive with maximum damping and minimum dynamic loads are determined by the laws of electromechanical interconnection. This makes it possible to use the specific property of damping elastic mechanical vibrations by the electric drive itself.

The existing synthesis methods involve the use of classic optimization algorithms, which are focused on minimizing the response of the electric drive under the action of elastic vibrations. The work focuses on the fact that in electromechanical systems it is necessary to consider related processes in the interaction of oscillations in the electromagnetic and mechanical subsystems of the electric drive in the general case.

Based on the regularities of the resonant electromechanical interaction of processes in the electromagnetic and mechanical subsystems of the drive, it is proposed to use generalized indicators, which fully corresponds to the synergistic approach. As a result of research, it is shown that when optimizing two-mass electric drives according to the criterion of the minimum fluctuation of the main coordinates, the settings of the parameters of the automatic control system must be performed taking into account the effects of resonant electromechanical interaction caused by the coefficient of distribution of inertial masses γ .

The method of synthesizing an electric drive with active damping of elastic mechanical vibrations was further developed, which is achieved by choosing the appropriate ratio of dynamic parameters with additional feedback during the implementation of resonant electromechanical interaction processes and allows to ensure the optimality of transient processes according to the criterion of minimum oscillations.

The implementation of the proposed optimal calculation ratios for setting the speed control loop during optimization is based on the compensation of the influence of elastic forces by inertial forces and can be recommended for setting the subordinate control systems of electric drives of technological machines.

Key words: electric drive, electromechanical system, elastic mechanical oscillations, dynamic loads, damping, two-mass system, automatic control system, additional feedback, regulator, relationship, interaction, generalized indicators.

Постановка проблеми

Сучасні регульовані електроприводи (ЕП) відомих виробників оснащені електродвигунами постійного та змінного струму, силовими керованими перетворювачами з силовими тиристорними та транзисторними модулями, принципово новою елементною базою засобів систем управління, обчислювальної та вимірювальної техніки.

Реалізація фахівцями-електромеханіками на практиці заявлених технічних показників високого рівня якості процесів керування та регулювання таких ЕП не вдається через виникнення взаємозв'язку та взаємного впливу на динаміку електромеханічної системи (ЕМС) пружних коливань у механічній передачі та достатньо «швидких» процесів електромагнітної підсистеми (ЕМП) [1; 2].

Збудження в ЕМС приводу пружних коливань сприяє значному зростанню рівня додаткових динамічних навантажень на двигун і механізм зі зниженням терміну їхньої служби зносу та витривалості, збільшує теплове навантаження двигуна, комутаційної апаратури та керованого перетворювача. Процеси регулювання координат ЕП істотно відхиляються від необхідних (оптимальних) показників якості за умов виконання технологічного процесу.

Наприклад, значне зниження виробничих можливостей прокатних станів виникає внаслідок некорисного підвищення динамічних навантажень в передачах металургійних машин та робочому обладнанні. Так, близько 71% зруйнувань деталей металургійних машин мають характер втоми та виникають в результаті дії змінних динамічних навантажень. Полонки ведучих шестерень приводу кліті, муфт, пальців, вузлів головного редуктора обумовлені перевантаженнями та руйнуваннями від періодичної дії динамічного навантаження, що в 2.5–3 рази перебільшують технологічні навантаження [3]. Окрім того, динамічне навантаження небезпечні в основному тим, що моменти, проходячи через нульові значення, провокують розімкнення зазорів приводної лінії, великі удари, додаткові навантаження.

Електромеханічний зв'язок за певних поєднань параметрів механічної та електромагнітної підсистем приводу викликає ефект демпфування пружних механічних коливань [4]. Отже, оптимізацією структури та параметрів ЕП можна практично вирішити задачу обмеження рівня та часу дії динамічних навантажень двигуна та механізму. Реалізувати демпфуючі властивості ЕП можливо при опрацюванні проектних рішень шляхом вибору його параметрів або налаштуванням регуляторів за методами, які не потребують спеціального обладнання та відрізняються незначними витратами, тому вважається за доцільне в якості обов'язкового етапу проектування надійних, високопродуктивних і точних машин здійснювати оцінку можливостей ЕП з демпфування пружних коливань при виконанні необхідних законів руху виконавчих органів.

Таким чином, удосконалення динамічних якостей ЕП під час проектування технологічних машин шляхом обмеження динамічних навантажень при збудженні пружних механічних коливань та забезпечення заданої точності руху робочого механізму залишається актуальною науково-практичною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз значної кількості літературних джерел свідчить про те, що синтез автоматизованих ЕМС виконується різноманітними методами, що знаходять своє відображення у теорії автоматичного керування. Найбільшого розповсюдження в інженерній практиці набули методи синтезу ЕМС, що спираються на задані показники якості, а також можна виділити дослідження, в яких синтез ЕМС виконується з використанням демпфуючих властивостей ЕП [5–8]. Втім завдання оптимізації реакції ЕП на дію пружних механічних коливань вирішуються формально без урахування фізичних особливостей ЕМС, а традиційні методи розв'язання задач припускають вибір параметрів (структури) на підставі завдання динамічних властивостей ЕМС як цілого. Наприклад, в цьому напрямку популярними є сучасні універсальні методи синтезу, що забезпечують розташування коренів характеристичного рівняння в заздалегідь визначених положеннях, які відповідають тим чи іншим показникам якості керування [3–8]. В загальному випадку, під час синтезу САК на базі стандартного характеристичного полінома динамічні властивості системи визначаються його коефіцієнтами, які не змінюються в процесі функціонування, тобто поведінка системи (вид динамічних характеристик складових частин ЕП) є заздалегідь регламентованою без урахування процесів резонансної електромеханічної взаємодії і впливу характеру зв'язку підсистем на динамічні властивості реальних ЕМС. До того ж, в деяких випадках задача синтезу САК розв'язується локально, виключно для певного обладнання, що не дозволяє застосовувати отримані налаштування для широкого класу ЕП, що зумовлює потребу подальших досліджень в контексті розвитку методів оптимізації САК виходячи з умови забезпечення бажаних динамічних властивостей за вихідною координатою.

Огляд та аналіз результатів науково-дослідних робіт, опублікованих за два останні десятиліття, свідчить про те, що фахівцями запропоновані та застосовуються на практиці методи синтезу ЕМС з реалізацією демпфуючого ефекту ЕП. Проте існують важливі відмінності у підходах розв'язання задач синтезу параметрів і структур ЕМС і навіть самої постановки задач демпфування пружних коливань. Одним із раціональних напрямів синтезу параметрів ЕМС вважається напрям, де використовуються методи синтезу з метою мінімізації реакції ЕП на дію коливань моменту сил пружної передачі як зовнішнього збурення [9]. Розв'язання задач синтезу цього (першого) напрямку дозволяє при динамічному «загрубінні» сформувати перехідні процеси із заданими показниками для координат ЕМП розімкнених та замкнутих ЕМС (m, i, ω_1). Також отримав розвиток більш продуктивний, з погляду синергетики, напрямок активного придушення пружних механічних коливань при посиленні особливих (специфічних) ефектів взаємодії підсистем. Методи синтезу ЕМС такого (другого) напрямку дозволяють визначити параметри та їх співвідношення оптимальні по згасанням коливань для основних координат системи ($m, m_y, \omega_1, \omega_2$) на основі закономірностей електромеханічної взаємодії з відведенням та перетворенням енергії пружних коливань [5–9]. Якщо при оптимізації ЕМС обрати за каталогами електричне та механічне обладнання з розрахунковими параметрами не вдається, коригують параметри ЕП у складі структур систем підлеглого регулювання або систем модального управління.

Загалом традиційні методи зниження рівня динамічності в ЕП передбачають вибір параметрів (структури) виходячи з завдання динамічних властивостей ЕМС, як цілого. Такий підхід заздалегідь регламентує вид динамічних характеристик складових частин (підсистем) і в результаті синтезу системи ефекти взаємодії та характер зв'язку підсистем навмисно виключені з продуктивних варіантів оптимізації. Вибір оптимальних параметрів ЕП в цьому випадку відповідає фізичній природі демпфуючої дії електромеханічного зв'язку, і мінімуму коливання в системі можливе реалізувати за рахунок певного поєднання параметрів динамічної жорсткості механічної характеристики ЕП. Непряма оцінка демпфуючої дії при синтезі проводиться у разі коефіцієнту електромеханічного зв'язку [4] за умови його близькості до одиниці. Оцінка є неоднозначною і умова не є достатньою і вимагає, перевірки на досягнення максимуму здатності демпфуючої дії ЕП.

Формулювання мети дослідження

Практично представницьким та змістовним з позиції врахування різноманітних факторів є метод синтезу параметрів ЕМС на основі використання демпфувальних можливостей власне ЕП за рахунок реалізації ефектів резонансної електромеханічної взаємодії процесів для забезпечення бажаних динамічних властивостей технологічної

системи. Тому метою дослідження є аналіз процесів демпфування пружних коливань в ЕМС за умов введення додаткових зворотних зв'язків за швидкостями першої і другої мас для системи підпорядкованого регулювання (СПР) та визначення співвідношень параметрів для САК, що забезпечать формування оптимальних показників коливання повної системи.

Викладення основного матеріалу дослідження

Аналіз залежності, що характеризує зміну моменту в пружній ланці:

$$M_{\text{ПР}}(t) = C_{12} \int [\omega_1(t) - \omega_2(t)] dt, \tag{1}$$

припускає природне вирішення завдання обмеження динамічних навантажень із мінімізацією підінтегральної функції, що вимагає введення в систему регулювання додаткового зворотного зв'язку за різницею швидкостей першої ω_1 і другої ω_2 мас.

Для дослідження розглядається ЕП з СПР [7–9] з послідовною корекцією параметрів, відповідно до якої складено узагальнену структурну схему двомасової ЕМС [10], яка відображає властивості ЕП з лінійною механічною характеристикою і фізичні закономірності реальних процесів на основній частоті резонансної електромеханічної взаємодії та представлена на рис. 1 з позначеннями у відносній формі параметрів ($T_{\text{М1}}$ – механічна стала часу електродвигуна; $T_{\text{М2}}$ – механічна стала часу механізму; C_{12} – значення коефіцієнту жорсткості пружної ланки; $W_{\text{КСТ}}$ – передавальна функція контуру регулювання струму; W_{332} – передавальна функція зворотного зв'язку за різницею першої та другої мас; $K_{\text{РШ}}$ – коефіцієнт підсилення регулятора швидкості; $T_{\text{РШ}}$ – стала часу контуру регулювання швидкості; $\gamma = (J_1 + J_2)/J_1 = (T_{\text{М1}} + T_{\text{М2}})/T_{\text{М1}}$ – коефіцієнт розподілу наведених моментів інерції електродвигуна J_1 та механізму J_2 ; $\Omega_{12} = \sqrt{C_{12}(J_1 + J_2)/(J_1 \cdot J_2)}$ – частота вільних коливань двомасової механічної частини ЕП).

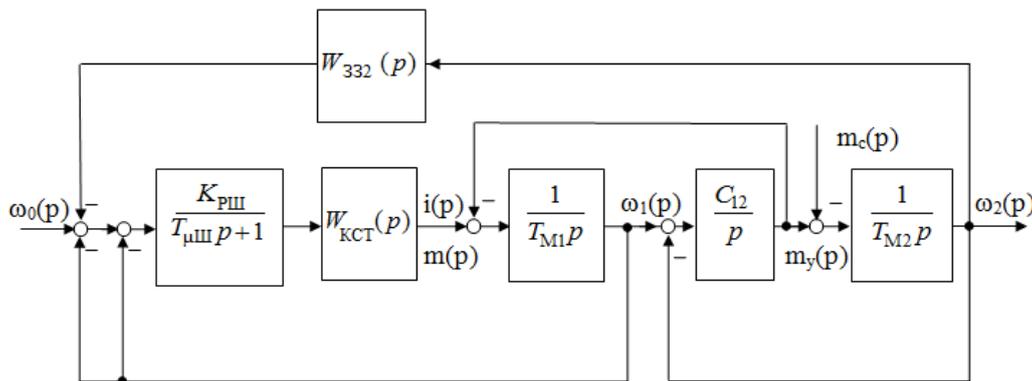


Рис. 1. Структурна схема СПР ЕП із додатковим зворотним зв'язком за різницею швидкостей першої й другої мас у відносних одиницях

Передавальні функції за керівним і збурювальним впливами отримані на підставі структурної схеми, представленої на рис. 1, у відносній формі запису параметрів під час реалізації зворотного зв'язку за різницею швидкості двигуна ω_1 і зведеної до валу двигуна швидкості механізму ω_2 :

$$W_1(p) = \frac{\omega_2(p)}{\omega_0(p)} = \frac{K_{\text{РШ}}}{Q_{12}(p)}, \tag{2}$$

$$W_2(p) = \frac{m(p)}{m_c(p)} = \frac{K_{\text{РШ}}}{Q_{12}(p)}, \tag{3}$$

де $Q_{12}(p)$ – характеристичний поліном

$$Q_{12}(p) = \gamma T_{\text{М1}} T_{\text{М2}} T_y^2 p^4 + \gamma T_{\text{М1}} T_y^2 p^3 + \gamma (T_{\text{М1}} T_{\text{М2}} + 2 K_{\text{РШ}} T_y^2) p^2 + \gamma T_{\text{М1}} p + K_{\text{РШ}}. \tag{4}$$

За умови реалізації ефектів резонансної електромеханічної взаємодії процесів в ЕМС досягається ідентичність процесів в ЕМП і МП, тоді $Q_{12}(p)$ набуває такого вигляду:

$$Q_{12}(p) = (a_0 T_y^2 p^2 + a_1 T_y p + 1)(a_0 T_y^2 p^2 + a_1 T_y p + 1) = 0. \tag{5}$$

Використовуючи форму нормування параметрів ЕМС за співвідношеннями електромеханічної взаємодії [11], одержуємо характеристичне рівняння в у нормованому вигляді:

$$Q_{12}(p) = \gamma K_B T_y^4 p^4 + 2\gamma \xi_D \sqrt{K_B} T_y^3 p^3 + \gamma(K_B + 2) T_y^2 p^2 + 2\xi_D \sqrt{K_B} T_y p + 1 = 0. \quad (6)$$

Рівняння (5) і (6) тотожні за умови дотримання рівності коефіцієнтів відповідних ступенів оператора p :

$$\left. \begin{aligned} a_0^2 &= \gamma K_B; \\ 2a_1 a_0 &= 2\gamma \xi_D \sqrt{K_B}; \\ 2a_0 + a_1^2 &= \gamma(K_B + 2); \\ 2a_1 &= 2\gamma \xi_D \sqrt{K_B}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де γ – коефіцієнт відносного демпфірування коливань в ЕМП;

$K_B = T_{M1} T_{\mu Ш} / K_{PШ} T_y^2$ – коефіцієнт електромеханічної взаємодії процесів МП й ЕМП.

Система рівнянь (7) має розв’язки за таких співвідношень узагальнених параметрів електромеханічної взаємодії:

$$\left. \begin{aligned} K_B &= \frac{1}{\gamma}; \\ \xi_D &= \sqrt{\frac{2\gamma - 1}{\gamma}}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Показники загасання вільних коливань ЕМС знаходять із коренів характеристичного рівняння $Q_{12}(p) = 0$ і визначаються такими виразами:

$$\left. \begin{aligned} \xi^* &= \frac{1}{2} \sqrt{2\gamma - 1}; \\ \mu^* &= \sqrt{\frac{5 - 2\gamma}{2\gamma - 1}}; \\ \Omega^* &= \frac{\sqrt{5 - 2\gamma}}{2T_y}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Тоді оптимальне значення (за критерієм мінімуму коливальності) параметрів контуру регулювання швидкості СПР:

$$\left. \begin{aligned} K_{PШ}^* &= \frac{\gamma T_{M1}}{2\sqrt{2\gamma - 1} T_y}; \\ T_{\mu Ш}^* &= \frac{T_y}{2\sqrt{2\gamma - 1}}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Аналіз оптимальних значень (9) показує, що досягти мінімуму коливальності ЕМС у випадку введення додаткового зворотного зв’язку за різницею швидкостей ($\omega_1 - \omega_2$) у контур регулювання швидкості (на вхід регулятора швидкості) можливо з меншими значеннями коефіцієнта підсилення регулятора швидкості (для даного $\gamma = \text{const}$), оскільки для випадку реалізації граничного демпфування для системи з пропорційним регулятором швидкості [12; 13], але при цьому збільшується статичне падіння швидкості $\Delta\omega_{Ш2}$.

На рис. 2 наведені графіки перехідних процесів $m(t)$ за умови східчастого збурювального впливу у вигляді моменту сил статичного опору m для стандартної й скоректованої оптимізованої системи для $\gamma = 1,5$ й $\Omega_{12} = 62,8 \text{ c}^{-1}$: графік 1 відповідає перехідному процесу для стандартної СПР при налаштуванні регуляторів з реалізацією граничного демпфірування [12], графік 2 відображає перехідний процес з додатковим зворотним зв’язком за різницею швидкостей і налаштуванням СПР відповідно до оптимальних за критерієм мінімуму коливальності параметрів (10).

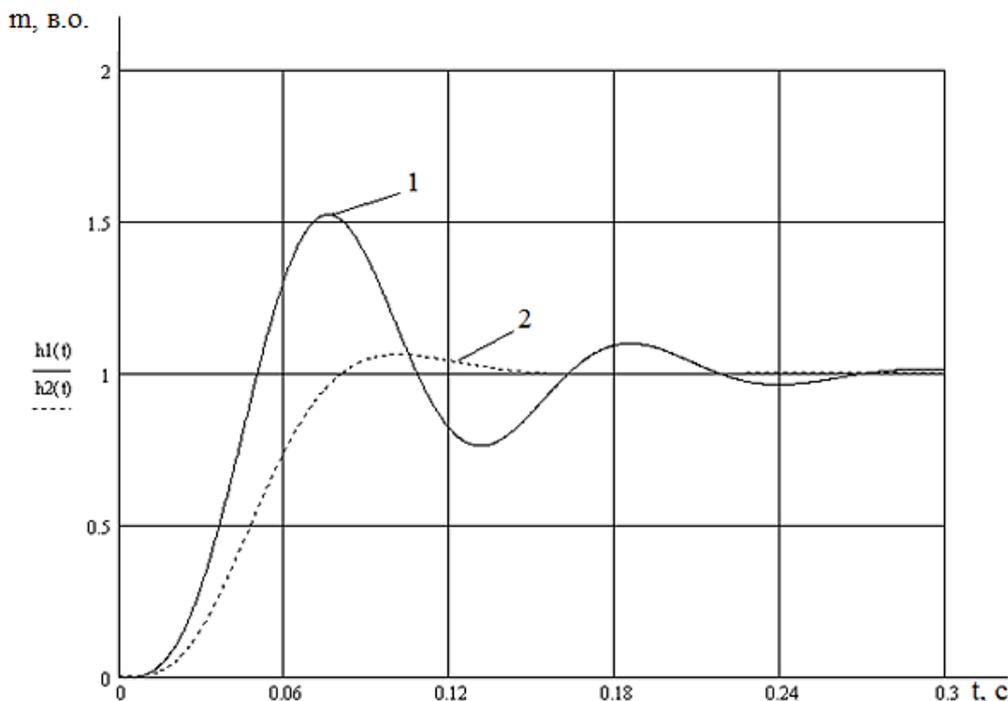


Рис. 2. Реакція ЕМС ЕП зі СПР на вплив для типової оптимізованої САК і з додатковим зворотним зв'язком за різницею швидкостей

Висновки

1. З порівняння показників (9) ЕМС із додатковим зворотним зв'язком за різницею швидкостей ($\omega_1 - \omega_2$) з показниками оптимізованої системи типової (уніфікованої) структури СПР [12, 13] видно, що коливальність першої значно нижче, і процеси будуть монотонними вже з коефіцієнтом співвідношення інерційних мас $\gamma \geq 2,5$ ($\xi^* = 1,0$).

2. Вибір параметрів регулятора швидкості здійснюється на підставі співвідношень (8) з допущенням, що $T_{\text{мш}} = T_{\text{ст}} + T_{\text{ф}}$, що вимагає налаштування контуру струму на граничну швидкодію.

3. Пропоновані для практики налаштування ЕП з СПР аналітичні співвідношення (10) враховують ефект резонансної електромеханічної взаємодії підсистем за допомогою узагальнених параметрів $K_{\text{в}}$, $\xi_{\text{д}}$, γ .

4. Всі параметри ЕМС перебувають у взаємозв'язку, що обумовлений коефіцієнтом розподілу інерційних мас γ , тому при оптимізації параметрів ЕМС за критерієм мінімуму коливальності основних координат їх не можна обрати довільно.

5. При проектуванні ЕМС технологічних машин у інженера з'являється можливість регламентувати електричним способом ступінь демпфування пружних механічних коливань, при цьому показники процесів граничного демпфування характеризуються коефіцієнтом загасання, коливальністю та частотою коливань відповідно до запропонованих співвідношень (9).

6. У багатьох випадках статичне падіння швидкості строго нормується умовою виконання технологічного процесу (наприклад, безперервнн прокатні стани), що вимагає від інженера прийняття компромісних рішень.

Список використаної літератури

1. Samuelsson O. Load modulation at two locations for damping of electromechanical oscillations in a multimachine system. *Power Engineering Society Summer Meeting 2000. IEEE*. 2000. Vol. 3, P. 1912–1917. doi: 10.1109/pess.2000.868826.
2. Szabat K., Orłowska-Kowalska T. Vibration suppression in a two-mass drive system using PI Speed Controller and Additional Feedbacks. *Comparative Study IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2007. Vol. 54, Issue 2. P. 1193–1206.
3. Задорожний Н. А. Обобщенные требования к конструированию механических передач с упругими связями. *Електромашинобудування та електрообладнання*. 2006. №. 66. С. 27–29.
4. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.
5. Pyatibratov G. Ya. On the Use of Electromechanical Systems for Limiting Dynamic Loads in Spring Mechanisms. *Russian Electrical Engineering*. 2018. Vol. 89, Issue 1. P. 36–41.

6. Blagodarov D. A., Kostin A. A., Reznikovskiy A. M., Safonov Yu. M., Chernikov S. Yu. Development of Control Systems of Electric Drives with Flexible Mechanics. *Russian Electrical Engineering*. 2015. Vol. 86, No. 1. P. 18–21.
7. Коцегуб П. Х. Синтез вентильних приводів постійного струму. Київ: ІЗМН, 1997. 124 с.
8. Толочко О. І. Аналіз та синтез електромеханічних систем зі спостерігачами стану: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Донецьк: Норд-Прес, 2004. 298 с.
9. Марущак Я. Ю. Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним керуванням. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 208 с.
10. Попович М. Г., Борисик М. Г., Гаврилук В. А. Теорія електроприводу. Київ: Вища шк., 1993. 494 с.
11. Задорожня І. М., Задорожній М. О. Оптимізація та взаємозв'язки параметрів двомасових електромеханічних систем [Електронний ресурс] : монографія – Електрон. текст. дані (4,5 Мб). Краматорськ : ДДМА, 2021.
12. Задорожня І. Н., Задорожній Н. А. Синтез електромеханической системы предельной степени устойчивости и минимальной колебательности упругой механической подсистемы. Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». 2017. № 27 (1249). С. 150-155.
13. Задорожня І. М. Синтез параметрів двомасових електроприводів на основі ефекту резонансної електромеханічної взаємодії / І. М. Задорожня, М. О. Задорожній // *Вісник Херсонського національного технічного університету «ХНТУ»*. 2023. № 1 (84) С. 18–24. doi: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.1.2>

References

1. Samuelsson, O. (2000). Load modulation at two locations for damping of electromechanical oscillations in a multimachine system. *Power Engineering Society Summer Meeting. IEEE*, Vol. 3, P. 1912–1917. doi: 10.1109/pess.2000.868826.
2. Szabat K., Orłowska-Kowalska T. (2007) Vibration suppression in a two-mass drive system using PI Speed Controller and Additional Feedbacks. *Comparative Study IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Vol. 54, Issue 2. P. 1193–1206.
3. Zadorozhnyi N. A. Generalized requirements for the design of mechanical gears with elastic connections. *Electrical engineering and electrical equipment*. 2006. №. 66. Pp. 27–29. [in Russian].
4. Kliuchev, V. (2001) *Teoriya elektroprivoda* [Theory of the electric drive]. Moskva: Energoatomizdat Publ. [in Russian].
5. Pyatibratov, G. (2018) On the Use of Electromechanical Systems for Limiting Dynamic Loads in Spring Mechanisms. *Russian Electrical Engineering*. Vol. 89, Issue 1. P. 36–41.
6. Blagodarov D., Kostin A., Reznikovskiy A., Safonov Yu. & Chernikov S. (2015) Development of Control Systems of Electric Drives with Flexible Mechanics. *Russian Electrical Engineering*. Vol. 86, No. 1. P. 18–21.
7. Kotsehub, P. (1997) *Syntezy ventylnykh pryvodiv postoiinoho strumu* [Synthesis of DC valve drives]. Kyiv: IZMN [in Ukrainian].
8. Tolochko, O. (2004) Analiz ta syntezy elektromekhanichnykh system zi sposterihachamy stanu: navchalnyi posibnyk dlia studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiv [Analysis and synthesis of electromechanical systems with state observers: a study guide for students of higher educational institutions]. Donetsk: Nord-Pres [in Ukrainian].
9. Marushhak, Ya. (2005) *Syntezy elektromekhanichnykh sistem z poslidovnim ta paralel'nim keruvanniam* [Synthesis of Electromechanical systems with serial and parallel control]. L'viv, «L'vivs'ka politekhnika» Publ. [in Ukrainian].
10. Popovych, M., Borysyk, M. & Havryliuk, V. (1993) *Teoriia elektropryvodu* [Theory of electric drive]. Kyiv: Vyscha shk. [in Ukrainian].
11. Zadorozhnia, I. & Zadorozhnyi M. (2021) *Optyimizatsiia ta vzaiemozviazky parametriv dvomasovykh elektromekhanichnykh sistem* [Optimization and interrelations of parameters of two-mass electromechanical systems]. Kramatorsk : DDMA [in Ukrainian].
12. . Zadorozhnia, I. & Zadorozhnyi M. Synthesis of an electromechanical system of the ultimate degree of stability and minimal oscillation of an elastic mechanical subsystem. *Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*. №. 27 (1249). 2017. Pp. 150–155.
13. Zadorozhnia, I. & Zadorozhnyi M. Synthesis of electromechanical system parameters based on the effect of resonant electromechanical interaction Visnyk KNTU, 2023. No 1 (84). P. 18–24. doi: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.1.2>

А. В. ЙОВЧЕНКО

кандидат технічних наук,
доцент кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації
Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-7069-1092

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАРКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Зі збільшенням кількості автомобільного парку України збільшується кількість відпрацьованих газів в навколишньому середовищі. У ЄС триває розробка стандарту Євро 7. З 2035 року пропонується обмежити викиди CO₂ до нуля, що робить неможливим випуск нових автомобілів з ДВЗ. Альтернативою можуть стати електро-мобілі. Однак, заміна всього парку автомобілів України, що працюють на ДВЗ, на електро-мобілі спричинить зростання споживання електроенергії і можливий її дефіцит. В даній роботі визначено кількість електроенергії, яку необхідно продукувати у випадку заміни всіх автомобілів з ДВЗ на електро-мобілі. Досліджено можливість енергосистеми України і оцінено її спроможність в обслуговуванні автопарку електро-мобілів. В наведеному випадку автомобільна промисловість посяде третє місце за споживанням електроенергії, оскільки річний обсяг виробництва електроенергії збільшиться понад 18% у порівнянні від обсягу електроенергії за 2021 рік.

Розвиток електротранспорту повинен відбуватися паралельно з розвитком енергетики. Кількість зарядних станцій відповідати потребам водіїв як в містах, так і поза населеними пунктами. Розширення мережі зарядної інфраструктури є важливим завданням для подальшого розвитку сфери електро-мобілів.

Задля уникнення дефіциту електричної енергії та необхідного екологічного ефекту потрібно збільшити виробництво «зеленої» енергетики, щоб не збільшувати виробництво електроенергії тепловими електростанціями. Наведено необхідну кількість електростанцій, що працюють для покращеного екологічного стану на відновлюваних джерелах енергії для потреб електро-мобілів. Побудова доступних, швидких зарядних станцій та використання при цьому відновлюваних джерел енергії є важливим завданням для розвитку електро-мобілів.

Ключові слова: електроавтомобіль, відновлювані джерела енергії, сонячні енергетичні системи, фотоелектричні батареї.

A. V. YOVCHENKO

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Automobiles
and Technologies of Their Operation
Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0002-7069-1092

STUDY OF THE POSSIBILITY OF THE ENERGY SYSTEM OF UKRAINE IN PROVIDING SERVICE TO THE FLEET OF ELECTRIC VEHICLES

With the increase in the number of cars in Ukraine, the amount of exhaust gases in the environment increases. In the EU, the development of the Euro 7 standard continues. From 2035, it is proposed to limit CO₂ emissions to zero, which makes it impossible to produce new cars with internal combustion engines. Electric cars can be an alternative. However, the replacement of the entire fleet of cars in Ukraine, running on internal combustion engines, with electric cars will cause an increase in electricity consumption and a possible shortage of it. In this work, the amount of electricity that must be produced in the case of replacing all internal combustion engine cars with electric cars is determined. The possibilities of the energy system of Ukraine were studied and its ability to service the fleet of electric vehicles was assessed. In this case, the automotive industry will take third place in terms of electricity consumption, as the annual amount of electricity production will increase by more than 18% compared to the amount of electricity for 2021.

The development of electric transport should take place in parallel with the development of energy. The number of charging stations should meet the needs of drivers both in cities and outside populated areas. Expanding the network of charging infrastructure is an important task for the further development of the field of electric vehicles. In order to avoid the shortage of electrical energy and the necessary ecological effect, it is necessary to increase the production of "green" energy, so as not to increase the production of electricity by thermal power plants. The necessary number of power plants operating for improved ecological status on renewable energy sources for the needs of electric vehicles is given. The construction of affordable, fast charging stations and the use of renewable energy sources is an important task for the development of electric vehicles.

Key words: electric cars, renewable energy sources, solar energy systems, photovoltaic batteries.

Постановка проблеми

Разом зі стрімким темпом розвитку автомобільного транспорту стрімко зростають і темпи забруднення довкілля шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах автомобільного транспорту. Основними причинами збільшеного забруднення навколишнього середовища є неналагоджена робота транспортного засобу, неякісне паливо, старі вітчизняні машини, неякісні дороги та ін. Гостро постало питання про зменшення кількості викидів задля збереження здоров'я людей та навколишнього середовища для майбутніх поколінь. З цією метою в різних країнах стали впроваджуватися стандарти, що визначають норми вмісту певних речовин у відпрацьованих газах, яких повинні дотримуватися виробники автотранспортних засобів для продажу своїх автомобілів у цих країнах. ЄС розроблено стандарти Євро щодо норм викидів автомобільним транспортом, що регулюють вміст оксидів азоту, оксиду вуглецю, вуглеводнів, твердих частинок та ін. Дані стандарти також регулюють норми на шумове забруднення. Окрім забруднення навколишнього середовища автомобільний транспорт також є джерелом шумового забруднення, що може скоротити тривалість життя на 8–10 років.

На сьогодні в Європейському Союзі та деяких інших країнах Європи, що не входять до ЄС, чинний стандарт Євро 6, що був впроваджений у вересні 2014 року і за своєю тривалістю ця версія діє найдовше, порівняно з попередніми (станом на 2024 р). Зараз в ЄС триває розробка нового стандарту Євро 7, а з 2035 року пропонується обмежити викиди CO₂ в нових автомобілях до нуля, що робить фактично неможливим випуск нових автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння. Ця проблема стосується також і України, оскільки наша держава перебуває на шляху вступу до Європейського Союзу, то ж повинна відповідати вимогам ЄС і в цьому питанні.

Масова заміна автомобільного парку України, що працюють на ДВЗ, на електромобілі спричинить зростання споживання електроенергії і можливий її дефіцит. Для запобігання цій проблемі слід обчислити можливу кількість електроенергії, необхідну для живлення всіх електромобілів України. Отримане значення потрібно порівняти з наявними можливостями виробництва електроенергії і оцінити, чи вистачить їх для забезпечення потреб автотранспорту і, за необхідності, обчислити необхідну кількість електростанцій певної потужності для задоволення цих потреб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Єврокомісією в 2020 році було запропоновано ряд ініціатив – «European Green Deal», метою яких є зменшення викидів CO₂ на 55% відносно показників 1990 р. до 2030 р, досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р. Одним із питань було інвестування в екологічний транспорт. У 2021 р. був запропонований законодавчий пакет «Fit for 55», що пропонує зробити скорочення викидів на 55% до 2030 р. юридичним зобов'язанням, зменшення викидів CO₂ від транспортних засобів на 100% з 2035 р, що робить фактично неможливим виробництво та продаж транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння [1; 2; 3].

Вирішенням можуть стати автомобілі з електродвигунами. Однак, збільшення кількості електричних транспортних засобів може призвести до збільшення вживання електроенергії та навантаження, на яке не розрахована енергосистема країни. Слід зауважити, що при виробництві електроенергії значну частку займають теплові електростанції, що також продукують величезну кількість шкідливих викидів в атмосферу. Решта видів електростанцій, а саме атомні, гідро-, вітрові та сонячні, не є масовими джерелами шкідливих викидів в атмосферу.

При використанні електроенергії від мережі прояв від використання електромобілів зменшується, так як зростають викиди від теплових електростанцій. За рахунок використання електроавтомобілів покращується екологічний стан тільки в районах, де вони застосовуються. Однак там, де розташовуються теплові електростанції, кількість викидів в навколишнє середовище зростає [4].

В зв'язку з цим набувають поширення зарядні станції, що працюють від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), енергії вітру чи сонця. Тобто, для заряджання електромобілів використовується чиста електроенергія, покращується екологічний стан навколишнього середовища не тільки за рахунок використання електромобілів, але і за рахунок використання чистої енергії [5].

В більшості випадків в якості відновлюваних джерел енергії використовують енергію сонця, тобто сонячні енергетичні системи. До складу системи зарядних електростанцій з ВДЕ можуть входити генератори електричної та теплової енергії, акумулятори енергії, засоби перетворення та передачі електричної та теплової енергії, резервні джерела живлення (дизельні електроустановки) та ін. Максимальна кількість акумуляторних батарей не повинна бути менше мінімального значення, що необхідне для функціонування зарядної станції. За рахунок їх використання може покращитись енергонезалежність та електробезпека зарядних станцій, адже ВДЕ можна використовувати не тільки при заряджанні електромобілів, а й для побутових потреб [5–9].

Формулювання мети досліджень

Метою роботи є визначення кількості електроенергії, що необхідна для забезпечення всього автопарку України при заміні його на електромобілі. Приймаємо, що вони є подібними за масою і потужністю двигунам з ДВЗ та виконують таку ж кількість транспортної роботи.

Викладення основного матеріалу дослідження

З кожним роком зростає кількість електромобілів. На сьогодні в Україні зареєстровано понад 40 тис. електромобілів. Найбільше електромобілів знаходиться у Львівській, Київській та Одеській областях [10].

Зараз кількість автомобілів різних типів, віку, виду двигуна в Україні становить близько 12,2 мільйонів одиниць. З них легкових – 10,1 млн., вантажних – 1,9 млн., автобусів – 0,2 млн. За даними Держстат України за 2021 рік в Україні автомобільним транспортом спожито 3547 тис. т дизельного палива, 1691 тис. т бензину, 1224 тис. т зрідженого нафтового газу та 841 ТДж природного газу.

Визначимо кількість всієї енергії, що споживається автомобілями з ДВЗ:

$$E_{pi} = m_i \cdot q_i, \text{ ГДж},$$

де m_i – маса палива, що споживається автомобілями з двигунами i -типу, т; q_i – енергетична цінність i -виду палива, ГДж/т. Для бензину $q_{бенз}=43,2$ ГДж/т, для дизельного палива $q_{диз}=43,1$ ГДж/т, для ЗНГ $q_{знг}=46,1$ ГДж/т.

$$E_{п бенз} = 1691000 \cdot 43,2 = 73051200 \text{ ГДж} = 73051,2 \text{ ТДж};$$

$$E_{п диз} = 3547000 \cdot 43,1 = 152875700 \text{ ГДж} = 152875,7 \text{ ТДж};$$

$$E_{п знг} = 1224000 \cdot 46,1 = 56426400 \text{ ГДж} = 56426,4 \text{ ТДж};$$

$$E_{п ПГ} = 841000 \text{ ГДж} = 841 \text{ ТДж}.$$

Загальна кількість енергії, що споживається автотранспортом з ДВЗ:

$$E_{п заг} = \sum_{i=1}^n E_{pi} = 73051,2 + 152875,7 + 56426,4 + 841 = 283194,3 \text{ ТДж}.$$

Різні типи силових установок відрізняються своєю ефективністю, що характеризується коефіцієнтом корисної дії. Тому кількість витраченої енергії для виконання однакої транспортної роботи автомобілями з приблизно однакою масою, але з різними силовими установками приблизно рівної потужності для них буде відрізнятися. Так, ККД двигуна з іскровим запалюванням становить приблизно 20–30% залежно від моделі, дизеля – 30–50%, трансмісії автомобіля – 90%, тоді як ККД автомобільного електродвигуна сягає 85–95%.

Кількість енергії, що витрачається на транспортну роботу, дорівнює добутку кількості енергії, спожитої двигуном, ККД цього двигуна та ККД трансмісії (табл. 1).

Таблиця 1

Кількість енергії, що витрачається на транспортну роботу автомобільним транспортом в Україні

Паливо	$E_{п}$, ТДж	$\eta_{тр}$	$\eta_{дв}$	$E_{к}$, ТДж
Бензин	73051	0,90	0,25	16437
Дизельне паливо	152876	0,90	0,40	55035
Зріджений нафтовий газ	56426	0,90	0,25	12696
Природний газ	841	0,90	0,25	189
Всього	283194	–	–	84357

Розглянемо випадок при заміні всього автопарку України на еквівалентні електромобілі, однак з подібною масою і потужністю двигуна. Кількість енергії для забезпечення річних потреб автопарку з електродвигунами становитиме (рис. 1):

$$E_{п ел} = \frac{E_{к заг}}{\eta_{дв е} \cdot \eta_{тр е}} = \frac{84357}{0,90 \cdot 0,95} = 98663,1 \text{ ТДж},$$

де $\eta_{дв е}$ – коефіцієнт корисної дії електродвигуна. Приймаємо $\eta_i = 0,90$.

$\eta_{тр е}$ – коефіцієнт корисної дії трансмісії електромобіля. Приймаємо $\eta_i = 0,95$.

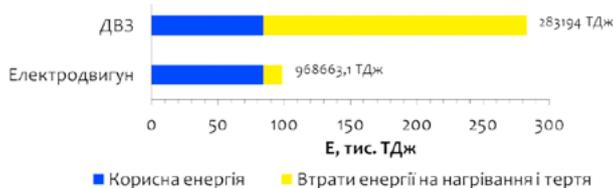


Рис. 1. Порівняння витрат енергії

Більшість енергії, що виробляється ДВЗ, витрачається на тертя і теплоту, тоді як електродвигун є набагато ефективнішим.

Оскільки кількість виробленої і спожитої електроенергії зазвичай вимірюється у ват-годинах, то отримане значення $E_{п\text{ен}}$ переведемо у Вт·год:

$$E_{п\text{ен}} = 98663,1 \cdot 10^{12} \cdot 2,78 \cdot 10^{(-4)} = 27428,3 \cdot 10^9 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 27428,3 \text{ ГВт} \cdot \text{год}$$

Щоб дізнатися, чи спроможна енергосистема України забезпечити потреби автотранспорту в електроенергії, дослідимо її обсяги виробництва і споживання.

Обсяги виробництва електроенергії в Україні наведені в табл. 2. Для розрахунку можливостей енергосистеми України для забезпечення автомобільного електротранспорту електроенергією візьмемо дані за 2021 рік.

Таблиця 2

Обсяги виробництва електроенергії за типом електростанцій [11–13]

Рік	Виробництво за типом, ГВт·год					Виробництво загальне, ГВт·год
	АЕС	ТЕС і ТЕЦ	ГЕС і ГАЕС	ВДЕ	інші	
2016	80950,1	61494,4	9297,5	1560,3	1515,1	154817,4
2017	85576,1	55841,3	10567,7	1898,1	1530,9	155414,1
2018	84398,2	58807,8	12008,4	2632,7	1503,5	159350,6
2019	89002,7	55785,0	7868,6	5542,2	1768,6	159967,1
2020	76202,6	52360,8	7583,9	10862,0	1846,9	148856,2
2021	86205,4	45834,0	10445,8	12519,7	1570,8	156575,7

Якщо до фактичного обсягу виробництва додати кількість, необхідну для забезпечення потреб електроавтотранспорту, то загальна необхідна кількість виробництва електроенергії складе:

$$E_{\text{факт}} = 156575,7 + 27428,3 = 184004,0 \text{ ГВт} \cdot \text{год.}$$

У відносних показниках обсяг виробництва електроенергії доведеться збільшити на:

$$\Delta\%_{\text{факт}} = \frac{27428,3}{156575,7} \cdot 100\% = 17,52\%.$$

Отже, повна заміна електромобілями автопарку України з традиційними двигунами спричинить зростання річних обсягів виробництва електроенергії на 17,52% від обсягу за 2021 рік, а саме на 27428,3 ГВт·год/рік, що ставить електротранспорт третім за величиною споживачем електроенергії в Україні (рис. 2).

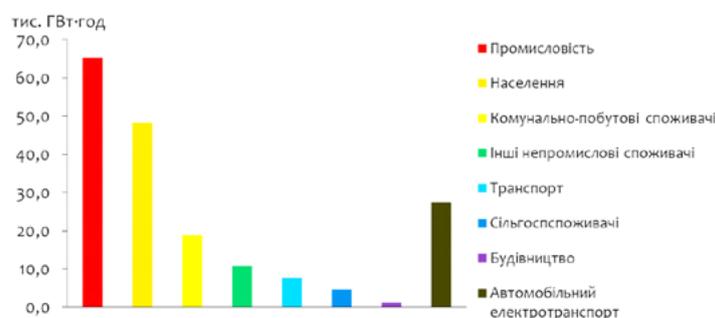


Рис. 2. Кількість електроенергії, що застосовується різними споживачами

Якщо 27428,3 ГВт·год на рік для потреб електромобілів забезпечувати потужностями лише відновлювальної енергетики, що є пріоритетним і на сьогодні, і в майбутньому, то доведеться будувати дуже багато електростанцій. Для виробництва потрібної кількості електроенергії відновлюваними джерелами енергії потрібно близько 8000 МВт потужності вітрових електростанцій, що дорівнює 40 Ботієвським ВЕС, або 22300 МВт сонячних електричних станцій, що дорівнює 69 Покровським ВЕС, або 10700 МВт гідроелектричним станціям, що дорівнює 7 Дніпровським ГЕС.

Висновки

Електромобілі не є джерелами токсичних речовин, однак ці речовини можуть продукуватися при виробництві електроенергії ТЕС, що становить 30% від загальної електроенергії в Україні та займають 56% від встановленої потужності енергосистеми України. Розвиток електротранспорту повинен відбуватися паралельно з розвитком енергетики, що працює на ВДЕ. Перш ніж вкладатися в розвиток електротранспорту, слід подбати про забезпечення його достатньою кількістю енергії. Для уникнення дефіциту електричної енергії та необхідного екологічного ефекту потрібно збільшити виробництво «зеленої» енергетики, щоб не збільшувати виробництво електроенергії тепловими електростанціями.

Список використаної літератури

1. The European Parliament. Communication From The Commission The European Green Deal. URL: https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en (дата звернення: 26.04.2024).
2. Fit for 55. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> (дата звернення: 26.04.2024).
3. Купрієнко С.Р., Йовченко А.В. Оцінювання спроможності енергосистеми України в забезпеченні обслуговування парку електромобілів. *Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України»*. Кам'янське, 2023. С. 107-108.
4. Всесвітня карта електростанцій. URL: www.plugshare.com/ (дата звернення: 26.04.2024).
5. Концепція розвитку ринку електростанцій. URL: https://cdn.regulation.gov.ua/d8/cf/1d/fc/regulation.gov.ua_El.car-conception-1.pdf (дата звернення: 26.04.2024).
6. Кількість електрокарів в Україні. URL: <https://autogeek.com.ua/kilkist-elektromobilivv-ukraini-zrosla-do-35-763-odynyts-statystyka/> (дата звернення: 26.04.2024).
7. Принцип роботи сонячних батарей. URL: <http://elektrik.info/main/news/401-kak-%20ustroyeni-i-rabotayut-solnechnyebatarei/> (дата звернення: 26.04.2024).
8. Принцип роботи інверторів. URL: <http://electricalschool.info/electronica/1889-%20chto-takoe-invertor-naprjazhenija-kak.html> (дата звернення: 26.04.2024).
9. Розвиток інфраструктури для електромобілів. URL: <https://opendatobot.ua/analytics/electocars/> (дата звернення: 26.04.2024).
10. В Україну ввезли рекордну кількість електромобілів у 2023 році. Показник у чотири рази перевищив довоєнний 2021 рік. URL: <https://forbes.ua/news/v-ukrainu-vvezli-rekordnu-kilkist-elektromobiliv-u-2023-rotsi-pokaznik-u-chotiri-razi-perevishchiv-dovoennyi-2021-rik-24012024-18735/> (дата звернення: 26.04.2024).
11. Державна служба статистики України. Паливно-енергетичні ресурси України. Статистичний збірник. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/5a/Arch_per_bl.htm (дата звернення: 26.04.2024).
12. Міністерство енергетики України. Інформація про виробничу діяльність електроенергетичних підприємств ПЕК за 12 місяців 2020-2021 років. URL: https://mev.gov.ua/statistics?page=9&_cf_chl_tk=kWPVYxSGSHPrLABF44YC8zgZeaxWkt_wZc_hRuvMIQ-1714250296-0.0.1.1-1599/ (дата звернення: 26.04.2024).
13. Дані про енерго-підприємства України. URL: <https://www.energo.ua/ua/companies/> (дата звернення: 26.04.2024).

References

1. The European Parliament. Communication From The Commission The European Green Deal. Retrieved from: https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en (accessed 26 April 2024).
2. Fit for 55. Retrieved from: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition> (accessed 26 April 2024).
3. Kuprienko S.R., Yovchenko A.V. (2023) Otsinyuvannya spromozhnosti enerhosystemy Ukrayiny v zabezpechenni obsluhovuvannya parku elektromobiliv [Assessing the capacity of the Ukrainian energy system to provide reliable service to the fleet of electric vehicles] / Zbirnyk tez Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Innovatsiyini aspekty rozvytku avtomobil'noho transportu Ukrayiny» [Collection of proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Innovative aspects of the development of automobile transport in Ukraine”], pp. 107-108.
4. World map of electric charging stations. Retrieved from: www.plugshare.com (accessed 26 April 2024).
5. The concept of the development of the market of electric charging stations. Retrieved from: https://cdn.regulation.gov.ua/d8/cf/1d/fc/regulation.gov.ua_El.car-conception-1.pdf (accessed 26 April 2024).
6. Number of electric cars in Ukraine. Retrieved from: <https://autogeek.com.ua/kilkist-elektromobilivv-ukraini-zrosla-do-35-763-odynyts-statystyka> (accessed 26 April 2024).
7. The principle of operation of solar batteries. Retrieved from: <http://elektrik.info/main/news/401-kak-%20ustroyeni-i-rabotayut-solnechnyebatarei/> (accessed 26 April 2024).
8. The principle of operation of inverters. Retrieved from: <http://electricalschool.info/electronica/1889-%20chto-takoe-invertor-naprjazhenija-kak.html> (accessed 26 April 2024).
9. Development of infrastructure for electric vehicles. Retrieved from: <https://opendatobot.ua/analytics/electocars> 2022 (accessed 26 April 2024).
10. A record number of electric cars were imported to Ukraine in 2023. The indicator was four times higher than the pre-war year 2021. Retrieved from: <https://forbes.ua/news/v-ukrainu-vvezli-rekordnu-kilkist-elektromobiliv-u-2023-rotsi-pokaznik-u-chotiri-razi-perevishchiv-dovoennyi-2021-rik-24012024-18735> (accessed 26 April 2024).
11. State Statistics Service of Ukraine. Fuel and energy resources of Ukraine. Statistical collection. Retrieved from: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/5a/Arch_per_bl.htm (accessed 26 April 2024).
12. Ministry of Energy of Ukraine. Information on the production activity of electric power enterprises of PEK for 12 months of 2020-2021. Retrieved from: https://mev.gov.ua/statistics?page=9&_cf_chl_tk=kWPVYxSGSHPrLABF44YC8zgZeaxWkt_wZc_hRuvMIQ-1714250296-0.0.1.1-1599 (accessed 26 April 2024).
13. Data on energy enterprises of Ukraine. Retrieved from: <https://www.energo.ua/ua/companies> (accessed 26 April 2024).

В. І. КРАВЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії
Херсонський державний аграрно-економічний університет
ORCID: 0000-0003-2245-7194

ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА БІОПАЛИВА НА ОСНОВІ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ТА БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

У статті розглянуті підходи до термоутилізації комунальних відходів в частині осадів стічних вод та одержання продуктів спалювання, які можуть використовуватись як будівельний матеріал. Утворення біо-відходів у вигляді осадів стічних вод на сьогодні досягли обсягу 5 мільярдів тон і продовжують накопичуватись на мулових майданчиках комунальних очисних споруд. Такий стан створює екологічну небезпеку навколишньому середовищу і є серйозною проблемою, що вимагає термінового її вирішення. Застосовуючи термохімічну переробку осадів як паливо на промислових та комунальних підприємствах, можна отримувати теплову енергію і золіві відходи, які використовувати як заповнювач асфальто-бетонних і звичайних будівельних сумішей на мінеральних в'язучих. У ході проведення дослідження було отримано біопаливо у вигляді пелет, для виготовлення яких як сировину використовували осади комунальних стічних вод та тирсу хвойних дерев, як відходи механічної їх переробки. Експериментальним шляхом встановлені основні теплотехнічні характеристики пелет: щільність, зольність та теплота згоряння. Результати показали, що суміш осадів стічних вод та тирси при пресуванні дозволяє виготовляти щільні (вище 1,0 г/см³) та висококалорійні гранули із теплотою згоряння вище 18,0 МДж/кг навіть при відносно невисоких тисках (> 130 МПа). Одержані при спалюванні зольні залишки не стійкі, легко руйнуються з переходом у гетеродисперсний стан і придатні для застосування як будівельний матеріал. Застосування такого способу утилізації осадів стічних вод дозволить у комплексі розв'язувати проблеми ресурсозбереження, енергоефективності та захисту довкілля: утилізувати осади стічних вод, знизити собівартість продукції будівництва і скоротити витрати природної сировини та паливно-енергетичних ресурсів.

Ключові слова: осади стічних вод, утилізація, біопаливні пелети, термохімічна переробка, зольні залишки, будівельні матеріали.

V. I. KRAVCHENKO

Candidate of Technical Science, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Hydraulic Construction, Water
and Electrical Engineering
Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID: 0000-0003-2245-7194

PRODUCTION AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF BIOFUELS BASED ON SEWAGE SLUDGE FOR HEAT ENERGY AND BUILDING MATERIALS

In the article considered approaches to the thermal utilization of municipal waste in terms of sewage sludge and obtaining combustion products that can be used as construction material. The generation of bio-waste in the form of sewage sludge has reached the volume of 5 billion tons today and continues to accumulate on sludge sites of municipal sewage treatment plants. This condition creates an environmental hazard and is a serious problem that requires an urgent solution.

By applying thermochemical processing of sewage sludge as fuel at industrial and communal enterprises, it is possible to obtain heat energy and ash waste, which can be used as an aggregate in asphalt-concrete and ordinary building mixtures with mineral binders. In the course of the research, biofuel was obtained in the form of pellets, for the production of which the sediments of municipal wastewater and coniferous sawdust were used as raw materials, as waste from their mechanical processing. The main thermotechnical characteristics of the pellets were established experimentally: density, ash content and heat of combustion. The results showed that the mixture of sewage sludge and sawdust during pressing allows the production of dense (above 1.0 g/cm³) and high-calorie pellets with a heat of combustion above 18.0 MJ/kg even at relatively low pressures (> 130 MPa). The ash residues obtained during combustion are not stable, they are easily destroyed with the transition to a heterodisperse state and are suitable for use as a building material. The use of this method of disposal of sewage sludge will allow solving the problems of resource conservation, energy efficiency and environmental protection in a complex way: dispose of sewage sludge, reduce the cost of construction products and reduce the costs of natural raw materials and fuel and energy resources.

Key words: sewage sludge, utilization, biofuel pellets, thermochemical processing, ash residues, building materials.

Постановка проблеми

Біоенергетика, як одна з технологій відновлюваної енергетики, включає різні природні і похідні матеріали, що у першу чергу відносяться до відходів [1]. Осади стічних вод (ОСВ) є значним побічним продуктом міських каналізаційних очисних споруд. Їх обробка та утилізація стали однією з найсерйозніших екологічних проблем в Україні і світі. Так, на сьогодні в Україні кількість накопиченого осаду сягає більше 5 млрд. т [2], а щорічно у процесі очищення тільки на комунальних каналізаційних очисних спорудах утворюється $45 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ [3] біологічно та бактеріологічно забрудненого осаду, який залишається роками на звалищах, що виводить з обороту значні площі земель та створює екологічну небезпеку навколишньому середовищу, виділяючи при цьому такі забруднюючі речовини як метан, сірководень, оксид азоту, аміак тощо.

Традиційні методи утилізації ОСВ, що застосовуються у світі, наприклад, шляхом депонування та використання у сільському господарстві, є нежиттєздатними через брак ефективних технологій, земельних площ та зростаючі проблеми навколишнього середовища, пов'язані з присутністю шкідливих речовин [2].

Сьогодні більш суворі вимоги по відношенню поводження з місцевими стічними осадами ставлять перед країною нові задачі, одна з яких – знайти напрямки для зміни способу їх утилізації. Так, Закон України «Про водовідведення та очищення стічних вод» від 12.01.2023 р. зобов'язує суб'єкти господарювання, що забезпечують водовідведення, здійснювати облік обсягів утворення, обробки, зберігання та повторного використання ОСВ. Тому зважаючи на значні обсяги утворення та накопичення ОСВ, актуальною є проблема їх ефективної утилізації. Особливого значення утилізація ОСВ може набути у тому випадку, коли буде вирішуватися не тільки природоохоронне завдання, а й економічне, сприяючи поповненню енергетичних, сировинних і матеріальних ресурсів, зокрема будівельних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

ОСВ це комбіновані речовини неорганічного та органічного походження, які містять сполуки кремнію, алюмінію, заліза, окислу кальцію, магнію, калію, натрію та ін. [4], що можуть бути використані як будівельний матеріал для виробництва цегли, виготовлення штучного каменю – наповнювача для виробництва бетону, як добавку до асфальтобетонних сумішей [5].

Останнім часом було впроваджено низку сучасних технологій, що пропонують альтернативний підхід до утилізації ОСВ [6]. Так, оскільки теплотворна здатність сухого ОСВ знаходиться в межах від 10 до 14,5 МДж/кг, що приблизно дорівнює теплоті згоряння бурого вугілля [2], технологію термічної утилізації можна застосовувати на промислових та комунальних підприємствах.

Процес розповсюдження метода спалювання мулових осадів в Україні і світі стримується не тільки високою їх вологістю [6], що можна вирішити із застосуванням сучасного сушильного обладнання, а ще й мінливістю їх складу, розмірами та формою. Через неоднорідний характер горіння такого палива у камері спалювання котла підвищується нерівномірність теплових навантажень його поверхонь, що у кінцевому рахунку призведе до погіршення екологічної ситуації [2].

Перспективним та рентабельним способом переробки осадів може стати використання ОСВ у суміші з іншими біовідходами (наприклад, тирси) як палива заданої форми у вигляді пелет або брикетів, що підвищить характеристики горіння та теплоутворювальну здатність такого палива [1, 2].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є експериментальна оцінка особливостей виготовлення твердого композитного біопалива у вигляді пелет з використанням осадів стічних вод і тирси сосни для термохімічної їх переробки з отриманням теплової енергії і зольних залишків, які можуть використовуватися як будівельний матеріал.

Викладення основного матеріалу дослідження

В експериментальних дослідженнях по виготовленню пелет використовувалась суміш мулових ОСВ і тирси сосни. Обласним комунальним підприємством (ОКВП) «Дніпро-Кіровоград» у м. Кропивницький було надано два види осадів з системи каналізаційних очисних споруд: ОСВ-1 – з мулових площадок після двох років зберігання; ОСВ-2 – з мулових площадок після трьох років зберігання.

Оскільки надані зразки мулових осадів мали високу вологість, тому перед виготовленням з них палива здійснювалась їх підготовка шляхом термічної та механічної обробки. Після обробки зразки руйнувалися з утворенням окремих частинок, з яких переважна кількість (6–70%) мала розміри 3–5 мм і вологість 16%.

Вибір тирси фракційного складу 0,1–1,0 мм, як компонента композитного палива, був обумовлений широкою її доступністю та достатньо високою теплою згоряння у гранульованому стані 17,2 МДж/кг [7].

При експериментальних дослідженнях виготовлення пелет з суміші тирси та ОСВ застосовувалась наступна технологічна послідовність: підсушування ОСВ та здрибнення; підготовка суміші компонентів; пресування у закриту матрицю; дослідження поверхні пелет; визначення зольності виготовлених пелет.

Для виготовлення пелет з суміші тирси та ОСВ у закритій матриці використовувалась універсальна випробувальна машина УВМ-50, загальний вид робочої частини якої та спеціально виготовлений пристрій, наведено на рисунку 1.

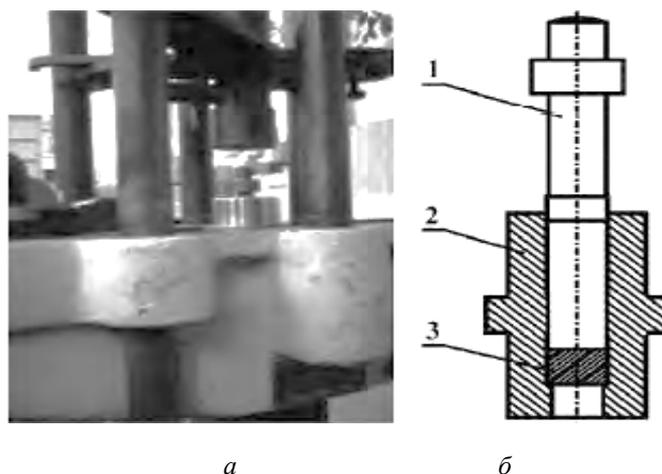


Рис. 1. Робоча частина машини УВМ-50 з встановленим пресовим пристроєм (а), пресовий пристрій (б)

Пресовий пристрій складається з пуансона 1, матриці 2 з внутрішнім діаметром 16 мм та упору 3, встановленого у нижній частині корпусу матриці.

Процес виготовлення пелет у закрити матрицю здійснювався наступним чином. У матрицю 2 пресового пристрою (рис. 1, б), встановлену у робочій частині випробувальної машини, спочатку завантажувалася суміш ОСВ і тирси у визначених пропорціях, приготовлених окрема. Потім у матрицю встановлювався пуансон 1, вмикалася машина УВМ-50 і відбувалося стискання сировини пуансоном з фіксацією значень зусилля пресування. При досягненні планового тиску пресування суміші та утворення сформованого зразка гранули, навантаження знімалося, він виймався і визначалися його фрактографії поверхонь та щільність.

Для фрактографічного вивчення структури поверхонь гранул біопалива, виготовлених з різної сировини, використовувалася оптико-цифровий блок у складі: стереоскопічний мікроскоп моделі МБС-9, Web-камера та ноутбук.

Оцінку зольності здійснювали з використанням муфельної печі. Зольність аналітичної проби сировини визначали за формулою, %:

$$A^a = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де m_1, m_2, m_3 – маса тигля відповідно прожареного, з наважкою проби сировини та із зольним залишком після прожарювання, г.

Перерахунок зольності аналітичної проби на суху масу проводили за формулою, %:

$$A^c = A^a \frac{100}{100 - W^a}, \quad (2)$$

де W^a – вологість сировини, %.

Основні результати експериментальних досліджень наведені у таблиці 1. Загальний вигляд пелет, виготовлених з сумішей мулових осадів і тирси наведені на рисунку 2.

За результатами експериментів по виготовленню композитного палива у вигляді пелет визначено, що у пресовому пристрої з вертикальним пуансоном і закритою матрицею при застосуванні суміші тирси вологістю 12–14% і мулових осадів в різних пропорціях при кінцевих тисках 130,5...217,5 МПа утворюються зразки, які мають доволі гладку бокову поверхню (рис. 2) та достатньо високу питому щільність ρ_n більше 1,0 г/см³ (табл. 1), яка відповідає вимогам європейських стандартів $\rho \geq 1,0$ г/см³.

За результатами експериментів по виготовленню композитного палива у вигляді пелет визначено, що у пресовому пристрої з вертикальним пуансоном і закритою матрицею при застосуванні суміші тирси вологістю 12–14% і мулових осадів в різних пропорціях при кінцевих тисках 130,5...217,5 МПа утворюються зразки, які мають доволі гладку бокову поверхню (рис. 2) та достатньо високу питому щільність ρ_n більше 1,0 г/см³ (табл. 1), яка відповідає вимогам європейських стандартів $\rho \geq 1,0$ г/см³.

Характер структури поверхні пелет та щільність проміжків між часточками сировини після пресування вивчається на зразках різної густини з використанням мікроскопу і окуляру зі шкалою. Фото структури поверхні зразків композитних пелет показано на рисунку 3.

Таблиця 1

Основні результати експериментальних досліджень

№	Сировина	% сировини у суміші	Щільність пелет, ρ_n г/см ³		Теплота згоряння, Q_c , МДж/кг	Зольність, A_c %
			Тиск 130,5 МПа	Тиск 217,5 МПа		
1	Тирса	90	1,01	1,09	17,3	4,7
	ОСВ-1	10				
2	Тирса	70	1,03	1,2	17,9	13,2
	ОСВ-1	30				
3	Тирса	50	1,08	1,27	18,6	23,3
	ОСВ-1	50				
4	Тирса	90	1,02	1,1		
	ОСВ-2	10				
5	Тирса	70	1,05	1,21		
	ОСВ-2	30				
6	Тирса	50	1,1	1,27		
	ОСВ-2	50				

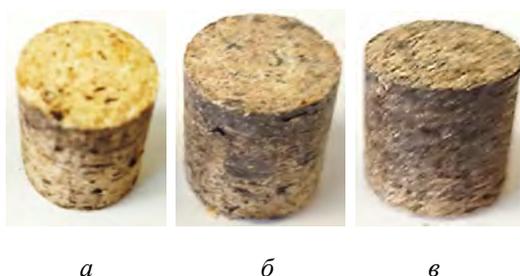


Рис. 2. Зразки пелет (діаметр 16 мм) з ОСВ-2 та тирси, вміст якої складає, %: *a* – 90; *б* – 70; *в* – 50, виготовлених при тиску 130,5 МПа



Рис. 3. Фото структури поверхні зразків композитних пелет: *a* – зовнішня поверхня зразка, виготовленого з тирси і ОСВ-1 з кінцевим тиском 130,5 МПа; *б* – те ж з кінцевим тиском 217,5 МПа

Результати фрактографічних досліджень показали, що з підвищенням щільності пелет (при кінцевих тисках 130,5 і 217,5 МПа) відстань між часточками на поверхні зменшується у напрямку від 0,08 мм (рис. 3 а) до 0,02 мм (рис. 3 б). Зменшення кількості наявних меж між часточками свідчить про підвищення щільності і міцності зразків, виготовлених з більш високим тиском.

Зольність пелет A_c , що наведена у таблиці 1, визначалася експериментально після їх спалювання, а в подальшому перераховувалася на суху масу досліджуваних пелет. Загальний вигляд зольного залишку після спалювання пелет показано на рисунку 4.

Зольність композитних пелет зростає при збільшенні в них вмісту осаду і, наприклад, при зміні концентрацій тирси і ОСВ-1 від 90/10% до 50/50% зольність збільшується на 20,2% (табл. 1). Зольний залишок мав крихку структуру і при незначних зусиллях легко руйнувався з переходом у гетеродисперсний стан (рис. 4).



Рис. 4. Загальний вигляд зольного залишку після спалювання пелет

Вища теплота згоряння на суху масу Q_c досліджуваних пелет, яка приведена у таблиці 1, визначалася за формулою Д. Менделєєва [8] з урахуванням отриманих експериментальних даних по зольності.

Висновки

Встановлено, що при стискуванні у пресовому пристрої з вертикальним пуансоном і закритою матрицею сумішей тирси та мулових осадів при кінцевих тисках пресування 130,5 і 217,5 МПа, виготовлені зразки мають якісну фактуру та високу щільність: відповідно 1,01 і 1,27 г/см³.

Отримані біопаливні пелети є екологічно нешкідливими, відрізняються малою вартістю при достатньо високих теплотехнічних характеристиках, тому їх використання в термохімічних процесах переробки (спалювання, газифікація, піроліз) є доцільним.

Визначено, що зольність композитних зразків пелет в межах відношень їх концентрацій 90/10–50/50 зростала зі збільшенням вмісту ОСВ і складала відповідно 4,7–23,3%. Такі зольні залишки можуть бути використані як будівельний матеріал, заповнювачі цементів, бетонів, асфальту тощо.

Застосування композитного біопалива на основі осадів стічних вод дозволить комплексно розв'язувати проблеми ресурсозбереження, енергоефективності та захисту довкілля: утилізувати ОСВ, знизити собівартість продукції будівництва і скоротити витрати природних мінералів та паливно-енергетичних ресурсів.

Список використаної літератури

1. Tsze L., Sinchzhun Y., Khuei L., Chanchzhu L., Zhykhua S., Khuatsziun K., Khou V., Huanmin T. Spilne hranuliuvannia osadu stichnykh vod i biomasy: shchilnist i tverdist hranul. *Tekhnolohiia bioresursiv*. 2014. Vol. 166, pp. 435-443. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414007433>
2. Кравченко В.І., Білоус Ю.В., Кравченко В.П. Створення та обґрунтування композитного палива на основі осаду стічних вод. *Технічні науки*. Херсон: ХДАЕУ. 2023. Вип. 3. С. 88–94. URL: <http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403>
3. Снежкін В. М., Петрова Ю. Ф., Пазюк Ж. А., Новікова Ю.П. Стан технології очищення стічних вод в Україні та світі. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2021. Вип. 43. С. 5–12. URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/425-Article%20Text-675-1-10-20210604.pdf>
4. Сорокіна К. Б. «Процеси та обладнання для обробки осадів» і «Технологія переробки та утилізації осадів». Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології. Харків: ХНУМГ. 2017. 116 с.
5. Зоріна О.В., Маврикін Є.О. Сучасні підходи до обробки та утилізації вторинних осадів господарсько-побутових стічних вод // *Водні ресурси. Меліорація і водне господарство*. 2021. № 2. С. 55–68.
6. Malhozhata V. ta Mariush T. Production of solid biofuel from city sewage sludge. *Technical and economic optimization*. 2015. Vol. 33(8). URL: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X15588584>
7. Порівняльна характеристика деяких видів палива. Дата оновлення 2016. URL: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/8_konferenzii/robota_bezpeka_gir_0.pdf
8. Ялечко В.І. Підвищення ефективності енерготехнологічного процесу спалювання здрібненої деревної біомаси: дис...канд. техн. наук. Львів. 2021. 149 с. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2021/dissertation/11612/disyalechkovi.pdf>

References

1. Tsze L., Sinchzhun Y., Khuei L., Chanchzhu L., Zhykhua S., Khuatsziun K., Khou V., Huanmin T. (2014) Spilne hranuliuvannia osadu stichnykh vod i biomasy: shchilnist i tverdist hranul. *Tekhnolohiia bioresursiv*. 166, 435–443. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414007433>
2. Kravchenko V. I., Bilous Yu. V., Kravchenko V. P. (2023) Stvorennia ta obhruntuvannia kompozytnoho palyva na osnovi osadu stichnykh vod. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauk*, 3, 88–94. Available at: <http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403>

3. Sniezhkin V. M., Petrova Yu. F., Paziuk Zh. A., Novikova Yu.P. (2021) Stan tekhnolohii ochyshchennia stichnykh vod v Ukraini ta sviti. *Teplofizyka ta teploenerhetyka*, 43, 5–12.
4. Sorokina K. B. (2017) «Protsesy ta obladnannia dlia obrobky osadiv» i «Tekhnolohiia pererobky ta utylizatsii osadiv». *Hidrotekhnichne budivnytstvo, vodna inzheneriia ta vodni tekhnolohii*. Kharkiv: KhNUMH. 116.
5. ZorIna O.V., MavrikIn E.O. (2021) Suchasni pIdhodi do obrobki ta utylizatsiYi vtorinnykh osadiv gospodarstvo-pobutovih stIchnih vod. *Vodni resursi. MelloratsIya I vodne gospodarstvo*. 2. S. 55–68.
6. Malhozata V. ta Mariush T. (2015) Production of solid biofuel from city sewage sludge. *Technical and economic optimization*, 33(8). Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X15588584>
7. Porivnialna kharakterystyka deiakykh vydiv palyva (2016). Available at: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/8_konferenzii/robota_bezpeka_gir_0.pdf.
8. Yalchko V.I. (2021) Pidvyshchennia efektyvnosti enerhotekhnolohichnoho protsesu spaliuvannia zdribnenoj derevnoi biomasy: dys. ... kand. tekhn. nauk: Lviv, Available at: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2021/dissertation/11612/disyalchkovi.pdf>

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПАРАМЕТРИ ДІОДІВ З НІКЕЛЕВИМ КОНТАКТОМ

Поряд із алюмінієм для металізації кремнієвих діодів використовують нікель. На відміну від алюмінію, нікель добре змочується припоєм і допускає приєднання провідників пайкою, утворює з кремнієм силіциди, стабільні в широкому діапазоні температур, допускає електролітичне формування локальних контактів. Ці переваги дозволяють використовувати простіші методи складання діодів, виключити з технологічного процесу операції фотолітографії з металізації і підвищити, таким чином, ефективність виробництва приладів, знизити їхню собівартість. Але, як показала практика, використання нікелю для створення омичних контактів пов'язане з його негативним впливом на зворотну гілку вольт-амперної характеристики діода. Негативний вплив нікелю на параметри діодів проявляється особливо інтенсивно при наявності структурних дефектів в кремнії. Встановлено, що причиною деградації зворотної гілки вольт-амперної характеристики діода з нікелевим омичним контактом являються окислювальні дефекти упакування, що утворюються в кремнії в процесі проведення технологічної операції «Термічне окислення». З метою запобігання утворенню структурних дефектів в кремнії необхідно було вибрати ефективний метод гетерування. Оскільки окислювальні дефекти упакування утворюються в кремнії, починаючи з першої високотемпературної операції – термічного окислення пластин, тому очевидно, слід використовувати гетерування уже на самому початку технологічного маршруту виготовлення діода. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксialьних шарах являється створення гетеруючої області на зворотному боці підкладки за допомогою проведення в неї дифузії фосфору за температури 1100°C на протязі 60 хв перед технологічною операцією «Термічне окислення». Наведено експериментальні результати дослідження впливу на зворотну характеристику варикапа процесу гетерування, а також проаналізовано можливі механізми цього впливу. Показана ефективність запропонованої технології з використанням гетерування щодо зниження рівня зворотних струмів і підвищення виходу придатних приладів.

Ключові слова: діод, гетерування, окислювальні дефекти упакування, зворотний струм, атоми нікелю, 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

STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE PARAMETERS OF DIODES WITH NICKEL CONTACT

Along with aluminum, nickel is used for the metallization of silicon diodes. Unlike aluminum, nickel is well wetted by solder and allows conductors to be connected by soldering, forms silicides with silicon that are stable over a wide temperature range, and allows electrolytic formation of local contacts. These advantages make it possible to use simpler methods of assembly of diodes, to exclude metallization photolithography operations from the technological process and, thus, to increase the efficiency of device production and reduce their cost price. But, as practice has shown, the use of nickel to create ohmic contacts is associated with its negative effect on the reverse branch of the diode's current-voltage characteristic. The negative effect of nickel on the parameters of diodes is especially intense in the presence of structural defects in silicon. It was established that the reason for the degradation of the reverse branch of the current-voltage characteristic of a diode with a nickel ohmic contact is the oxidation defects of the packaging, which are formed in silicon during the technological operation "Thermal oxidation". In order to prevent the formation of structural defects in silicon, it was necessary to choose an effective heterization method. Since oxidation packing defects are formed in silicon, starting with the first high-temperature operation – thermal oxidation of the plates, it is obvious that heterization should be used at the very beginning of the diode manufacturing process. The conducted studies showed that the most effective method of preventing the formation of structural defects in epitaxial layers is the creation of a heterogenous region on the

reverse side of the substrate by means of phosphorus diffusion into it at a temperature of 1100°C for 60 minutes before the technological operation "Thermal oxidation". The experimental results of the study of the influence on the inverse characteristic of the varicap of the heterogeneity process are given, and the possible mechanisms of this influence are also analyzed. The effectiveness of the proposed technology with the use of heterizing in reducing the level of reverse currents and increasing the output of suitable devices is shown.

Key words: diode, heterization, oxidation packing defects, reverse current, nickel atoms, impurities.

Постановка проблеми

Нікель широко використовується в технології напівпровідникових приладів для виготовлення омичних контактів. Застосування нікелю в якості матеріалу омичних контактів викликає проблеми, пов'язані з деградацією зворотної гілки вольт-амперних характеристик (ВАХ) приладів в процесі формування контакту. Причиною низького виходу діодів являється суттєвий вплив на їх зворотні характеристики структурних дефектів і сторонніх домішок [1; 2]. Серед структурних дефектів, що утворюються в активних областях діодних структур в процесі проведення високотемпературних операцій в першу чергу, слід відмітити окислювальні дефекти упакування (ОДУ) [2]. В діодах на основі кремнію, домішки важких металів, в тому числі і атоми нікелю, прискорюючись вздовж структурних дефектів, проникають в область просторового заряду р-n переходу, де створюють в забороненій зоні кремнію глибокі рівні, через які відбувається додаткова генерація носіїв заряду, що призводить до збільшення рівня зворотних струмів діода. Для зменшення щільності або повної ліквідації структурних дефектів в кремнії використовуються різні методи гетерування [3; 4], але, як показала практика, багато з них виявляються малоефективними для зниження рівня зворотного струму діодів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Досліджуючи утворення інверсійних шарів на межі поділу Si-SiO₂ в технології виготовлення кремнієвих фотоприймачів, було виявлено деяку динаміку руху дислокацій після ізотермічних відпалів, яка була відсутня в зразках без інверсії [5]. 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⁺-типу поза фоточутливими елементами. Це свідчило про рух дислокацій по поверхні структур Si-SiO₂ 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.

Для отримання кремнієвих приладових структур підвищеної якості автори роботи [6] пропонують перед осадженням матеріалів, які формують епітаксціальний шар на кремнієвій підкладці, проводити високотемпературний відпал підкладки, під час якого відбувається випарювання домішки з поверхні підкладки та її перерозподіл. Отже, епітаксціальний шар осаджується на якісно підготовлену підкладку, з якої видалені неконтрольовані домішки. Під час дослідження профілів розподілу домішки в кремнієвій приладовій структурі авторами експериментально встановлено, що розподіл легуючої домішки здійснюється у поверхневому шарі товщиною від 0 до 80 мкм. При збільшенні тривалості осадження та травлення півки процес легування відбувається більш інтенсивно. Відстань, що відлічується від межі розділу «кристал-газова фаза» та яка дорівнює 20 мкм, характеризується більшою недостатністю легуючої домішки.

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.

Авторами [8] розроблена модель системи живлення на кремнієвих сонячних елементах. Вона може бути заряджена від електромережі, а вбудовані кремнієві сонячні елементи сприяють підтримці максимального рівня заряду акумуляторної батареї і складається з зарядного пристрою та перетворювача. Мікроконтролер MCP73831 виконує роль зарядного пристрою. Ця мікросхема є лінійним контролером управління заряду Li-Po акумуляторної батареї. Контролер має можливість заряджати акумуляторну батарею до 5 В у повністю безпечному режимі. До мікросхеми підключено індикатор, який буде горіти протягом усього процесу заряду. Як перетворювач, запропонована мікросхема LT1302-5, що підвищує напругу акумуляторної батареї від 4 В до 5 В. Її вхідна напруга може бути від 2 В. Переваги такої системи полягають у збереженні внутрішнього та навколишнього середовища, оскільки вони не виділяють шкідливих речовин при експлуатації.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є дослідження впливу структурних дефектів на рівень зворотного струму діода з нікелевим омичним контактом і можливості застосування гетерування для поліпшення зворотних характеристик діода і підвищення виходу придатних приладів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Експериментальні зразки. Досліджувані діодні структури виготовлялися за стандартною планарно-епітаксіальною технологією [9] на легованих фосфором кремнієвих епітаксіальних структурах n-типу провідності з питомим опором 2 Ом·см і товщиною 10 мкм, вирощених на кремнієвій підкладці, орієнтованій в кристалографічному напрямку (111). Для виготовлення діодних структур проводилися наступні основні технологічні операції: термічне окислення пластин за температури 1050°C з наступним чергуванням циклів: окислення в сухому кисні (15 хвилин) – окислення у вологому кисні (150 хвилин) – окислення в сухому кисні (15 хвилин); I фотолітографія для розкриття вікон у шарі діоксиду кремнію під дифузію бору; загонка бору методом відкритої труби з джерела домішки В₂О₃ за температури 1100°C протягом 25 хвилин в суміші аргону (60 л/год) і сухого кисню (3 л/год); видалення боросилікатного скла в розчині плавикової кислоти; розгонка бору за температури 1150°C в середовищі сухого кисню (50 л/год) протягом 5 год; II фотолітографія для розкриття вікон в шарі діоксиду кремнію для створення омичних контактів; формування омичних контактів: хімічне осадження нікелю з двох сторін пластини з подальшим відпалом плівки нікелю за температури 700°C у середовищі аргону (150 л/год) протягом 30 хв, проведення другої стадії хімічного осадження Ni, нанесення шару Au на обидві сторони пластини методом гальванічного осадження.

Дослідження структурних дефектів. Для виявлення причин низького відсотка виходу придатних діодів були проведені металографічні дослідження. Виявлення структурних дефектів проводили з використанням травника Сіртла. Вид структурних дефектів і їх щільність оцінювалися за допомогою металографічного мікроскопа МЕТАМ-Р1. На кремнієвих пластинках після проведення технологічної операції «Термічне окислення» були виявлені окислювальні дефекти упакування щільністю до $8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$, при цьому час травлення структур у травнику Сіртла склав 20 с (рис. 1).



Рис. 1. Мікрофотографія поверхні епітаксіальної структури після термічного окислення і проведення селективного травлення. Збільшення 535^x

На відбракованих на контролі рівня зворотних струмів діодних структур зі сформованими нікелевими омичними контактами були виявлені ОДУ, декоровані нікелем щільністю до $6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$, при цьому час травлення структур у травнику Сіртла склав 60 с (рис. 2).

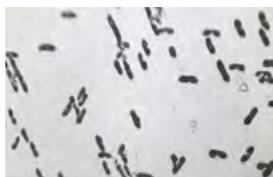


Рис. 2. Мікрофотографія поверхні кремнієвої пластини зі сформованими діодними структурами після відпалу плівки нікелю і проведення селективного травлення. Збільшення 507^x

Механізм впливу ОДУ на зворотні характеристики досліджуваних діодних структур можна пояснити в такий спосіб. Наявність високої щільності ОДУ в кремнії ($8 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$) приводить до істотного збільшення коефіцієнта дифузії нікелю уздовж дефектів і нагромадженню його в області просторового заряду p^+-n переходу. При такій високій щільності дефектів зони їхніх пружних напружень перекриваються, тому що одиничні ОДУ оточені зоною механічних напруг діаметром близько 50 мкм [2]. Наявність механічних напруг приводить до збільшення граничної розчинності нікелю в кремнії в області об'ємного заряду p^+-n переходу. У результаті цього, а також через зростання коефіцієнта дифузії нікелю в кремнії уздовж структурних дефектів, відбувається значне збільшення дифузійного потоку атомів нікелю в область p^+-n переходу. Вплив нікелю на зворотні ВАХ діодів пояснюється тим, що нікель утворює у забороненій зоні кремнію два акцепторні рівні, через які відбувається додаткова генерація носіїв струму в області просторового заряду p^+-n переходу [10].

Вибір технології гетерування. Для запобігання утворенню ОДУ, які були виявлені в епітаксіальних структурах після термічного окислення пластин, необхідно було вибрати ефективний метод гетерування – технологічний процес видалення і дезактивації структурних дефектів. Так як ОДУ утворюються в кремнії, починаючи з першої високотемпературної операції – термічного окислення пластин, тому очевидно, слід використовувати гетерування уже на самому початку технологічного маршруту виготовлення діода. Проведені дослідження показали, що найбільш ефективним методом запобігання утворенню структурних дефектів в епітаксіальних шарах являється створення гетеруючої області на зворотному боці підкладки за допомогою проведення в неї дифузії фосфору методом відкритої труби з твердого джерела P_2O_5 за температури $1100^\circ C$ в суміші азоту (100 л/год) і сухого кисню (5 л/год) на протязі 60 хв.

Дослідження ефективності розробленої технології. Для випробування запропонованого способу виготовлення структур діода з нікелевим омичним контактом були сформовані експериментальні партії, кожна з яких ділилася на дві частини: одна частина партії була виготовлена відомим способом, інша – запропонованим способом з використанням гетерування. Ефективність використання запропонованого способу виготовлення діода оцінювалася за відсотком виходу придатних діодних структур при їх контролі за рівнем зворотних струмів ($I_{зв}$). Критерій придатності: $I_{зв} \leq 0,5$ мкА при зворотній напрузі 45 В.

Таблиця 1

Спосіб виготовлення структур діода	Номер експериментальної партії	Вихід придатних діодних структур за значенням рівня їх зворотних струмів, %
Запропонований спосіб виготовлення	1	94
	2	92
	3	93
Відомий спосіб виготовлення	4	82
	5	81
	6	83

У таблиці 1 наведені порівняльні результати розбраковки за зворотним струмом діодних структур, що виготовлені за базовою (партії № 4–6) і за розробленою (партії № 1–3) технологіями. Видно, що використання запропонованої технології дає можливість підвищити вихід придатних діодних структур у середньому на 11%. При цьому діодні структури, виготовлені запропонованим способом, мали рівень зворотних струмів в 7–9 разів нижчий у порівнянні з діодними структурами, виготовленими відомим способом. Отже, використання запропонованого способу виготовлення структур діода з нікелевим омичним контактом дозволяє суттєво підвищити вихід придатних діодних структур на контролі рівня їх зворотних струмів, істотно знизивши при цьому рівень зворотних струмів діодів.

Проведені після II фотолітографії металографічні дослідження на структурах діодів, виготовлених із застосуванням гетерування, показали відсутність в них ОДУ.

На рис. 3 приведені зворотні ВАХ діодних структур, виготовлених за базовою технологією та за технологією з використанням гетерування. Видно, що діодна структура, виготовлена з використанням гетерування має ВАХ (крива 2) типову для кремнієвого діода при відсутності в його активних областях структурних дефектів та небажаних домішок. І, навпаки, діодна структура, виготовлена за базовою технологією, має так звану «м'яку» ВАХ (крива 1), вигляд якої може вказувати на наявність в активних областях діода структурних дефектів і домішок металів.

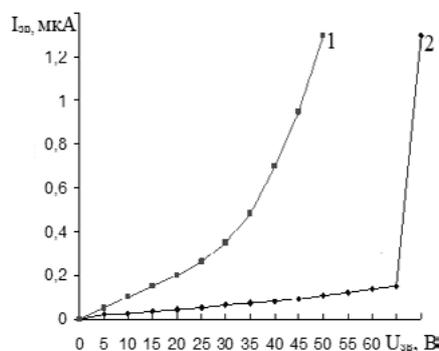


Рис. 3. Зворотні ВАХ діодних структур: 1 – діодна структура, виготовлена за базовою технологією; 2 – діодна структура, виготовлена з використанням гетерування

З порівняння кривих 1 і 2 видно, що діодна структура, виготовлена за базовою технологією (крива 1), має набагато більший рівень зворотних струмів у порівнянні з діодною структурою, виготовленою з використанням гетерування (крива 2).

Проаналізуємо механізми впливу області гетера, створеного дифузією фосфора на зворотній стороні пластини перед технологічною операцією термічного окислення на характеристики діода. В процесі проведення дифузії фосфору на зворотній стороні пластини формується висока щільність дислокацій, які являються стоком для домішок металів. При цьому знешкоджуються зародки ОДУ, які можуть утворюватись в кремнії при вирощуванні злитків і в процесі епітаксії. Це запобігає утворенню ОДУ в процесі термічного окислення пластин та послідовних термічних операцій. Гетеруючий шар на зворотній стороні пластини знешкоджує ОДУ, які все ж утворились в кремнії. Це можна представити наступним чином. Міжвузольні атоми кремнію, які є складовими окислювальних дефектів упакування, дифундують до утвореної області гетера і захоплюються нею. У результаті цього окислювальні дефекти упакування зменшуються в розмірах, або повністю зникають, що дозволяє запобігти деградації зворотної галузі ВАХ діодних структур в процесі їх відпалу (рис. 3).

Висновки

Спираючись на результати проведених експериментальних досліджень, можна зробити висновок, що причиною низького відсотка виходу придатних структур діода з нікелевим омичним контактом при контролюванні рівня його зворотного струму є окислювальні дефекти упакування, які утворюються в активних областях діодів в процесі проведення технологічної операції «Термічне окислення» та інших високотемпературних операцій.

Використання гетера, сформованого на зворотній стороні пластини за допомогою дифузії фосфору, дозволяє запобігти утворенню ОДУ в активних областях діодів, що, в свою чергу, перешкоджає проникненню атомів нікелю в область просторового заряду p^+-n переходу в процесі відпалу півки нікелю, що забезпечує суттєве зменшення рівня їх зворотних струмів.

Таким чином, розроблена технологія виготовлення структур діода з нікелевим омичним контактом з використанням гетерування дає можливість запобігти утворенню окислювальних дефектів упакування в активних областях діодів і, як наслідок, забезпечує підвищення відсотка виходу придатних приладів.

Список використаної літератури

1. Meda L., Gerofolini G.F., Queirodo Gr. Impurities and defects in silicon single crystal // Progress Crystal Growth and Characterization, 1987. Vol. 15. № 2. P. 97–131.
2. Ravi K.V. Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 1981. 379 p.
3. Lecrosnier D., Paugam J., Richou F. et al. Influence of phosphorus-induced point defects on a gold-gettering mechanism in silicon // J. Appl. Phys., 1980. Vol. 51. № 2. P. 1036-1040.
4. Литвиненко В.М., Богач М.В. Моделирование процессов гетерування швидкодифундуєчих домішок в технології діодів Шоттки. Вісник ХНТУ, 2019. Т.68. №1. С. 25-33.
5. Кукурудзяк М.С. Метод «очищення» поверхні фоточутливих елементів кремнієвих $p-i-n$ фотодіодів від дислокацій // Хімія, фізика та технологія поверхні, 2023. Т. 14. № 2. С. 182–190.
6. Небеснюк О.Ю.1, Солодовник А.І. Дослідження процесу легування з використанням температурних впливів на якість кремнієвих приладових структур // Елементи, прилади та системи електронної техніки: матеріали першої міжнародної наук.-практ. конф., м. Запоріжжя: ЗДІА, 16.листопада 2018 року. Запоріжжя, 2018. С. 40–41.
7. Пятайкіна 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. Гребенюк Е.А., Васильєва І.К., Ніконова З.А. Оптимізація способів виготовлення систем живлення на кремнієвих структурах // Елементи, прилади та системи електронної техніки: матеріали першої міжнародної наук.-практ. конф., м. Запоріжжя: ЗДІА, 16.листопада 2018 року. Запоріжжя, 2018. С. 45.
9. Павлов С. М. Основи мікроелектроніки. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 224 с.
10. Milnes A. G. Deep Impurities In Semiconductors. John Wiley & Sons, New York, 1973. 526 p.

References

1. Meda L., Gerofolini G.F., Queirodo Gr. (1987) Impurities and defects in silicon single crystal // Progress Crystal Growth and Characterization, 15(2), 97-131.
2. Ravi K.V. (1981) Imperfections and Impurities in Semiconductor Silicon. John Wiley & Sons, New York, 379 p.
3. Lecrosnier D., Paugam J., Richou F. et al. (1980) Influence of phosphorus-induced point defects on a gold-gettering mechanism in silicon // J. Appl. Phys, 51(2), 1036-1040.
4. Litvinenko V. N., Bohach N. V. (2019) Modeling of heterization processes of fast-diffusing impurities in Schottky diode technology. Visnyk of KhNTU, 68(1), 25–33. [in Ukrainian]

5. 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. [in Ukrainian]
6. Nebesnyuk O.Yu.1, Solodovnyk A.I. (2018) Study of the alloying process using temperature effects on the quality of silicon device structures // Elements, devices and systems of electronic technology: materials of the first international science and practice. conference, Zaporizhzhia: ZDIA, November 16, 2018. Zaporizhzhia, pp. 40-41. [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. Grebenyuk E.A., Vasilyeva I.K., Nikonova Z.A.(2018) Optimization of manufacturing methods of power supply systems based on silicon structures // Elements, devices and systems of electronic technology: materials of the first international science and practice. conference, Zaporizhzhia: ZDIA, November 16, 2018. Zaporizhzhia, p. 45. [in Ukrainian]
9. Pavlov S. M. (2010) Fundamentals of microelectronics. Tutorial. Vinnytsia: VNTU, 224p. [in Ukrainian]
10. Milnes A. G. (1973) Deep Impurities In Semiconductors. John Wiley & Sons, New York, 526 p.

В. С. ПАРНЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
кафедра конструювання машин
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-1450-2744

Є. В. КОРБУТ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-1221-4052

ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ДЕТАЛІ ТИПУ «ТРИМАЧ» З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ AUTODESK FUSION

У даній роботі розглянуто методи оптимізації форми та матеріалу деталі з метою поліпшення її технологічності. Наведено огляд робіт в яких описані методи покращення технологічності деталей. Відомо, що програмне забезпечення Autodesk Fusion надає широкі можливості для моделювання, аналізу та оптимізації конструкцій, а також для створення технологічних процесів. У статті досліджується можливість застосування програмного забезпечення Autodesk Fusion для аналізу, моделювання та оптимізації форми деталі типу «Тримач». Розглянути основні проблеми, пов'язані з неефективністю використання матеріалів та недоліками у конструкціях деталей та вимоги до технологічності деталей. Наведено можливості програмного забезпечення Autodesk Fusion для аналізу та оптимізації форми деталей. Обговорюються інструменти Autodesk Simulation та методи, які надає це програмне забезпечення, для проведення аналізу міцності, моделювання напружень та деформацій, а також оптимізації геометрії деталі з урахуванням технологічних обмежень. В роботі представлені результати застосування програмного забезпечення Autodesk Fusion для оптимізації форми деталі типу «Тримач». Автори аналізують зміни в масі, міцності та ергономіці деталі після проведених оптимізаційних заходів. У заключній частині роботи наводяться порівняння результатів оптимізації форми деталі та її матеріалу, та показано, що за рахунок оптимізації форми було зменшено масу деталі на 60%. Також наведено результати зміни ваги деталі за рахунок зміни матеріалу, що призвело як до зменшення ваги деталі так і до використання більш дешевого матеріалу. Дана робота розкриває важливість використання сучасних інструментів CAD/CAM для покращення технологічності виробів, а також демонструє ефективність Autodesk Fusion у цьому процесі.

Ключові слова: конструювання для виробництва, технологічність деталей, CAD/CAM, Autodesk Fusion, технологічна підготовка виробництва.

V. S. PARNENKO

PhD, Associate Professor,
Department at the Machine Design
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-1450-2744

IE. V. KORBUT

PhD, Associate Professor,
Associate Professor at the Department at the Machine Design
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-1221-4052

IMPROVING THE MANUFACTURABILITY OF THE “HOLDER” PART USING AUTODESK FUSION SOFTWARE

This paper explores methods for optimizing the shape and material of a part to improve its manufacturability. It provides an overview of previous works describing methods for enhancing the manufacturability of parts. It is known that Autodesk Fusion software offers extensive capabilities for modeling, analysis, and optimization of designs, as well as for creating manufacturing processes. The article investigates the potential application of Autodesk Fusion software for

analyzing, modeling, and optimizing the shape of a "Holder" part. The main issues related to material inefficiency and design flaws of parts, as well as the requirements for part manufacturability, are discussed. The capabilities of Autodesk Fusion software for analyzing and optimizing part geometry are presented. The article discusses the Autodesk Simulation tools and methods provided by this software for strength analysis, stress and deformation modeling, and geometry optimization considering technological constraints. The results of applying Autodesk Fusion software for optimizing the shape of the "Holder" part are presented. The authors analyze changes in mass, strength, and ergonomics of the part after optimization measures. In the final part of the paper, a comparison of the results of optimizing the shape and material of the part is provided, showing that by optimizing the shape, the part's mass was reduced by 60%. The results of changing the part's weight due to material change are also presented, resulting in both reduced weight and the use of a cheaper material. This work highlights the importance of using modern CAD/CAM tools to improve product manufacturability and demonstrates the effectiveness of Autodesk Fusion in this process.

Key words: Design for Manufacturing, manufacturability, CAD/CAM, Autodesk Fusion, manufacturing process optimization.

Постановка проблеми

У процесі виробництва деталей часто виникають проблеми, пов'язані з неефективністю використання матеріалів та недоліками у конструкціях деталей, що можуть призводити до підвищення витрат на їх виготовлення. Під час конструювання виробу (деталі, заготовки) розглядаються можливості максимального спрощення його конструкції, заміни матеріалу на дешевший та більш доступний, створення раціональних форм і розмірів для полегшення процесів оброблення та забезпечення необхідної якості (міцності, жорсткості), зменшення кількості та довжини оброблених поверхонь, встановлення розмірів з мінімальною довжиною розмірних ланцюгів, забезпечення мінімального жолоблення під час термічної обробки та достатніх розмірів базових поверхонь [1, 2].

Для оптимізації цих процесів необхідно використання сучасних інструментів та технологій. Одним з можливих рішень є використання програмного забезпечення Autodesk Fusion. Відомо, що програмне забезпечення Autodesk Fusion надає широкі можливості для моделювання, аналізу та оптимізації конструкцій, а також для створення технологічних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оптимізація для технологічності конструкцій виробів, вузлів, складальних одиниць та деталей є одним з найважливіших етапів технологічної підготовки виробництва (ТПВ) [1, 2]. Як доказ, можна вказати, що завдяки поліпшенню технологічності конструкції виробу можна зменшити трудомісткість збирання на 8–12%, а іноді і на 20%, та собівартість виготовлення на 5–10% [2–3, 5]. Хоча оптимізація нового виробу для технологічності є важливою проблемою, і без неї просто неможливе існування будь-якого сучасного виробництва в галузі приладо- та машинобудування, аналіз літературних джерел показує, що до цього часу не існує єдиної розробленої системи або послідовної методології для оптимізації виробів для технологічності [1].

Використання Autodesk Fusion дозволяє інженерам швидко та ефективно оцінити різні варіанти конструкцій та вибрати оптимальний, що сприяє покращенню продуктивності проектування та зниженню витрат. Також важливою перевагою є можливість інтеграції з іншими інструментами та сервісами Autodesk, такими як Autodesk Simulation, що робить процес аналізу більш комплексним і ефективним [4].

Формулювання мети дослідження

Мета роботи є дослідження та опис процесу покращення технологічності деталі типу «Тримач» за допомогою програмного забезпечення Autodesk Fusion. В роботі приведені можливості Autodesk Fusion для оптимізації конструкції деталі при використанні різних матеріалів, аналізу та виявлення слабких місць у виробі, а також покращення його міцності. Робота спрямована на знаходження оптимального рішення з використанням сучасних інструментів комп'ютерного моделювання та аналізу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Використання Autodesk Fusion для статичного аналізу має декілька переваг і є необхідним для багатьох інженерних завдань. По-перше, програма надає можливість визначити напруження та деформації в конструкції з різних матеріалів під впливом навантажень, що дозволяє оцінити міцність та стійкість виробу. Крім того, засіб статичного аналізу допомагає виявити потенційні проблеми та слабкі місця в конструкції, такі як точки концентрації напружень або перевантаження деяких ділянок.

Інструмент оптимізації форми в Autodesk Fusion надає широкі можливості для швидкого та ефективного аналізу та покращення конструкцій виробів. Завдяки цьому інструменту можна автоматично створювати оптимальні форми, що відповідають визначеним критеріям, таким як мінімізація маси або підвищення міцності. При цьому враховуються різні умови та обмеження, такі як максимальні розміри, габарити устаткування, вимоги до міцності або стійкості. Використання інструменту оптимізації форми дозволяє значно зменшити час, необхідний для пошуку оптимального рішення, та забезпечує швидкий процес проектування та економію ресурсів.

Досліджувана конструкція деталі представлена на рис. 1. Деталь типу «Тримач» призначена для утримання і фіксації в певному положенні або на певній площині. Вона використовується як елемент інтер'єру, тому поруч

з певною міцністю повинна мати привабливий зовнішній вигляд. Деталі типу «Тримач» можуть мати різні конструкції і форми, залежно від конкретного застосування і вимог щодо функціональності і зовнішнього вигляду. Основним призначенням деталі типу «Тримач» є забезпечення зручності та надійності утримання предметів у визначеному положенні.



Рис. 1. Початкова конструкція деталі типу «Тримач» (спрощена)

Початкова конструкція деталі передбачала виготовлення її із нержавіючої сталі. Тримач повинен витримувати навантаження 800Н.

Попередньо для дослідження оптимізації форми було запропоновано використати інші матеріали, крім матеріалу початкової конструкції. У процесі добору матеріалу заготовки враховують її експлуатаційні та технологічні властивості, а також економічну ефективність використання. Матеріал заготовки практично визначає можливість виконання функцій деталі, яка буде виготовлена з цієї заготовки, а також виготовлення деталі з найменшими виробничими витратами. Як правило, для досягнення більшої технологічності деталі, рекомендується використовувати доступні матеріали, які найбільше піддаються обробці, за умови, що їхні функціональні характеристики та вартість є відповідними.

Для дослідження оптимізації форми деталі типу «Тримач» було обрано три різних матеріали. Було залишено початковий матеріал нержавіюча сталь та було запропоновано ще два: алюміній 6061 та пластик.

На рисунку 2 зображено тримач зі статичними навантаженнями силою в 800Н та діючою силою гравітації прикладеними до нього. Також накладені обмеження за задню площину (показано напівпрозорим знаком замка).

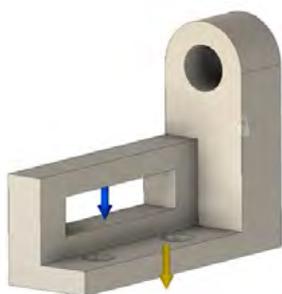


Рис. 2. Навантаження та обмеження

Алюміній, як правило, дешевше, ніж нержавіюча сталь, тому що він не вимагає значної обробки. Використання пластику для виготовлення деталей типу «тримач» має свої переваги і недоліки. Переваги полягають у легкості матеріалу, що полегшує транспортування та монтаж деталі, еластичності деяких типів пластику, що дозволяє підганяти деталь під різні форми та розміри, а також у стійкості до корозії, що робить його відмінним вибором для зовнішніх застосувань або у вологому середовищі. Крім того, виробництво пластикових деталей може бути дешевшим порівняно з металевими аналогами. Однак пластик має свої недоліки, зокрема, меншу міцність порівняно з металами, що може бути проблемою при великих навантаженнях. Також пластик обмежує температурний діапазон експлуатації та може бути менш стійким до механічних пошкоджень. Вибір матеріалу для виготовлення деталі «тримача» потребує уважного врахування всіх цих факторів для забезпечення оптимального результату.

За допомогою використання методу скінченних елементів (рис. 3) був проведений аналіз та моделювання поведінки виробу під впливом заданих навантажень і умов. Основні переваги використання методу скінченних елементів включають можливість точного моделювання складних геометричних форм, розрахунок напружень та деформацій, а також прогнозування місць можливого руйнування виробу. Крім того, за його допомогою можна ефективно оптимізувати конструкцію для забезпечення її міцності та стійкості при мінімальному використанні матеріалу.

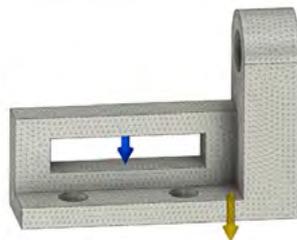


Рис. 3. Розбиття моделі деталі на елементи

Таким чином за заданих умов навантаження і обмежень за допомогою Autodesk Fusion був виконаний статичний аналіз тримача. На рисунку 4.а продемонстровано результати такого аналізу для матеріалу алюміній 6061.

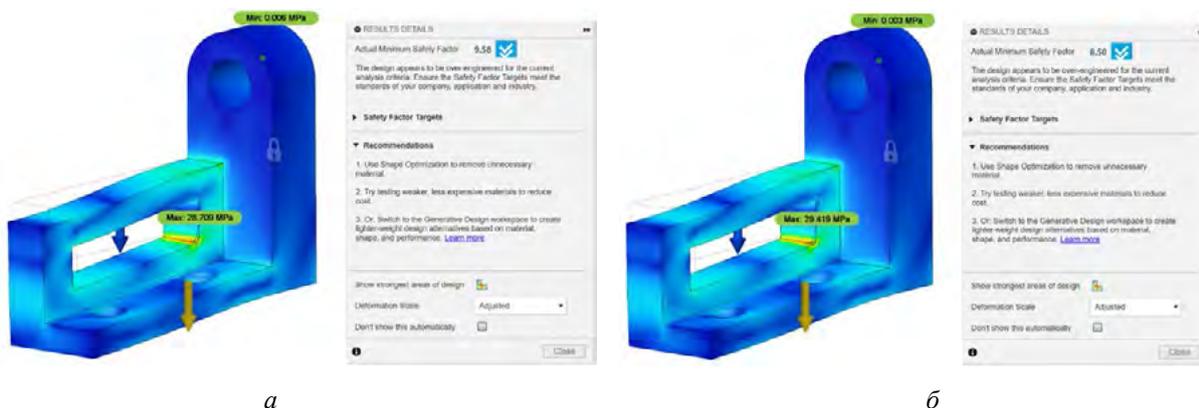


Рис. 4. Результати статичного аналізу деталі типу «Тримач» для матеріалів:
а – алюміній, б – нержавіюча сталь

Мінімальний коефіцієнт запасу складає 9.58. На рисунку 4.б продемонстровано результати такого аналізу для нержавіючої сталі. Мінімальний коефіцієнт запасу складає 8.50. В обох випадках програма пропонує за допомогою оптимізатора форми видалити зайвий матеріал або застосувати більш дешевший матеріал для зменшення витрат. Таким матеріалом для даної деталі може бути пластик.

Результати статичного аналізу деталі виготовленої з пластику продемонстровано на рисунку 5. Мінімальний коефіцієнт запасу складає 1.7. Цього може бути достатньо, але зовнішні чинники можуть призвести до того, що деталь зігнеться або зламається. Для типових проектних застосувань мінімальний коефіцієнт запасу є 3,0. В такому випадку треба або зміцнити конструкцію в найслабших місцях (дати матеріал або використати більш жорстку форму) або використати матеріал з вищою міцністю та міцністю.

Таким чином для подальшого дослідження оптимізації форми деталі типу «Тримач» було обрано лише два матеріалу: нержавіюча сталь та алюміній. Для покращення форми тримача було використано оптимізатор форми програми Autodesk Fusion.

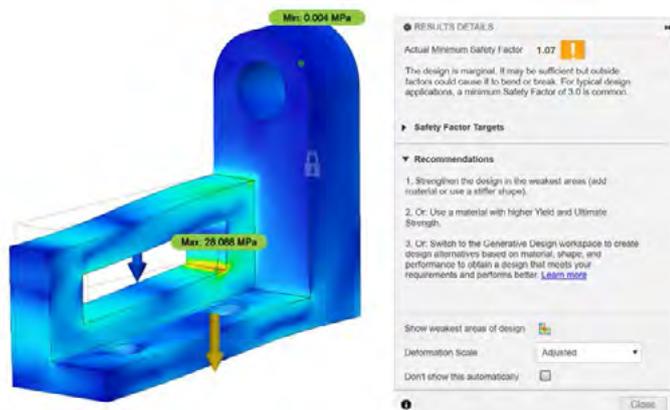


Рис. 5. Результати статичного аналізу деталі типу «Тримач» для матеріалу пластик

Після оптимізації та доробки форми була отримана деталь зображена на рисунку 6.



Рис. 6. Конструкція деталі типу «Тримач» Після оптимізації та доробки форми

Після оптимізації форми було проведено повторний статичний аналіз отриманої деталі, результати дослідження показані на рисунку 7. Мінімальний коефіцієнт запаса складає 5.22, що є цілком достатнім та надійним.

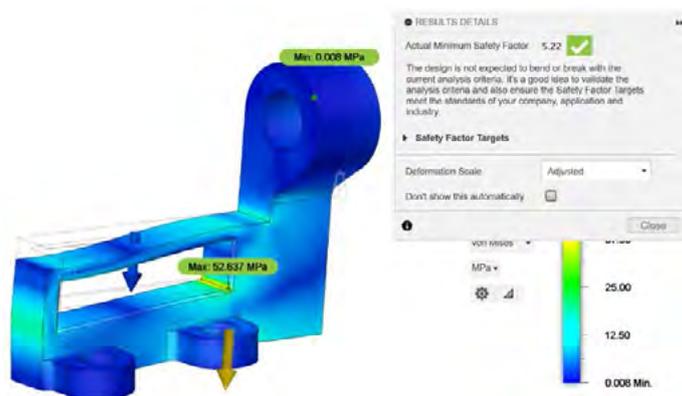


Рис. 7. Результати статичного аналізу деталі типу «Тримач» для матеріалу алюміній 6061

Висновки

Після оптимізації форми деталі типу «Тримач» в Autodesk Fusion вдалося отримати декілька важливих результатів. По-перше, оптимізація дозволила значно зменшити масу деталі при збереженні необхідної міцності. Характеристики деталі зведені в таблицю 1 де представлено в тому числі і зміни у вазі деталі.

Для деталі з алюмінію вага зменшилася більш ніж в 1,6 рази (або 60%), що скоротить витрати на матеріали. По-друге за результатами дослідження було замінено початковий матеріал на алюміній, що є дешевшим і більш легким матеріалом і це буде корисно для виготовлення більш легких і ефективних виробів.

Таблиця 1

Властивості деталі типу «Тримач» до та після оптимізації

Матеріал	Властивості деталі до оптимізації	Властивості деталі після оптимізації
Алюміній	<p>▼ Physical (Study 1 - Static Stress)</p> <p>Area 31223.455 mm²</p> <p>Density 2.700E-06 kg / mm³</p> <p>Mass 0.407 kg</p> <p>Volume 1.508E+05 mm³</p> <p>Physical Material Aluminum 6061</p>	<p>▼ Physical (Study 1 - Static Stress)</p> <p>Area 51886.201 mm²</p> <p>Density 2.700E-06 kg / mm³</p> <p>Mass 0.246 kg</p> <p>Volume 91113.703 mm³</p> <p>Physical Material Aluminum 6061</p>
Нержавіюча сталь	<p>▼ Physical (Study 3 - Static Stress)</p> <p>Area 31223.455 mm²</p> <p>Density 8.000E-06 kg / mm³</p> <p>Mass 1.207 kg</p> <p>Volume 1.508E+05 mm³</p> <p>Physical Material Stainless Steel</p>	<p>▼ Physical (Study 3 - Static Stress)</p> <p>Area 51886.201 mm²</p> <p>Density 7.855E-06 kg / mm³</p> <p>Mass 0.716 kg</p> <p>Volume 91113.703 mm³</p> <p>Physical Material Stainless Steel</p>

Крім того, нова форма деталі покращила її ергономіку та зовнішній вигляд, що позитивно вплине на сприйняття користувачами та конкурентоспроможність виробу на ринку. Водночас, оптимізація дозволила зберегти необхідну функціональність та міцність деталі.

Покращення ефективності виробництва є ще однією перевагою оптимізації. Зменшення витрат на матеріали та обробку, а також скорочення часу виготовлення може значно знизити загальні витрати і підвищити ефективність виробництва.

Список використаної літератури

1. Swift K. G., Booker J. D. Process Selection. From design to manufacture : Butterworth-Heinemann. 2003. 316 с.
2. James G. Bralla. Design for manufacturability handbook : McGraw-Hill Handbooks. 1999. 1368 с.
3. Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W. Product Design for Manufacture and Assembly : CRC Press. 2011. 670 с.
4. Juniani, A.I.; Singgih, M.L.; Karningsih, P.D. Design for Manufacturing, Assembly, and Reliability: An Integrated Framework for Product Redesign and Innovation. *Designs* 2022, 6, 88. <https://doi.org/10.3390/designs6050088>
5. Осадчий О. І., Парненко В. С. Дизайн виробів машинобудування та вибір матеріалів для забезпечення технологічності їх конструкцій : Технічні науки та технології. № 2 (32). 2023, С. 150–156.

References

1. Swift K. G., Booker J. D. (2003) Process Selection. From design to manufacture. Butterworth-Heinemann. [in English].
2. James G. Bralla. (1999) Design for manufacturability handbook. McGraw-Hill Handbooks. [in English].
3. Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W. (2011) Product Design for Manufacture and Assembly. CRC Press. [in English].
4. Juniani, A.I.; Singgih, M.L.; Karningsih, P.D. (2022) Design for Manufacturing, Assembly, and Reliability: An Integrated Framework for Product Redesign and Innovation. *Designs*, no. 6, (88), pp. 1–29. <https://doi.org/10.3390/designs6050088>
5. Osadchiy O. I., Parnenko V. S. (2023) Dyзain vyrobiv mashynobuduvannia ta vybir materialiv dlia zabezpechennia tekhnolohichnosti yikh konstruksii. [Design of engineering products and selection of materials to ensure the manufacturability of their structures]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii* no.2 (32), pp. 150–156.

L. M. PETROV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automotive Engineering
Military Academy (Odesa)
ORCID: 0000-0001-5709-9986

I. V. KISHIANUS

Senior Lecturer at the Department of Automotive Engineering
Military Academy (Odesa)
ORCID: 0000-0001-7838-5607

S. V. VERPIVSKYI

Deputy Head at the Department of Automotive Engineering
Military Academy (Odesa)
ORCID: 0000-0002-1610-4707

O. A. MALINOVSKYI

Senior Lecturer at the Department of Auto Technical Support
Military Academy (Odesa)
ORCID: 0000-0002-4048-3903

V. A. NIKISHYN

Lecturer at the Department of Automotive Engineering
Military Academy (Odesa)
ORCID: 0000-0003-2737-403X

S. V. SHELUHIN

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Professor at the Department of Automotive Engineering
Military Academy (Odesa)
ORCID: 0000-0003-4417-4283

ELEMENTS OF THE THEORY OF DYNAMIC DEVELOPED SUSPENSION MILITARY VEHICLE

The wheel drives of a military vehicle are intended for its movement to satisfy the performance of technological tasks in the zone close to combat, but this requirement is not fully satisfied. This is related to the performance of the above tasks in difficult conditions, in off-road conditions. In order to ensure the mandatory performance and reliability of technological movements in such conditions, construction specialists focused their actions on improving the running gear, especially the suspensions.

The article deals with the theoretical research of the design of the developed suspension of a military vehicle. The movement of the car is carried out with the help of wheeled motors, which partially satisfy the performance of technological tasks in the zone close to combat.

The main drawback is the fulfillment of the requirements for moving a military vehicle in off-road conditions, and in some cases, the impossibility of moving it. In order to increase the reliability of the technology of moving a car in off-road conditions, the development of world-class specialists is aimed at improving the design of its suspension, as well as the technology of moving it in off-road conditions of a military vehicle, the number of movements of the system, and the movement of the center of mass of this system.

The purpose of the study is to improve the technological scheme of loading the wheel drive when it moves the support, the transformation of the energy supplied to the wheel drive and the quantitative movements kinematically distributed in the wheel drive into the controlled relative to the wheel disc movement of the car with the addition of the traction force of the car with the portable forces of quantitative movement, which is an auxiliary factor to the innovative technology of its movement.

The scientific and practical direction of the work consists in the fact that for the first time the considered technology in which the law of change of mechanical energy is applied during the rotation of the wheel drive over an obstacle, i.e., the energy supplied to the wheel drive and the quantitative movements kinematically distributed in the wheel drive in the controlled motion of the car relative to the wheel disc with summing up the traction force of the car with the portable forces of the quantitative movement, and this allows us to approach the consideration of the implementation of the torque

on the wheel drive more expediently. The methodology of the study was to establish a mathematical relationship between the quantitative movements kinematically distributed in the wheel drive in the car movement controlled relative to the wheel disc and the parameter of quantitative movements, as well as with the dynamic mobility of the car itself. The result of the research is the development of the elements of the theory of quantitative movements kinematically distributed in the wheel drive. When revealing the concept of "dynamically developed suspension", equations were used that mathematically confirm the connection with the quantitative movements kinematically distributed in the wheel drive in the controlled movement of the car relative to the wheel disc, which allows overcoming obstacles on the way and supporting surface in certain conditions of vehicle operation. The value of the conducted research, the results of the conducted work will allow to make a contribution to the automotive industry. The proposed car model is suitable for use in order to increase the ability of vehicles to overcome obstacles.

Key words: physico-mathematical model, force, wheel, obstacle, car.

Л. М. ПЕТРОВ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автомобільної техніки
Військова академія (м. Одеса)
ORCID: 0000-0001-5709-9986

І. В. КІШЯНУС

старший викладач кафедри автомобільної техніки
Військова академія (м. Одеса)
ORCID: 0000-0001-7838-5607

С. М. ВЕРПІВСЬКИЙ

заступник начальника кафедри автомобільної техніки
Військова академія (м. Одеса)
ORCID: 0000-0002-1610-4707

О. А. МАЛИНОВСЬКИЙ

старший викладач кафедри автотехнічного забезпечення
Військова академія (м. Одеса)
ORCID: 0000-0002-4048-3903

В. А. НІКІШИН

викладач кафедри автомобільної техніки
Військова академія (м. Одеса)
ORCID: 0000-0003-2737-403X

С. В. ШЕЛУХІН

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
професор кафедри автомобільної техніки
Військова академія (м. Одеса)
ORCID: 0000-0003-4417-4283

ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ДИНАМІЧНО РОЗВИНУТОЇ ПІДВІСКИ ВІЙСЬКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

Колісні рушії військового автомобіля призначені для його переміщення для задовільнення виконання технологічних завдань в зоні наближених до бойових, але ця вимога не в повній мірі задовольняється. Це пов'язано з виконанням вищеперелікованих завдань в складних умовах, в умовах бездоріжжя. Для забезпечення обов'язкового виконання та надійності технологічних переміщень в таких умовах фахівці з конструкцій свої дії спрямували на удосконалення ходової частини в частині підвісок.

В статті розглянуто питання теоретичного дослідження конструкції розвинутої підвіски військового автомобіля. Переміщення автомобіля здійснюється за допомогою колісних рушіїв, які в неповній мірі задовольняють виконання технологічних завдань в зоні наближених до бойових. Основним недоліком являється виконання вимог переміщення військового автомобіля в умовах бездоріжжя, а в деяких випадках неможливість його переміщення. Для підвищення надійності технології переміщення автомобіля в умовах бездоріжжя розробки фахівців світового рівня спрямовані на удосконалення конструкції його підвіски а також технології переміщення в умовах бездоріжжя в статті розглянуті питання дослідження динамічно розвинутої підвіски військового автомобіля кількості рухів системи, та руху центра мас цієї системи.

Метою дослідження є удосконалення технологічної схеми навантаження колісного рушія при переїзді ним опори, перетворення енергії підведеної до колісного рушія та кількісних рухів кінематично розсереджених в коліс-

ному рушії в керований відносно диска колеса рух автомобіля зі складанням тягового зусилля автомобіля з переносними силами кількісного руху, яка є допоміжним фактором до інноваційної технології його переміщення.

Науковий та практичний напрям роботи полягає в тому, що вперше розглянута технологія в якій при обертанні колісного рушії по перешкоді застосовано закон зміни механічної енергії, тобто, енергії підведеної до колісного рушії та кількісних рухів кінематично розсереджених в колісному рушії в керований відносно диска колеса рух автомобіля зі складанням тягового зусилля автомобіля з переносними силами кількісного руху а це дозволяє більш доцільно підійти до розгляду реалізації крутного моменту на колісному рушії. Методологією дослідження являлося встановити математичний зв'язок між кількісними рухами кінематично розсередженими в колісному рушії в керований відносно диска колеса рух автомобіля та параметром кількісних рухів, а також з динамічною рухливістю безпосередньо автомобіля.

Результатом дослідження є розробка елементів теорії кількісних рухів кінематично розсереджених в колісному рушії. При розкритті поняття «динамічно розвинутої підвіски» були використані рівняння, які математично підтверджують зв'язок з кількісними рухами кінематично розсередженими в колісному рушії в керований відносно диска колеса рух автомобіля, що дозволяє подолання перешкод на шляху та опорної поверхні в певних умовах експлуатації автомобіля. Цінність проведеного дослідження, результати проведеної роботи дозволять зробити внесок в галузь автомобільного виробництва. Запропонована модель автомобіля придатна для використання з метою підвищення можливостей подолання перешкод транспортними засобами.

Ключові слова: фізико-математична модель, сила, колесо, перешкода, автомобіль.

Formulation of the problem

A military vehicle carrying out tasks in unprepared road conditions receives the action of external forces as well as shocks from the side of the road, which contributes to the appearance of uncontrolled movements and oscillations along the longitudinal, transverse and vertical axes. To eliminate such shortcomings, a car suspension is designed, which directly perceives the action on the car P movement, G_a and R_a (Fig. 1)

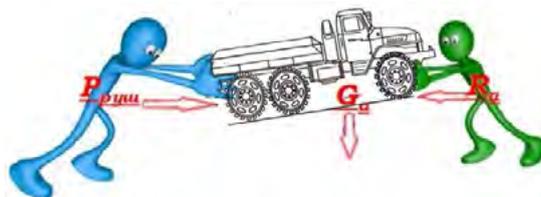


Fig. 1. Scheme of actions of force external loads on a military vehicle

Damping of such movements in the car between the running system and the supporting system is provided by a kinematic connection – elastic suspensions and shock absorbers. With a high-quality selection and execution of such a kinematic connection, it is possible to achieve consistency of the characteristics of the elastic elements of the suspension and shock absorbers, which weakens the negative forces and impulses on comfort, safety and high-quality performance of the task.

Car suspension is a device that ensures elastic coupling of car wheels with the supporting structure of the body. In addition, the suspension regulates the position of the vehicle body during movement and helps reduce the load on the wheels. In the modern automotive world, there is a large selection of different types of car suspensions, the most popular of which are spring, pneumatic, spring and lever.

Examples of testing a military vehicle in different road conditions are shown in (Fig. 2–4).



Fig. 2. Movement of a military vehicle in mountainous terrain

When developing the suspension structure, we suggest considering elastic elements and a vibration damping system, which not only provide comfortable movement, but also as an auxiliary factor in realizing the traction capabilities of the

car. Thanks to this combination, the suspensions should not only resist external forces by limiting their transmission to the car body, but also contribute to increasing the traction capabilities of the car.



Fig. 3. Movement of a military vehicle when overcoming a stationary obstacle



Fig. 4. Movement of a military vehicle when diagonally hung

Highlighting previously unresolved parts of the overall problem

World-class automotive experts failed to come to the conclusion that the movement of the wheel drive car can be divided into two movements: the primary movement of the car wheel in the vertical plane and the secondary movement of the car wheel in the direction of the car's movement (Fig. 5). Taking into account the explanation to (Fig. 5), we have given a model of the power load of a military vehicle (Fig. 6).

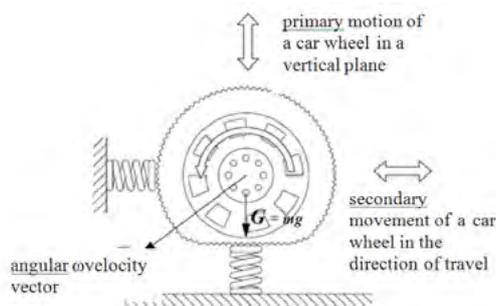


Fig. 5. Scheme of a new approach to determining the movement of an automobile wheel drive

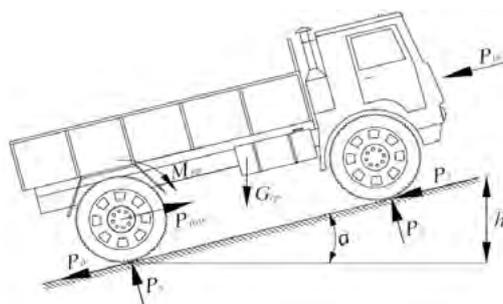


Fig. 6. Power load of a military vehicle

- P_{rak} – traction force MEZ; P_d – tangential traction force of the MEZ; P_f – force of rolling resistance of the wheel drive MEZ; P_l – the lifting resistance force of the MEZ;
- P_{in} – inertia force; P_{pym} – the driving force of the MEZ; G_{op} – operating weight MEZ;
- P_y – the force of the road's reaction to the MEZ transmission

The movement of the car is carried out with the help of wheeled motors, which partially satisfy the performance of technological tasks in the zone close to combat. The main drawback is the fulfillment of the requirements for the suspension of a military vehicle used in off-road conditions, and in some cases the impossibility of moving it. To increase the reliability of the technology of moving a car in off-road conditions, the development of world-class specialists is aimed at improving the latest models of its suspension design with the improvement of the technology of moving it in off-road conditions [1, pp. 15–16, pp. 306–307].

Setting objectives

In order to increase the reliability of the movement of a domestically produced military vehicle, we proposed the design of a dynamically developed suspension of a military vehicle and the technology of its use for a vehicle with a modernized wheel drive, the movement of which is designed to overcome various obstacles and its movement is supported by inertial components that are formed during the movement of the vehicle.

Presentation of the main research material

According to the assigned task, we have developed a diagram of a model model of a car with a dynamically developed suspension (Fig. 7), which is additional to the main spring suspension.

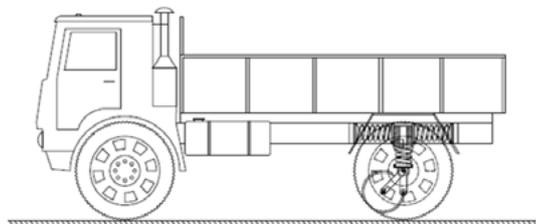


Fig. 7. Military truck with dynamically developed suspension

1. The car frame is modernized with dynamic elastic elements;
2. Dynamic and dynamic elements are built into the frame of the car;
3. The vertical rack is hinged on the wheel axis;
4. Vertical elastic element;
5. Movable lever;
6. The wheel drive of the car.

(Fig. 8) shows an example of the implementation and installation of a dynamically developed suspension with a wheel drive in the frame of a military vehicle.

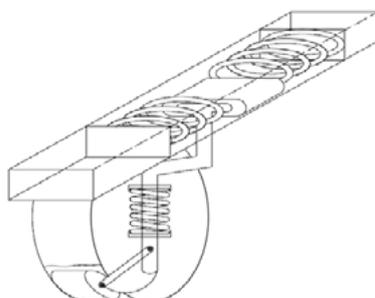


Fig. 8. Axonometric image of a dynamically developed suspension with a wheel drive

A physico-mathematical model (Fig. 9) was created to calculate the dynamically developed suspension.

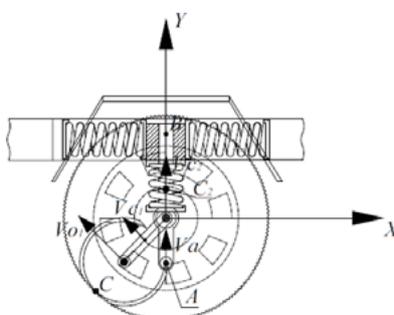


Fig. 9. Physical model of the interaction of a car wheel with a dynamically developed suspension

The dynamically developed suspension system consists of three bodies: weight OO_1 ; moving wheel; rod AB.

The amount of movement of the system will be in vector form

$$\bar{K} = \bar{K}_1 + \bar{K}_2 + \bar{K}_3 \tag{1}$$

Where, \bar{K}_1 amount of lever movement;

\bar{K}_2 the number of wheel movements;

\bar{K}_3 the number of movements of the AB rod.

Each of the number of movements will have a mathematical form:

$$K_1 = \frac{P_1}{g} V_C \tag{2}$$

$$K_2 = \frac{P_2}{g} V_{C_1} \tag{3}$$

$$K_3 = \frac{P_3}{g} V_0 \tag{4}$$

Where, P_1, P_2, P_3 – forces that are applied according to the lever OO_1 moving wheel 1, rod AB.

Then the equation of the number of movements of the system takes the form:

$$\bar{K} = \frac{P_1}{g} \bar{V}_{C_1} + \frac{P_2}{g} \bar{V}_{C_2} + \frac{P}{g} \bar{V}_0 \tag{5}$$

Where, $\bar{V}_0, \bar{V}_{C_1}, \bar{V}_{C_2}$ speed points O, C_1 center of gravity of the lever OO_1 , C_2 – center of gravity of the rod AB. Points O_1 та C_1 are on the lever OO_1 , which rotates about the axis O, therefore vectors \bar{V}_{C_1} та \bar{V}_0 perpendicular to OO_1 , and correspond to:

$$\bar{V}_{C_1} = \frac{r}{2} \omega \tau a v_{0_1} = r\omega \tag{6}$$

We assume that the rod AB moves gradually, then

$$\bar{V}_{C_1} = \bar{V}_A \tag{7}$$

Vector \bar{V}_A directed along the rod AB. Instantaneous center of rotation of the wheel I is at a point C wheel contact I and II so

$$\frac{V_A}{v_{0_1}} = \frac{AC}{O_1C} = \frac{2r \sin \varphi}{r} = 2 \sin \varphi \tag{8}$$

Where, $\varphi = \omega t$ – angle of rotation of the lever OO_1 .

From the ratio (3) follows

$$V_A = 2v_{0_1} \sin \varphi = 2r\omega \sin(\omega t) \tag{9}$$

Corresponding projections of the number of movements of this system

$$K_X = -\frac{P_1}{g} V_{C_1} \cos \varphi = -\frac{r\omega}{g} \left(\frac{P_1}{g}\right) = -\frac{r\omega \cos \omega t}{2g} (P_1 + 2P) \tag{10}$$

$$K_y = \frac{P_2}{g} V_C \sin \varphi + \frac{P}{g} V_{0_1} \sin \varphi + \frac{P_2}{g} V_A = \frac{P_2}{g} \frac{r}{2} \omega \sin \omega t + \frac{P}{g} r\omega \sin \omega t + \frac{2P_2}{g} r\omega \sin \omega t = \frac{r\omega \sin \omega t}{2g} (P_1 + 2P + 4P_2) \tag{11}$$

Research results

Research was conducted in the Excel environment. The results of calculations of the work process of a dynamically developed suspension are shown in (Fig. 10).

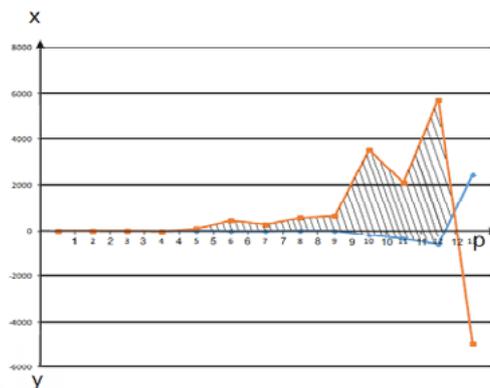


Fig. 10. Display of the operation of a dynamically developed suspension of a military vehicle

Conclusions

1. When considering the article elements of the theory of the dynamically developed suspension of a military vehicle, the equation of the projection of the number of movements of the dynamically developed suspension along the X and Y axes was obtained.
2. For the first time, the influence of the number of movements of a dynamically developed suspension on increasing the traction capabilities of a military truck was revealed.
3. The additional working area is shown on the graph (Fig. 10), and begins with 5кН до12 кН.

Bibliography

1. Лебедєв А.Т., Антощенко В.М., Бойко М.Ф. та ін.. Трактори та автомобілі. ч. 3. шасі. навч. посібник за ред. проф. Лебедєва А.Т. Вища освіта, 2004. 336 с.

References

1. Lebedev A. T., Antoshchenkov, V. M., Boyko, M. F. & etc. (2004). [Tractors and cars. part 3. chassis. education guide by editor. Prof. Lebedeva A.T.Higher education]. [in Ukrainian].

С. А. РУСАНОВ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1003-4867

О. І. КЛЮЄВ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-6803-0706

І. А. ШАТОХІНА

старший викладач кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5767-3674

ВІДПОВІДНІСТЬ ТЕОРІЇ ГРАНИЧНОЇ РІВНОВАГИ ГІПОТЕЗАМ, ЩО ПОКЛАДЕНІ В ОСНОВУ ТЕОРІЇ ЯНСЕНА МЕХАНІКИ ҐРУНТІВ

У даній роботі наведені позиції щодо підходів до використання формули Янсена для розрахунку напруг у вертикальних циліндричних та прямокутних ємностях стосовно до позицій теорії граничної рівноваги ґрунтів.

Рівняння теорії граничної рівноваги мають дуже широке застосування для розрахунків в багатьох прикладних задачах. Спектр задач поширюється від задач граничної рівноваги відкосів (схилів), задач розрахунку фундаментів будівельних конструкцій, до задач напруженого стану сипких матеріалів у ємностях з жорсткими стінками – силосах, лотках, живильниках тощо. Подібні задачі часто зводяться до необхідності чисельного інтегрування диференціальних рівнянь у часткових похідних рівноваги інфінітезимального елемента масиву, разом з умовою граничного стану рівноваги. Рівняння Янсена, та аналогічні йому рівняння, представляють собою замкнуті аналітичні вирази, що дозволяють швидко оцінити напруги в вертикальних ємностях з жорсткими стінками, що наповнені сипкими матеріалами. Чисельні експерименти показують, що формула Янсена добре виконується особливо в асимптотичному плані, проте, чисельні розрахунки (наприклад, пряме моделювання за методом дискретного елемента DEM) показують, що у високих силосах можуть реалізовуватися й інші види напруженого стану. Вказані вирази отримуються за рахунок використання низки гіпотез, виконання яких не завжди очевидно, при цьому використання рівняння Янсена для визначення тиску на дно й стінки циліндричної ємності в явному вигляді не стосується теорії граничної рівноваги.

В роботі показується, що формула Янсена відповідає стану граничної рівноваги, – вона може бути отримана безпосередньо з осереднених рівнянь статки якщо припустити додатково, що розподіл дотичних напружень по радіусу представляється лінійною функцією, і вважаючи, що радіальні напруги рівномірно розподілені по перерізу, а це повністю відповідає розв'язку відповідної задачі граничної рівноваги. Наводиться також додатковий метод покращення збіжності чисельних розрахунків.

Ключові слова: механіка ґрунтів, сипкі матеріали, рівняння Янсена, гранична рівновага.

S. A. RUSANOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Systems
and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-1003-4867

O. I. KLIUIEV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Systems
and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-6803-0706

I. A. SHATOKHINA

Senior Lecturer at the Department of Transport Systems
and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-5767-3674

COMPLIANCE OF THE THEORY OF LIMITING EQUILIBRIUM WITH THE HYPOTHESES UNDERLYING JANSEN'S THEORY OF SOIL MECHANICS

This paper presents positions regarding approaches to using the Jansen formula for calculating stresses in vertical cylindrical and rectangular containers in relation to the positions of the theory of limiting equilibrium of soils.

The equations of the theory of limit equilibrium are widely used for calculations in many applied problems. The range of problems extends from problems of limit equilibrium of slopes (slopes), problems of calculating the foundations of building structures, problems of the stressed state of bulk materials in containers with rigid walls – silos, trays, feeders, etc. Such problems often come down to the need for numerical integration of partial differential equations for the equilibrium of an infinitesimal element of an array, together with the condition for the limit state of equilibrium. The Jansen equations and similar equations are closed analytical expressions that allow one to quickly estimate the stresses in vertical containers with rigid walls filled with bulk materials. Numerous experiments show that the Jansen formula is well satisfied, especially in the asymptotic plane, but numerical calculations (for example, direct modeling using the discrete element method DEM) show that other types of stress states can be realized in high silos. These expressions are obtained through the use of a number of hypotheses, the implementation of which is not always obvious, while the use of the Jansen equation to determine the pressure on the bottom and cylindrical wall of the container does not explicitly concern the theory of limit equilibrium.

The work shows that the Jansen formula corresponds to the state of limit equilibrium – it can be obtained directly from the averaged equations of statics if we additionally assume that the distribution of tangential stresses along the radius is represented by a linear function, and assuming that the radial stresses are uniformly distributed over the section, and this is completely corresponds to the solution of the corresponding limit equilibrium problem. An additional method for improving the convergence of numerical calculations is also presented.

Key words: soil mechanics, bulk materials, Jansen equation, limit equilibrium.

Постановка проблеми

Рівняння граничної рівноваги сипких середовищ відіграють важливу роль в галузі геотехніки й механіки ґрунтів [1–3]. Вони надають інженерам можливості аналізу й прогнозування поведінки ґрунтових мас у різних умовах. На практиці використання умов граничної рівноваги дозволяє, наприклад, провести прогнозування стійкості (визначити умови, при яких ґрунтова маса перебуває на грані стійкості або руйнування), провести оцінку навантажень і деформацій (з визначенням навантажень, які здатний витримати ґрунт без значних деформацій), провести проектування захисних конструкцій (оцінка можливостей застосування конструкцій, які запобігають обвалом ґрунту або знижують ризик обвалення схилів). Аналіз стабільності схилів був одним з перших застосувань умов граничної рівноваги – можливість визначення ризику обвалення ґрунту та аналіз стабільності схилів на будівельних ділянках або в небезпечних геологічних зонах є вкрай важливою задачею. Окрім того, одне з основних застосувань – визначення навантажень на фундаменти: при проектуванні фундаментів умови дозволяють визначити очікувані навантаження на ґрунт, що важливо для вибору правильного типу фундаменту і його розмірів. Також широке застосування – аналіз напруженого стану в ємностях з жорсткими стінками (силосах, живильниках тощо). У цілому, рівняння граничної рівноваги сипких середовищ являють собою основу для аналізу й проектування різних інженерних споруджень пов'язаних з механікою ґрунтів, забезпечуючи безпеку й надійність будівництва в різноманітних умовах.

Необхідно розуміти, що умови граничної рівноваги ґрунтів часто містять у собі досить істотне припущення про те, що ці умови реалізуються в кожній точці розглянутої області. Таким чином, в такому випадку ми фактично оцінюємо найгіршу ситуацію в системі, припускаючи, що разом з умовою граничної рівноваги продовжують виконуватися рівняння статички елементарного обсягу сипкого середовища (не з'являються прискорення їх центрів ваги).

Для задачі плоскої деформації рівняння статички й умова граничної рівноваги інфінітезимального елемента мають вигляд [1–3]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \gamma &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

$$(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 4\tau_{xy}^2 = \sin^2 \varphi (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + 2c \cdot \text{ctg} \varphi)^2, \tag{2}$$

де σ_{ij} – компоненти тензора напруг, γ – насипна об'ємна вага матеріалу, c – зв'язність сипучого матеріалу, φ – кут внутрішнього тертя матеріалу. У циліндричній системі координат система записується у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \gamma &= 0, \end{aligned} \tag{3}$$

$$(\sigma_{rr} - \sigma_{zz})^2 + 4\tau_{rz}^2 = \sin^2 \varphi (\sigma_{rr} + \sigma_{zz} + 2c \cdot \text{ctg} \varphi)^2. \tag{4}$$

У розрахунковій практиці для визначення розподілу тиску сипкого матеріалу на дно й стінки циліндричної ємності широко використовується рівняння Янсена [1; 4]. Рівняння Янсена виходить із досить простих гіпотез, виконання яких не завжди очевидно. Проте, численні дані часто говорять про гарний збіг результатів розрахунків з результатами натурних експериментів, однак у більшості літературних джерел не надається чітких обґрунтувань для можливості використання зазначених гіпотез і перетинання їх з теорією граничної рівноваги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методи інтегрування системи граничної рівноваги були розвинені Соколовським із введенням приведенної напруги $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_3)/2 + c \cdot \text{ctg} \varphi$. Підстановка в рівняння статички дає систему [3; 5]

$$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial x} \mp 2\sigma \text{tg} \varphi \frac{\partial \rho}{\partial x} - \gamma \text{tg} \varphi \right) \cos(\rho \mp \varepsilon) + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial y} \mp 2\sigma \text{tg} \varphi \frac{\partial \rho}{\partial y} - \gamma \right) \sin(\rho \mp \varepsilon) = 0,$$

де σ_1, σ_3 – головні напруги, ρ – кут між напрямком найбільшої головної напруги σ_1 і віссю x , $\varepsilon = \pi/4 - \varphi/2$ – кут між напрямком σ_1 і площиною ковзання. Ця система вирішується за методом характеристик, звичайно використовуючи кінцево-різницеву апроксимацію уздовж характеристик.

Використання ж рівняння Янсена для визначення тиску на дно й стінки циліндричної ємності в явному вигляді не стосується теорії граничної рівноваги. Вважається, що рівняння Янсена базується на двох гіпотезах. По-перше, з гідростатичної аналогії вводиться поняття коефіцієнта бічного тиску ζ як відношення між бічними й вертикальними напругами. Передбачається, що коефіцієнт бічного тиску відомий, постійний і не залежить від характеру розподілу напруг по горизонтальному перерізу, так що приймається аналогія із законом Паскаля в гідростатиці. Крім того, передбачається, що на стінках ємності виконується закон тертя Кулона. Розрахункова схема являє собою умову рівноваги інфінітезимальних шарів матеріалу в ємності (рис. 1).

Відповідно до розрахункової схеми й зазначених вище гіпотез, умова рівноваги шару з поперечним перерізом S записується як $-q_z S + (q_z + dq_z)S - \gamma S dz + \pi D \tau dz = 0$, що приводить до диференціального рівняння $q'_z + \pi f_0 \zeta D q_z / S = \gamma$, розв'язком якого в припущенні сталості ζ і буде рівняння Янсена

$$q_z = \frac{\gamma D}{4f_0 \zeta} \left(1 - e^{-\frac{4f_0 \zeta z}{D}} \right), \tag{5}$$

де D – діаметр ємності, f_0 – коефіцієнт тертя матеріалу об стінку ємності. Рівняння Янсена таким чином описує, що напруги з глибиною надходять до асимптотичної границі $\gamma D / (4f_0 \zeta)$.

Необхідно вказати, що рівняння Янсена й гіпотези, що приводять до нього, використовуються не тільки для статички сипких середовищ, але й в інших теоріях напруженого стану достатньо пластичних середовищ, що рівномірно заповнюють замкнений простір, наприклад, у теорії напруженого стану сальникових ущільнень [6]. Хороші результати отримуються також для динамічних задач заповнення ємностей з поправками на кшталт коефіцієнта

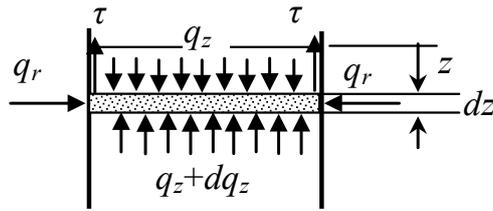


Рис. 1. Розрахункова схема до одержання рівняння Янсена

динамічності [7]. Чисельні експерименти показують, що формула Янсена добре виконується особливо в асимптотичному плані, проте, чисельні розрахунки (наприклад, пряме моделювання за методом дискретного елемента DEM [8]) показують, що у високих силосах можуть реалізовуватися й інші види напруженого стану.

Формулювання мети дослідження

Ми далі можемо легко показати, що формула Янсена відповідає стану граничної рівноваги, – вона виходить безпосередньо з осереднення рівнянь статки (3) якщо припустити додатково, що розподіл дотичних напружень по радіусу представляється лінійною функцією

$$\tau_{rz} = kr, \tag{6}$$

і вважаючи радіальні напруги рівномірно розподіленими по перерізу – так, що з урахуванням визначення коефіцієнта бічного тиску можна записати

$$\sigma_{r|R} = \sigma_r = \xi \bar{\sigma}_z. \tag{7}$$

Але зазначені залежності (6) і (7) і відповідають розв’язку відповідної задачі граничної рівноваги.

Викладення основного матеріалу дослідження

Проінтегруємо друге з рівнянь рівноваги (3) по площі перетину ємності, одержимо

$$\int_S \left(\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \gamma \right) dS = 2\pi \int_0^R \left(\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \gamma \right) r dr = 2\pi k R^2 + \frac{d\bar{\sigma}_{zz}}{dz} S + \gamma S,$$

де $\bar{\sigma}_z = 2\pi \int_0^R \sigma_z r dr / S$ – середня вертикальна напруга в перерізі, $S = \pi R^2$. Враховуючи, що $k = \frac{\tau_{r|R}}{R}$, і припускаючи, що $\tau_{z|R} = f_0 \sigma_{r|R}$, з врахуванням (7) одержимо

$$\frac{2f_0\xi}{R} \bar{\sigma}_{zz} + \frac{d\bar{\sigma}_{zz}}{dz} = \gamma. \tag{8}$$

Розв’язок цього рівняння з врахуванням граничної умови $\bar{\sigma}_{zz}(0) = 0$ саме відповідає рівнянню Янсена (5). Таким чином, для одержання рівняння Янсена як результату осереднення рівняння рівноваги, нам необхідно покласти додатково, що розподіл дотичних напружень по радіусу представляється лінійною функцією, тобто виконується (6), і виконується сталість по перерізу радіальних напруг (7).

Апроксимація розподілу дотичних напруг по радіусу лінійною функцією $\tau_{zz} = kr$ й сталість по перерізу радіальних напруг насправді відповідає точному розв’язку задачі про граничну рівновагу шару сипкого середовища, а саме, розв’язку системи (3), разом з умовою граничної рівноваги (4). Покажемо це безпосередньо спочатку для задачі плоскої деформації (1) і (2). Граничні умови задають нульові напруги на поверхні, нульове значення дотичних напружень на осі симетрії, і умову кулонівського тертя на стінці $\tau_{wall} = f_0 \sigma_x|_{wall}$. Ми будемо використовувати пряме чисельне інтегрування системи (1) і (2) не звертаючись до методу Соколовського. Проблема поліпшення збіжності чисельної кінцево-різницевої схеми може бути усунута, якщо умову граничної рівноваги (2) для достатньо сипкого матеріалу ($c = 0$) записати відносно дотичних напруг у вигляді

$$\tau_{xy} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sin^2 \varphi (\sigma_{xx} + \sigma_{yy})^2 - (\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2},$$

і, припускаючи оцінку $\sin \varphi |\sigma_x + \sigma_y| > |\sigma_x - \sigma_y|$, розкласти праву частину в ряд, утримуючи необхідну кількість членів, – загалом достатньо одного:

$$\tau_{xy} = \pm \frac{1}{2} \sin \varphi (\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) \left(1 - \frac{1}{2} \frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2}{\sin^2 \varphi (\sigma_{xx} + \sigma_{yy})^2} \right). \tag{9}$$

Результати, отримані чисельним розв’язком системи (1) доповненої рівнянням (9) для плоскої деформації представлені на рис. 2.

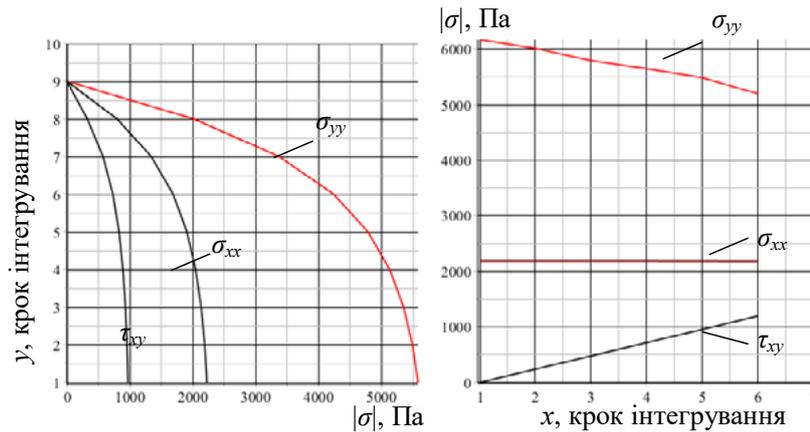


Рис. 2. Результати чисельних розрахунків для задачі плоскої деформації

У цілому – бачимо достатній збіг результатів з тими принципами, які закладені в теорію Янсена, і природно, таким чином, проводити аналогічне виводу (8) інтегрування для прямокутних ємностей, так, що

$$\bar{\sigma}_{zz} = \frac{\rho g S}{f_0 \xi U} \left(1 - e^{-\frac{f_0 \xi U}{S} z}\right), \tag{10}$$

де S – площа поперечного перерізу ємності, U – периметр ємності.

Система рівнянь рівноваги в циліндричній системі координат (3) з рівнянням граничної рівноваги у вигляді (4) виявляється незамкнутою. Таким чином для замикання системи нам необхідно задати деяку умову для напруги $\sigma_{\theta\theta}$. Такою умовою звичайно служить прирівнювання другої й третьої головних напруг, при цьому припускаючи, що напруга $\sigma_{\theta\theta} = \sigma_2$ є проміжною головною напругою, одержимо

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_2 = \sigma_3. \tag{11}$$

Рівняння (11) дозволяє замкнути задачу й скористатися тим же чисельним методом для її розв’язку. Результати розрахунків показані на рис. 3.

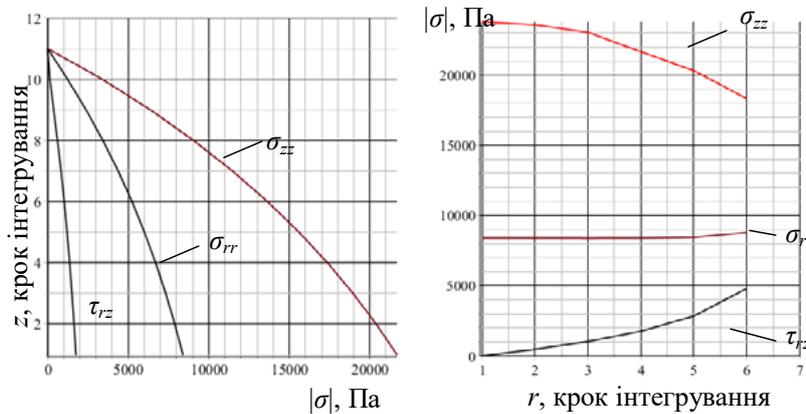


Рис. 3. Результати чисельних розрахунків для осесиметричної задачі

Таким чином, і для циліндричних ємностей ми бачимо достатній збіг із принципами, закладеними в теорію Янсена. Важливо при цьому говорити про середню вертикальну напругу в перерізі, тому що все-таки, на відміну від σ_{rr} , σ_{zz} має помітний нахил у радіальному напрямку.

Висновки

Таким чином, гіпотези про бічний тиск, лінійний віднульовий розподіл дотичних напруг і сталість по перерізу радіальних напруг, які дозволяють вивести рівняння Янсена шляхом осереднення рівнянь рівноваги, з достатнім ступенем точності еквівалентні прийняттю умови граничної рівноваги ґрунту у всьому масиві.

Список використаної літератури

1. Mitchell, J.K., and Soga, K. (2005) Fundamentals of soil behavior, Third edition, John Wiley and Sons, Inc.
2. Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. (1996) Soil mechanics in Engineering Practice, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.
3. Божидарник В.В. Теорія пластичності /В.В. Божидарник, В.В. Сулим Київ : УМК ВО, 1991. 144 с.
4. A. Rogers, G. Dyck, J. Paliwal, K. Hildebrand. The Janssen effect and the Chini ordinary differential equation. Powder Technology. Volume 436, 2024.
5. Тітов В.А. Теорія пластичної деформації. Математичні основи пластичної деформації. Конспект лекцій / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.А. Тітов, Н.К. Злочевська. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 75 с.
6. Русанов С.А., Луняка К.В., Ключев О.І. Моделювання роботи сальникового вузла з врахуванням гідродинаміки ущільнюваного середовища. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2009. № 36. С. 107–110.
7. Русанов С.А., Луняка К.В., Ключев О.І., Глухов Г.М. Математичне моделювання робочого процесу в апаратах з віброкиплячим шаром та розробка систем автоматизованого моделювання гідродинаміки киплячих шарів. Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси і системи. 2009. № 1 (23). С. 15–24.
8. R. Kasiauskas, R. Balevicius, D. Markauskas, A. Maknickas (2007). Discrete Element Method in Simulation of Granular Materials. IUTAM Symposium on Multiscale Problems in Multibody System Contacts, Volume 1.

References

1. Mitchell, J.K., and Soga, K. (2005) Fundamentals of soil behavior, Third edition, John Wiley and Sons, Inc.
2. Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. (1996) Soil mechanics in Engineering Practice, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.
3. Bozhydarnyk V.V. (1991) Teoriia plastychnosti /V.V. Bozhydarnyk, V.V. Sulym – Kyiv: UMK VO, p. 144.
4. A. Rogers, G. Dyck, J. Paliwal, K. Hildebrand. (2024) The Janssen effect and the Chini ordinary differential equation. Powder Technology. Volume 436.
5. Titov V.A. (2022) Teoriia plastychnoi deformatsii. Matematychni osnovy plastychnoi deformatsii. Konspekt lektzii / KPI im. Ihoria Sikorskoho; uklad.: V.A. Titov, N.K. Zlochevska. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, p. 75.
6. Rusanov S.A., Luniaka K.V., Kliuiev O.I. (2009) Modeliuvannia roboty salnykovoho vuzla z vrakhuvanniam hidrodynamiky ushchilniuvanoho seredovyscha // Visnyk khersonskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu, no. 36, pp. 107–110.
7. Rusanov S.A., Luniaka K.V., Kliuiev O.I., Hlukhov H.M. (2009) Matematychno modeliuvannia robochoho protsesu v aparatakh z vibrokypliachym sharom ta rozrobka system avtomatyzovanoho modeliuvannia hidrodynamiky kypliachykh shariv. Avtomatyka. Avtomatyzatsiia. Elektrotekhnichni komplekxy i systemy, vol. 1, no. 23, pp. 15–24.
8. R. Kasiauskas, R. Balevisius, D. Markauskas, A. Maknickas (2007). Discrete Element Method in Simulation of Granular Materials. IUTAM Symposium on Multiscale Problems in Multibody System Contacts, Volume 1.

А. І. САЧЕНКО

аспірант кафедри автоматизації виробничих процесів
Центральноукраїнський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-8274-190X

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ ПРИ НЕСИМЕТРИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Використання відновлюваних джерел енергії є найбільш пріоритетним напрямком енергетичної політики України, яка спрямована на заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів, поліпшення стану оточуючого середовища та запобігання зміні клімату. Враховуючи кліматичні та географічні особливості території України, економічно доцільним вважається використання генеруючих установок на основі сонячної та вітрової енергії. На цей час, найбільшого поширення на території України набули установки на основі сонячної енергії – сонячні електростанції (СЕС), сумарна встановлена потужність яких, станом на 2022 рік становить 7 751 МВт, що на 6 % більше ніж у попередньому році.

Інтеграція СЕС в розподільні електричні мережі з подальшою їх паралельною роботою призводить до переходу від пасивного централізованого електропостачання, до активного децентралізованого. За умови співрозмірної потужності електричної мережі та СЕС виникає зміна режиму роботи першої, що в режимах мінімального навантаження призводить до підвищення рівня напруги на шинах приєднання СЕС до РЕМ.

Таким чином, виникає потреба в дослідженні та розробці технологічних рішень, спрямованих на оптимізацію інтеграції мережевих сонячних електростанцій з метою покращення показників якості електричної енергії у системах розподілу з номінальною напругою 10 кВ.

Одним із таких рішень є удосконалення системи автоматичного керування (САК) генерацією активної потужності СЕС, що дозволить керувати величиною відхилення напруги в точці приєднання до електричної мережі, шляхом обмеження потужності визначеними уставками. За такого підходу, значення відхилення напруги завжди буде в допустимих межах.

Однак, такого роду керування не враховує можливість інверторів СЕС впливати на несиметрію напруг та режими реактивної потужності.

Сучасні РЕМ характеризуються значною неоднорідністю. Наявність великої кількості потужних однофазних споживачів, а також трифазних споживачів, які працюють не одночасно, є однією з причин виникнення несиметрії напруг в мережах 10 кВ.

Враховуючи це, задача удосконалення САК режимами роботи РЕМ з СЕС, реалізація якої дозволить досягнути одночасного зниження рівня усталеного відхилення напруги, рівня несиметрії напруг, та рівня споживання реактивної потужності за умови максимально можливого значення генерації електроенергії є актуальною.

Ключові слова: сонячні електростанції, багатокритеріальна оптимізація, показники якості електричної енергії.

А. І. SACHENKO

Postgraduate Student at the Department of Automation of Production Processes
Central Ukrainian National Technical University
ORCID: 0000-0001-8274-190X

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE OPERATION MODES OF THE POWER DISTRIBUTION NETWORK WITH SOLAR POWER PLANTS UNDER UNBALANCED LOAD

The use of renewable energy sources is the most priority direction of Ukraine's energy policy, which is aimed at saving traditional fuel and energy resources, improving the environment and preventing climate change. Taking into account the climatic and geographical features of the territory of Ukraine, it is considered economically feasible to use generating units based on solar and wind energy. At the moment, solar power plants (SPPs) have become the most widespread in Ukraine, the total installed capacity of which is 7,751 MW as of 2022, which is 6% more than in the previous year.

The integration of SPPs into power distribution networks (PDN) with their subsequent parallel operation leads to the transition from passive centralized power supply to active decentralized power supply. Under the condition of commensurate power of the electric network and SPP, there is a change in the operation mode of the first, which in the minimum load modes leads to an increase in the voltage level on the buses connecting the SPP to the PDN.

Thus, there is a need for research and development of technological solutions aimed at optimizing the integration of grid solar power plants in order to improve the quality of electric energy in distribution systems with a nominal voltage of 10 kV.

One of these solutions is the improvement of the automatic control system (ACS) of the generation of active power of the SPP, which will allow controlling the amount of voltage deviation at the point of connection to the electrical network, by limiting the power to specified settings. With this approach, the value of voltage deviation will always be within acceptable limits.

However, this kind of control does not take into account the ability of SPP inverters to influence voltage unbalance and reactive power modes.

Modern PDNs are characterized by considerable heterogeneity. The presence of a large number of powerful single-phase consumers, as well as three-phase consumers that do not work at the same time, is one of the reasons for voltage unbalance in 10 kV networks.

Taking this into account, the task of improving the ACS with modes of operation of PDN with SPP, the implementation of which will allow to achieve a simultaneous reduction in the level of steady-state voltage deviation, the level of voltage unbalance, and the level of reactive power consumption under the condition of the maximum possible value of electricity generation, is relevant.

Key words: solar power plants, multi-criteria optimization, power quality indicators.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання удосконалення системи автоматичного керування режимами роботи РЕМ з СЕС розглядалося в роботах [1–3].

В роботі [1] запропоновано САК режимом роботи РЕМ із СЕС, яка заснована на застосуванні ковзного режиму. Такий підхід дозволяє підвищити рівень генерації активної потужності СЕС та керувати режимами реактивної потужності в РЕМ. Основним недоліком запропонованої САК є не врахування впливу інверторів СЕС на рівень несиметрії напруги.

В статті [2] запропоновано САК режимом роботи РЕМ із СЕС, робота якої заснована на двохконтурному методі керування. Використання такої САК дозволяє не лише керувати рівнем напруги в точці приєднання інвертора до мережі, але й впливати на режим реактивної потужності СЕС. Основним недоліком цієї САК є неврахування можливості інвертора СЕС впливати на несиметрію напруги в РЕМ.

В роботі [3] запропонована САК параметрами режиму РЕМ із СЕС, що базується на розв'язках задачі векторної оптимізації. Такого роду САК дозволяє впливати на величину відхилення напруги, при умові максимальної генерації активної потужності СЕС. Недоліком запропонованої САК є неврахування впливу інвертора СЕС на режими реактивної потужності РЕМ.

Як бачимо, загальним недоліком запропонованих в роботах [1–3] САК режимами роботи РЕМ із СЕС є неврахування в повній мірі багатфункціонального впливу інверторів СЕС на режими роботи РЕМ (зокрема на показники якості електроенергії, такі як усталене відхилення та несиметрія напруг).

Формулювання мети дослідження

Метою цієї статті є розробка та дослідження роботи САК режимами роботи РЕМ з СЕС, за умови забезпечення максимально можливого рівня генерації активної потужності та одночасного дотримання допустимого рівня усталеного відхилення напруги, рівня несиметрії напруги та рівня споживання реактивної потужності.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

розробити структурну схему САК режимом роботи РЕМ з СЕС при несиметричному навантаженні та алгоритм розрахунку вектору керування;

створити комп'ютерну імітаційну модель САК режимами роботи РЕМ з СЕС при несиметричному навантаженні;

визначити ефект від застосування розробленого алгоритму автоматичного керування режимами роботи РЕМ з СЕС при несиметричному навантаженні, шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання.

Викладення основного матеріалу дослідження

В роботі [4] було показано, що задачу автоматичного керування режимами роботи РЕМ з СЕС при несиметричному навантаженні доцільно розглядати як задачу багатокритеріальної (векторної) оптимізації:

$$\begin{cases} -P_{\Sigma \text{ген}}(\mathbf{S}_{\text{ген}}) \rightarrow \min, \\ |\operatorname{tg} \varphi(\mathbf{S}_{\text{ген}})| = \frac{Q_{\Sigma \text{ген}}(\mathbf{S}_{\text{ген}})}{P_{\Sigma \text{ген}}(\mathbf{S}_{\text{ген}})} \rightarrow \min, \\ |\Delta U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}})| = U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}}) - U_{\text{ном}} \rightarrow \min, \\ U_2(\mathbf{S}_{\text{ген}}) \rightarrow \min, \\ \mathbf{S}_{\text{ген}} \in \Omega, \end{cases} \quad (1)$$

де $\mathbf{S}_{\text{ген}} = (\underline{S}_{\text{ген}A}, \underline{S}_{\text{ген}B}, \underline{S}_{\text{ген}C})$ – вектор фазних потужностей генерації СЕС (вектор керування);
 $\underline{S}_{\text{ген}i} = P_{\text{ген}i} + jQ_{\text{ген}i}, i = A, B, C$ – комплекс повної потужності генерації СЕС для i -ї фази;
 $\Omega \in \mathbb{C}^3 \mid \underline{S}_{\text{ген}i}^{\min} \leq \underline{S}_{\text{ген}i} \leq \underline{S}_{\text{ген}i}^{\max}, i = A, B, C$ – область допустимих значень вектора керування $\mathbf{S}_{\text{ген}}$;
 $\underline{S}_{\text{ген}i}^{\min}, \underline{S}_{\text{ген}i}^{\max}, i = A, B, C$ – мінімально та максимально допустимі значення вектора керування $\mathbf{S}_{\text{ген}}$;

$\Delta U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}})$ – різниця значень модуля комплексу напруги прямої послідовності \underline{U}_1 та номінальної напруги РЕМ $U_{\text{ном}}$;

$U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}})$ – значення модуля комплексу напруги прямої послідовності;

$\text{tg}\varphi(\mathbf{S}_{\text{ген}})$ – коефіцієнт реактивної потужності в режимі генерації;

$Q_{\Sigma\text{ген}} = \text{Im}(\underline{S}_{\Sigma\text{ген}})$ – трифазна реактивна потужність, що генерується в мережу;

$P_{\Sigma\text{ген}} = \text{Re}(\underline{S}_{\Sigma\text{ген}})$ – трифазна активна потужність, що генерується в мережу.

Комплекс повної трифазної потужності, що генерується в мережу $\underline{S}_{\Sigma\text{ген}}$ визначається за формулою:

$$\underline{S}_{\Sigma\text{ген}} = \underline{S}_{\text{ген}} - \underline{S}_{\text{н}} = \sum_{i=1}^3 [P_{\text{ген}i} - P_{\text{н}i} + j(Q_{\text{ген}i} - Q_{\text{н}i})] \quad (2)$$

де $\underline{S}_{\text{н}}$ – комплекс повної потужності навантаження:

$$\underline{S}_{\text{н}} = \sum_{i=1}^3 (P_{\text{н}i} + jQ_{\text{н}i}) \quad (3)$$

$U_2(\mathbf{S}_{\text{ген}})$ – значення модуля комплексу напруги зворотної послідовності;

Як зазначено в роботах [5; 6], найбільш підходящим методом вирішення задач (1) є метод наближення до утопічної точки в просторі критеріїв. Для випадку задачі (1) координатами утопічної точки будуть мінімальні значення кожного з критеріїв $Q_{\text{ут}} = (-P_{\Sigma\text{ген}\min}, \text{tg}\varphi_{\min}, \Delta U_{1\min}, U_{2\min})$.

Як показано в роботі [5], вирішення задачі (1) найдоцільніше здійснювати шляхом використання чебишевської метрики ($p \rightarrow \infty$).

В задачах багатокритеріальної оптимізації виникає ряд проблем, пов'язаних з нормалізацією різнорідних критеріїв та урахування їх пріоритетності. Основна мета нормалізації полягає у зведенні критеріїв оптимізації до єдиного безрозмірного масштабу, за умови відсутності залежності критеріїв від масштабу вимірювання та зменшення їх значущості. Враховуючи цей факт було обрано спосіб нормалізації за наступною формулою [7]:

$$N_i^1(Q_i) = \frac{Q_i - Q_i^{\min}}{Q_i^{\max} - Q_i^{\min}}, \quad (4)$$

де Q_i^{\min} – максимальне значення i -го критерію оптимізації на множині допустимих альтернатив;

Q_i^{\max} – мінімальне значення i -го значення критерію оптимізації на множині допустимих альтернатив.

При розв'язанні задач багатокритеріальної оптимізації в електроенергетиці (i не тільки) виникає складність проведення експертизи та трудомісткість отримання вихідної експертної інформації, яка часто є неповною та суперечливою. У цих об'єктивно існуючих умовах доцільно обирати такі методи, які потребують найменшого часу спілкування з експертами. Цій умові найповніше відповідає група методів попарного порівняння з обробкою інформації в первинних шкалах. До цієї групи методів визначення вагових коефіцієнтів належать методи Уея, Сааті та Коггера і Ю [8].

На основі порівняльного аналізу [9], встановлено, що найкраще виконує поставлене завдання метод аналізу ієрархій (метод Сааті), який не потребує тривалого часу на спілкування з експертами та має високій ступінь узгодженості оцінок для різних експертів. Тому саме цей метод і був застосований для визначення вагових коефіцієнтів.

За такого підходу знаходження кінцевого розв'язку задачі (1), шляхом використання чебишевської метрики, матиме наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \begin{array}{l} \xi_1 \cdot [N(Q_1(\mathbf{S}_{\text{ген}})) - N(Q_1^{\min}(\mathbf{S}_{\text{ген}}))], \\ \xi_2 \cdot [N(Q_2(\mathbf{S}_{\text{ген}})) - N(Q_2^{\min}(\mathbf{S}_{\text{ген}}))], \\ \xi_3 \cdot [N(Q_3(\mathbf{S}_{\text{ген}})) - N(Q_3^{\min}(\mathbf{S}_{\text{ген}}))], \\ \xi_4 \cdot [N(Q_4(\mathbf{S}_{\text{ген}})) - N(Q_4^{\min}(\mathbf{S}_{\text{ген}}))]. \end{array} \right\} \\ \mathbf{S}_{\text{ген}} \in \Omega \end{array} \right. \quad (5)$$

Алгоритм визначення вектору оптимального керування рівнем генерації активної та реактивної потужності ($S_{ген}^{opt}$) СЕС у складі РЕМ приведено на (рис. 2) у вигляді блок-схеми.

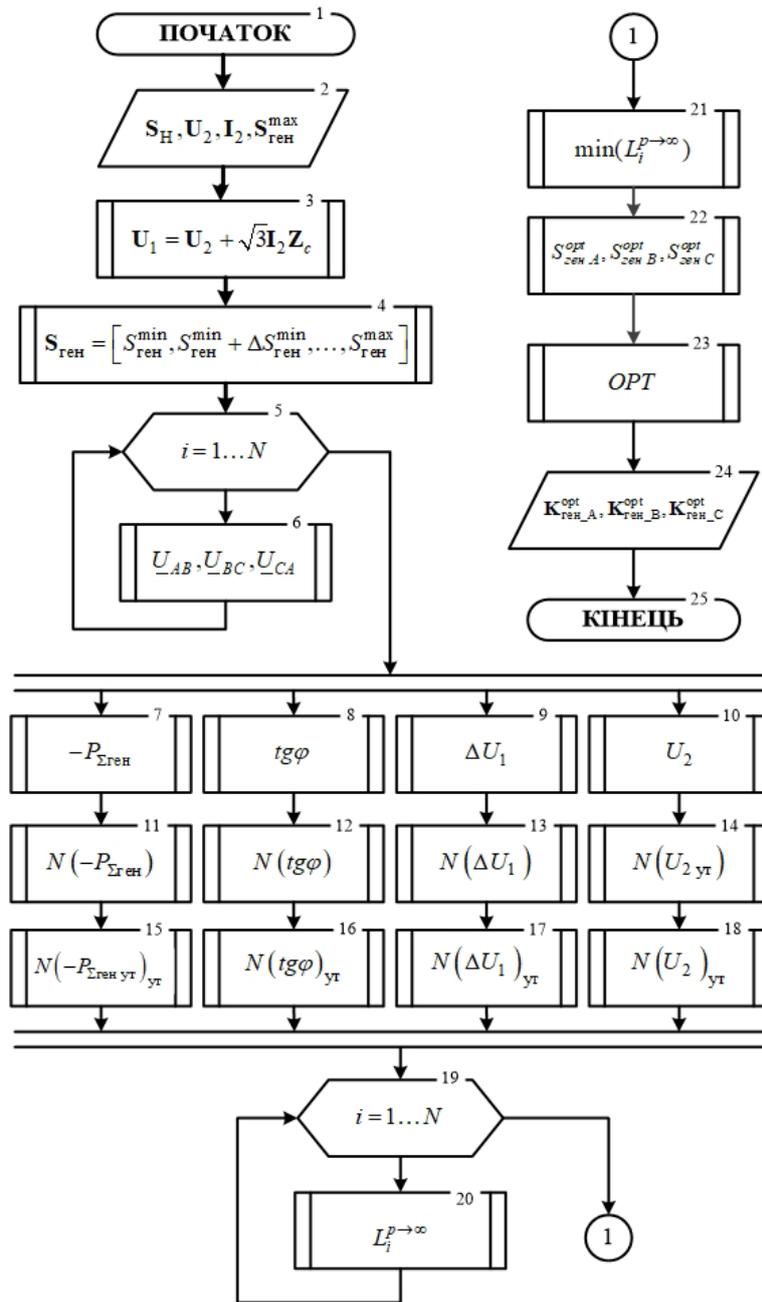


Рис. 2. Блок-схема алгоритму визначення оптимального вектору керування генерацією повної потужності СЕС в РЕМ

На рис. 2: 2 – процедура отримання даних про поточні параметри режиму роботи розподільної електричної системи та максимально можливого значення повної потужності (активної та реактивної) СЕС; 3 – процедура визначення напруги мережі за відомими параметрами мережі та виміряними значеннями потужності навантаження та струму в лінії; 4 – процедура дискретизації простору можливої потужності генерації СЕС; 6 – процедура розрахунку комплексів напруг на шинах споживачів, при відповідних значеннях потужності генерації із простору; 7 – процедура визначення критерію; 8 – процедура визначення критерію; 9 – процедура визначення критерію; 10 – процедура визначення критерію; 11, 12, 13, 14 – процедури нормалізації (приведення до безрозмірних величин) відповідних критеріїв; 15, 16, 17, 18 – процедури визначення координат утопічних точок нормалізованих критеріїв, які реалізуються методом повного перебору; 20 – процедура визначення за формулою (2.23) відстаней

від елементів множини парето-оптимальних розв’язків до променя, що виходить з утопічної точки; 21 – процедура пошуку мінімальної відстані від множини парето-оптимальних розв’язків до променя, що виходить з утопічної точки, яка реалізується методом повного перебору; 22 – процедура визначення оптимальної величини повної потужності генерації СЕС; 23 – процедура визначення оптимального вектору керування; 24 – процедура виведення оптимального вектору керування.

Вектор оптимального керування передається на виконавчий пристрій, де у відповідності до заданого значення уставки генерації в кожній фазі трифазної СЕС обирається найближче значення потужності генерації (активної та реактивної).

На рис. 3 представлена узагальнена комп’ютерна імітаційна модель САК режимами роботи PEM з СЕС при несиметричному навантаженні.

Модель містить наступні підсистеми: «Напруга U_c » – підсистема моделювання величини напруги PEM; «Навантаження» – підсистема моделювання навантаження споживачів; «СЕС» – підсистема моделювання роботи мережевої СЕС; «PEM» – підсистема моделювання роботи PEM; «Reg_SES» – підсистема моделювання роботи регулятора системи автоматичного керування генерацією активної та реактивної потужності СЕС; «Вимірювач параметрів режимів» – підсистема вимірювача показників режиму (критеріїв оптимізації).

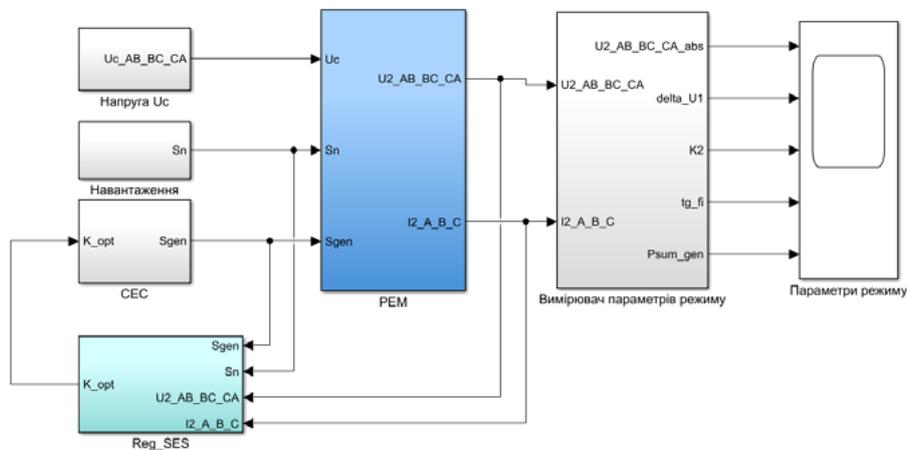


Рис. 3. Узагальнена комп’ютерна імітаційна модель САК режимами роботи PEM з СЕС при несиметричному навантаженні для MatLab Simulink

Для визначення ефекту від застосування розв’язку задачі керування (1) було проведено моделювання роботи розподільної електричної мережі напругою 10 кВ до якої підключена сонячна електростанція для таких випадків: при відсутності керування генерацією активної та реактивної потужності СЕС (модель 1); для базової моделі при такому керуванні генерацією активної потужності СЕС, що обмежує відхилення напруги на шинах споживачів значеннями 10% (модель 2); при розробленому оптимальному керуванні генерацією активної та реактивної потужності СЕС (модель 3).

Статистична обробка результатів моделювання полягала у визначенні інтегральної ймовірності потрапляння значення усталеного відхилення напруги ΔU , коефіцієнта реактивної потужності $tg\phi$ та коефіцієнта несиметрії за зворотною послідовністю K_2 на шинах споживачів у допустимі межі:

$$\begin{cases} P(\Delta U \leq \Delta U_{don}) = N_{don} / N_{\Sigma} \\ P(tg\phi \leq tg\phi_{don}) = N_{don} / N_{\Sigma} \\ P(K_2 \leq K_{2don}) = N_{don} / N_{\Sigma} \end{cases} \quad (6)$$

де P – інтегральна ймовірність показника в діапазон допустимих значень;

N_{don} – кількість значень величини, що входять в допустимі межі;

N_{Σ} – загальна кількість вимірювань показника.

Результати комп’ютерного моделювання роботи розподільної електричної мереж 10 кВ з СЕС при несиметричному навантаженні для означених випадків наведені на рис. 4–6.

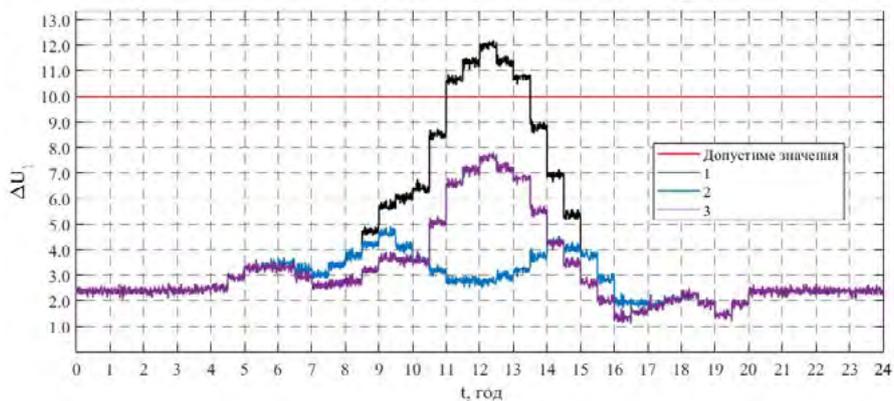


Рис. 4. Графік відхилення напруги на шинах споживачів:
1 – модель 1; 2 – модель 2; 3 – модель 3

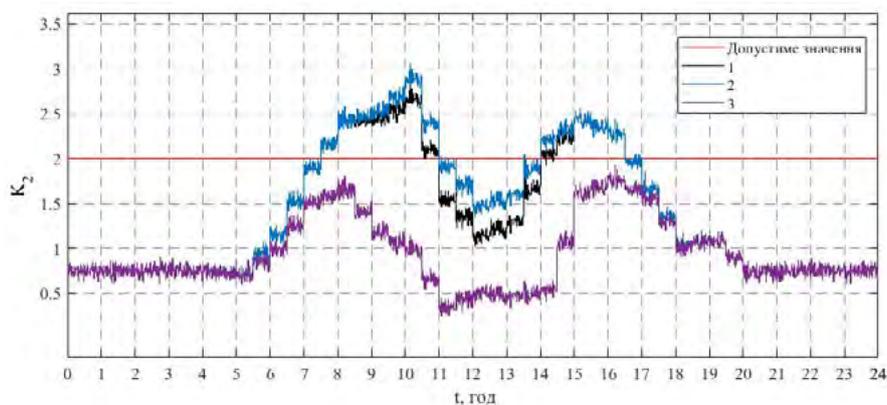


Рис. 5. Графік зміни коефіцієнта несиметрії напруги за зворотною послідовністю на шинах споживачів:
1 – модель 1; 2 – модель 2; 3 – модель 3

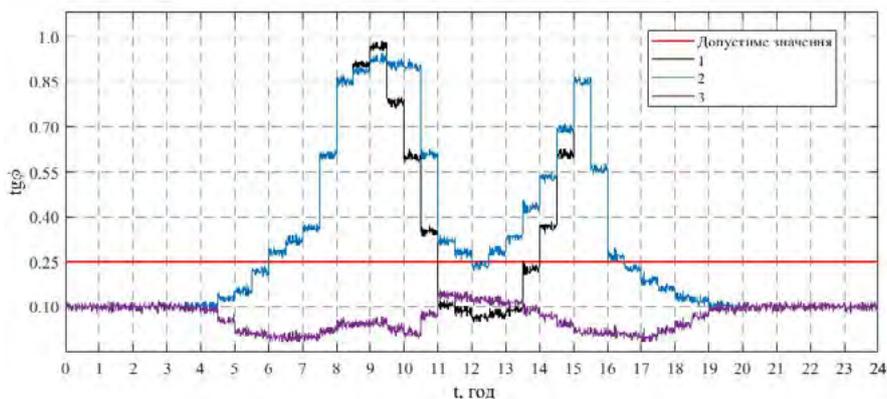


Рис. 6. Графік зміни коефіцієнта реактивної потужності на шинах споживачів:
1 – модель 1; 2 – модель 2; 3 – модель 3

Числові результати моделювання наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати комп'ютерного моделювання

№ з/п	Показник	Значення показника	
		Базова САК	Розроблена САК
1	Електроенергія, що генерується СЕС в мережу, кВт·год	716,1	767,3

Як бачимо, для випадку без керування генерацією активної та реактивної потужності СЕС показники усталеного відхилення та несиметрії напруг виходять за межі допустимих значень (10% та 2% відповідно) з інтегральною імовірністю 87,5% та 71,5%, що не задовольняє вимоги ДСТУ EN 50160:2014. В свою чергу, коефіцієнт реактивної потужності також знаходиться у недопустимих межах (менше 0,25) з інтегральною імовірністю 85%.

Для випадку базової моделі керування генерацією активної потужності СЕС, що обмежує відхилення напруги на шинах споживачів значеннями 10% вдається досягти 100% потрапляння усталеного відхилення напруги в точці приєднання СЕС до РЕМ в допустимі межі. Пороте інші показники майже не змінюються, та знаходяться в незадовільних межах.

Застосування розробленої САК дозволяє підвищити інтегральну імовірність потрапляння коефіцієнта реактивної потужності в допустимі межі на майже 42% порівняно з базовою моделлю, та коефіцієнта несиметрії на 29,2%. При цьому інтегральна імовірність потрапляння величини усталеного відхилення та несиметрії напруг становить 100%, що задовольняє вимоги ДСТУ EN 50160:2014. Також слід зауважити, що при застосуванні розробленої САК, збільшилася на 6,7% кількість виробленої електроенергії.

Отже, реалізація алгоритму оптимального керування генерацією активної та реактивної потужності СЕС в складі РЕМ при несиметричному навантаженні дозволяє забезпечувати показники усталеного відхилення на несиметрії напруг в межах, визначених ДСТУ EN 50160:2014, коефіцієнта реактивної потужності в дозволених межах та збільшити кількість виробленої електроенергії.

Висновки

На основі проведеного дослідження встановлено:

1. Задачу автоматичного керування режимами роботи РЕМ з СЕС при несиметричному навантаженні найдоцільніше розглядати як задачу багатокритеріальної (векторної) оптимізації, для вирішення якої, найкраще підходить метод наближення до утопічної точки в просторі критеріїв.

2. Розроблена структурна схема САК режимами роботи РЕМ з СЕС та алгоритм визначення вектору керування дали можливість створити комп'ютерну імітаційну модель САК режимами РЕМ з СЕС при несиметричному навантаженні.

3. За результатами комп'ютерного моделювання розробленої САК, показано її перевагу над базовою САК. Використання розробленої САК дозволяє забезпечувати показники усталеного відхилення на несиметрії.

Список використаної літератури

1. Bahri, H., Aboulfatah, M., Guisser, M., Abdelmounim, E., & El Malah, M. (2018). Sliding mode control of a three phase grid connected photovoltaic system with a nonlinear load. *International Review of Automatic Control*, 11(6), 293–303. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i6.11686> [in English]

2. WAN Qian, Xia Chengjun, Azeddine Houari, Zhao Xue1, Xia Chengjun, Zheng Xiaotian and Huang Chuyin (2020). The Reactive Power Support Strategy based on Dual-loop Control for Three-phase Grid-connected Inverter. 10th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE 2020), Volume 182. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018202011> [in English]

3. Плешков П.Г., Гарасьова Н.Ю., Солдатенко В.П. Оптимальне керування режимом роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика: зб. наук. пр. Харків : НТУ «ХПІ». 2018. № 32 (1308). С. 64–70. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2018.32.12>*

4. Оптимальне керування режимами розподільних електричних мереж з сонячними електростанціями при несиметричному навантаженні / А. І. Саченко та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. № 6(37) Ч. 1. С. 37–44. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.37-44](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.37-44).*

5. Солдатенко В. П., Плешков С. П. Автоматичне керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. 2017. № 34(1256). С. 66–70. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vsрудmash_2017_34_14.*

6. Солдатенко В. П. Система автоматичного керування роботою комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. технічні науки. проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. 2017. № 187. С. 37–39. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdusg_2017_187_16.*

7. Ус С.А. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. / С.А. Ус, Л.С. Коряшкіна; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т.– Д.: НГУ, 2014. – 300 с. URL: [https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/Models_and_decision-making_techniques\(Us_Koryashkina\)_NMU_SAU.pdf](https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/Models_and_decision-making_techniques(Us_Koryashkina)_NMU_SAU.pdf)

8. Літвінов В. В., Костерев М. В., Денисюк П. Л. Використання методів попарного порівняння для визначення пріоритетності способів забезпечення статичної стійкості асинхронних двигунів в умовах багатокритеріального

вибору. *Наукові вісті НТУУ «КПІ» : науково-технічний журнал*. 2010. № 2(70). С. 24–29. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0b684070-9146-43a5-8093-781e8e1c5419/content>

9. Медиковский М.О., Шуневич О. Б. Дослідження ефективності методів визначення вагових коефіцієнтів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2011. № 5. С. 120–123. URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2011_5/51_med.pdf

References

1. Bahri H., Aboufatah, M. Guisser, M. Abdelmounim, E., & El Malah M. (2018). Sliding mode control of a three phase grid connected photovoltaic system with a nonlinear load. *International Review of Automatic Control*, 11(6), 293–303. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i6.11686>

2. WAN Qian, Xia Chengjun, Azeddine Houari, Zhao Xue1, Xia Chengjun, Zheng Xiaotian and Huang Chuyin (2020). The Reactive Power Support Strategy based on Dual-loop Control for Three-phase Grid-connected Inverter. 10th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE 2020), Volume 182. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018202011>

3. Plieshkov P. H., Harasova N. Yu., & Soldatenko V. P. (2018). Optymalne keruvannia rezhymom roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoi systemy z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii [Optimal control of the operation mode of the combined electric power system with renewable energy sources]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI"*. Ser.: Problemy udoskonaliuvannia elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriia i praktyka: Zb. nauk. pr. – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Problems of improvement of electric machines and devices. Theory and practice: Collection of scientific works, 32 (1308), 64–70. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2018.32.12> [in Ukrainian]

4. Sachenko A. I., Plieshkov S. P., Plieshkov P. H., & Zinzura V. V. (2022). Optymalne keruvannia rezhymamy rozpodilnykh elektrychnykh merezh z soniachnymy elektrostantsiiami pry nesymetrychnomu navantazhenni [Optimal control of the modes of distribution electric networks with solar power plants with unbalanced load]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian scientific bulletin. Technical sciences*, 6(37), p.1, 37–44. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.37-44](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.37-44) [in Ukrainian]

5. Soldatenko V. P., & Plieshkov S. P. (2017). Avtomatychne keruvannia rezhymamy roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoi systemy z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii [Automatic control of operating modes of a combined electric power system with renewable energy sources]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Zbirnyk naukovykh prats. Serii: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific papers. Series: Problems of improving electric machines and devices, 34(1256), 66–70. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/vsрудmash_2017_34_14 [in Ukrainian]

6. Soldatenko V. P. (2017). Systema avtomatychnoho keruvannia robotoiu kombinovanoi elektroenerhetychnoi systemy z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii [The system of automatic control of the operation of the combined electric power system with renewable energy sources]. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. tekhnichni nauky. problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK ukrainy – Herald of KhNTUSG named after P. Vasylenko. Technical sciences. Series: Problems of energy supply and energy saving in the agricultural sector of Ukraine*, 187, 37–39 Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/vkhdtusg_2017_187_16 [in Ukrainian]

7. Us S. A., Koriashkina L. S. (2014) Modeli y metody pryiniattia rishen : navch. posib [Decision-making models and methods]. Dnipropetrovsk: NHU. Retrieved from [https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/Models_and_decision-making_techniques\(Us_Koryashkina\)_NMU_SAU.pdf](https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/Models_and_decision-making_techniques(Us_Koryashkina)_NMU_SAU.pdf) [in Ukrainian]

8. Litvinov V.V., Kosteriev, M.V., & Denysiuk P. L. (2010). Vykorystannia metodiv poparnoho porivniannia dlia vyznachennia priorytetnosti sposobiv zabezpechennia statychnoi stiiikosti asynkhronnykh dyvahuniv v umovakh bahatokryterialnoho vyboru [The use of pairwise comparison methods to determine the priority of ways to ensure the static stability of asynchronous motors in the conditions of multi-criteria selection]. *Naukovi visti NTUU «KPI»F – Scientific news of NTUU "KPI": Scientific and technical journal: Naukovo-tekhnichniy zhurnal*, 2(70), 24–29. Retrieved from <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0b684070-9146-43a5-8093-781e8e1c5419/content> [in Ukrainian]

9. Medykovskyi, M.O., & Shunevych, O. B. (2011). Doslidzhennia efektyvnosti metodiv vyznachennia vahovykh koefitsiientiv [Research on the effectiveness of methods for determining weighting factors]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, 5, 120–123. Retrieved from http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2011_5/51_med.pdf [in Ukrainian]

І. М. СВІТИЙ

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів
і робототехнічних систем
Одеський національний технологічний університет
ORCID: 0000-0001-8524-5565

О. І. ЧЕРНЯК

магістрант кафедри автоматизації технологічних процесів
і робототехнічних систем
Одеський національний технологічний університет
ORCID: 0009-0001-5329-575X

ПРО ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КОТЛОМ ДКВР-10-13

Значна частина технологічних процесів на промислових, сільськогосподарських, харчових підприємствах пов'язана з великим споживанням пари, яку виробляють парові котли у власних котельнях підприємств. Виклики сьогодення вимагають підвищення енергоефективності парових котлів, забезпечення ресурсозбереження, зменшення шкідливих викидів у зовнішнє середовище тощо. Вирішити ці складні завдання можливо, зокрема, шляхом підвищення інтелектуального рівня алгоритмів автоматичного керування виробленням пари у котлах. Тому актуальним є вдосконалення існуючих подібних систем автоматичного керування. Відомо чимало досліджень в цьому напрямку, однак існуючі системи не забезпечують необхідну динамічну точність керування внаслідок неврахування в контурі регулювання тиску пари в барабані котла істотного збурення – відбору пари споживачами. Авторами запропоновано ефективну систему автоматичного керування виробленням пари в котлі ДКВр-10-13 підвищеної динамічної точності на основі принципу інваріантності до контрольованого збурення. В ході проведеного дослідження було проаналізовано технологічний процес вироблення пари, розроблено комплекс моделей котла як об'єкта керування та здійснено їх цифрову реалізацію в середовищі Matlab Simulink; розроблено алгоритми керування, що забезпечують підвищення ефективності функціонування та динамічної точності стабілізації регульованих змінних котла, розроблено алгоритми логічного керування котлом; вибрано технічні засоби та розроблено технічну структуру системи керування котлом; розроблено графічний інтерфейс автоматизованого робочого місця оператора котельні на базі SCADA-системи Genie; розроблено програмне забезпечення для реалізації алгоритмів цифрового керування на функціонально- і вільно- програмованих контролерах; розроблено фрагменти проектної документації технічного забезпечення системи керування; обґрунтовано економічну доцільність та інвестиційну привабливість розробки, розглянуто питання техніки безпеки та охорони праці при експлуатації котла.

Ключові слова: виробництво пари, котел, котлоагрегат, автоматизація, система автоматичного керування, підвищення динамічної точності.

I. M. SVITYI

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of Technological Processes Automation
and Robotic Systems Department
Odesa National University of Technology
ORCID: 0000-0001-8524-5565

O. I. CHERNIAK

Master's Degree Student of Technological Processes Automation
and Robotic Systems Department
Odesa National University of Technology
ORCID: 0009-0001-5329-575X

ABOUT FEATURES OF AUTOMATIC CONTROL OF DKVR-10-13 BOILER

A significant part of the technological processes at industrial, agricultural, and food enterprises is connected with the large consumption of steam produced by steam boilers in the enterprises' own boiler rooms. Today's challenges require increasing the energy efficiency of steam boilers, ensuring resource conservation, reducing harmful emissions into the environment, etc. It is possible to solve these complex tasks, in particular, by increasing the intellectual level of algorithms

for automatic control of steam production in boilers. Therefore, it is urgent to improve the existing similar automatic control systems. A lot of research in this direction is known, but the existing systems do not provide the necessary dynamic accuracy of control due to the failure to take into account in the steam pressure regulation circuit in the boiler drum a significant disturbance – the selection of steam by consumers. The authors proposed an effective system of automatic control of steam production in the DKVr-10-13 boiler of increased dynamic accuracy based on the principle of invariance to controlled disturbance. In the course of the research, the technological process of steam production was analyzed, a set of boiler models was developed as a control object, and their digital implementation was carried out in the Matlab Simulink environment; control algorithms have been developed, which ensure an increase in the efficiency of operation and dynamic accuracy of stabilization of regulated variables of the boiler, algorithms for logical control of the boiler have been developed; technical means were selected and the technical structure of the boiler control system was developed; the graphic interface of the automated workplace of the boiler plant operator based on the Genie SCADA system was developed; developed software for the implementation of digital control algorithms on functional and freely programmable controllers; fragments of project documentation for technical support of the control system were developed; the economic expediency and investment attractiveness of the development are substantiated, the issue of safety and occupational health and safety during the operation of the boiler is considered.

Key words: steam generation, boiler, boiler unit, automation, automatic control system, dynamic accuracy improvement.

Постановка проблеми

Значна частина технологічних процесів на промислових, сільськогосподарських, харчових підприємствах пов'язана з великим споживанням пари, яку виробляють встановлені в їх котельнях парові котли.

Виклики сьогодення вимагають підвищення енергоефективності парових котлів, забезпечення ресурсозбереження, зменшення шкідливих викидів у зовнішнє середовище тощо. Вирішення цих завдань традиційними шляхами за рахунок вдосконалення енергетичного обладнання низько ефективно. Необхідно впровадження сучасних систем автоматичного керування (САК). Однак складність котла як об'єкту керування не сприяла широким дослідженням та впровадженню передових підходів до автоматизації в сферу енергетики.

Таким чином, потреби практики у підвищенні технологічної ефективності та безпеки експлуатації енергетичного обладнання з одного боку і існуючий рівень розвитку науки і техніки в цій галузі з іншого суперечать один одному. Шляхом усунення цієї суперечності може бути вдосконалення існуючих САК котельним обладнанням.

Серед задач, які стоять перед сучасними САК парогенеруючим обладнанням, основними є такі: надання оперативному персоналу достатньої, достовірної та своєчасної інформації про хід технологічного процесу, про стан обладнання та технічних засобів автоматизації; автоматичне керування технологічним обладнанням у різних режимах роботи; оптимальне ведення процесу з метою отримання теплоти заданої якості та кількості тощо.

Серед застосовуваних парових котлів широко розповсюджені агрегати типу ДКВр, в яких використовують традиційні, типові схеми автоматичного керування, які однак не забезпечують достатню ефективність пароутворення. У зв'язку з цим необхідна розробка ефективних систем автоматичного керування процесом виробництва пари. Зокрема актуальним є підвищення ефективності автоматичного керування котлом ДКВр-10-13.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням автоматизації технологічного процесу виробництва пари займалися чимало дослідників. Так у СВ «Альтера» запропонували автоматизовану систему керування котельнею, яка містить автоматичне та ручне регулювання навантаження за температурою води на виході (для водогрійних котлів) або тиску пари (для парових) шляхом керування шиберами вентилятора та газової заслінки; автоматичне або ручне регулювання розрідження в топці шляхом керування шибером димососа; автоматичне або ручне регулювання рівня води в барабані парового котла шляхом керування живильним насосом [1]. У ПП «ПромМонтажНаладка» розробили автоматичну систему керування котельнею, яка містить автоматичне підтримання заданого тиску пари в котлі, зміною подачі палива, автоматичне підтримання заданого рівня води в барабані котла, зміною подачі живильної води в котел, автоматичне підтримання тиску повітря на горіння пропорційно до обертів шнека подачі палива відповідно до співвідношення паливо-повітря зміною обертів двигуна вентилятора, автоматичне підтримання заданого розрідження в топці котла, зміною обертів двигуна димососа [2]. Р. К. Стасевич, О. В. Садовий та ін. запропонували безперервний вимір вмісту оксиду вуглецю в димовому тракті, витрати тиску повітря та палива, розрідження в димовому тракті, підтримування в топці заданого вмісту оксиду вуглецю та кисню шляхом зміни обертів вентилятора і димососа [3]. В. А. Барський розробив адаптивну систему керування тяго-дутьовими механізмами котельних агрегатів ЕКО-3 [4]. Чимало вітчизняних дослідників розглядають рівень води в барабані котла як один з найважливіших його регульованих параметрів, оскільки його істотне зниження або підвищення суттєво знижує ефективність його роботи і може призвести до виходу з строю котла в цілому [5]. Рура А. С., Тарахтій О. С. обґрунтовують, що регулювання живлення котлів невеликої потужності здійснюється одноімпульсними регуляторами за сигналами датчиків рівня води в барабані. У котлах середньої та великої паропродуктивності з малим

водяним об’ємом застосовуються двоімпульсні регулятори живлення за рівнем води і витратою пари, а також триімпульсні, що регулюють живлення парового котла за сигналами по рівню води, витраті живильної води та витраті пари [6]. В. Я. Хоптій розглядає автоматизоване керування виробництвом пари, яке забезпечує підтримку витрати палива, температури, тиску пари, економію електрики [7]. Наступною пропозицією є система автоматичного керування подачею повітря в топку котла, шляхом виміру навантаження котла, витрати палива та повітря з керуючим впливом на приводи дуттьових вентиляторів та коригуючого впливу за співвідношенням паливо-повітря [8]. Ще одним відомим рішенням є спосіб автоматичного керування подачею повітря в топку котла, що забезпечує режим оптимального горіння [9]. Серед зарубіжних пропозицій найбільшого поширення набули багатофункціональні пристрої автоматичного контролю якості процесу горіння на базі датчиків O_2 , CO , CO_2 , H_2O , NO_x тощо [10–12], однак такі системи можуть бути використанні лише з котлами певного типу.

Усі розглянуті рішення мають спільний недолік, – низьку динамічну точність керування внаслідок неврахування істотного збурення – відбору (споживання) пари споживачами.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є підвищення інтелектуального рівня алгоритмів автоматичного керування виробленням пари у котлі ДКВр-10-13 шляхом розробки ефективної системи автоматичного керування підвищеної динамічної точності, інваріантної до контрольованого збурення.

Викладення основного матеріалу дослідження

На початку дослідження було проаналізовано процес виробництва пари як об’єкт керування, обґрунтовано доцільність модернізації системи автоматизації котла ДКВр-10-13 в котельнях переробних підприємств [13].

Виробляють пару котельні установки енергетичні, промислові та опалювальні.

Промислові котельні харчових підприємств комплектують барабанними котлами малої та середньої потужності.

Барабанний котел складається з топкового пристрою для спалювання палива з повітрям (топка), випарника, підігрівача живильної води (економайзер), пароперегрівача, повітропідігрівача, насоса подачі поживної води, дуттьового вентилятора подачі повітря, витяжного вентилятора димових газів (димосос), каркасу та обмурівки, трубопроводів води, пари, повітря, газу, арматури, гарнітури.

Для харчових підприємств сьогодні доцільним є застосування котлів типу ДКВр паропродуктивністю 0,7 кг/с (2,5 т/год), 1,11 кг/с (4 т/год), 1,81 кг/с (6,5 т/ч), 2,78 кг/с (10 т/год) і тиском насиченої пари 1,3 МПа (13 кг/см²) з газомазутними топками, двобарабанних, вертикально-водотрубних, призначених для вироблення як насиченої так і перегрітої пари для реалізації технологічних процесів підприємств, системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання тощо.

Розглянемо двобарабанний котел водотрубний реконструйований ДКВр-10-13, що забезпечує продуктивність вироблення пари 2,78 кг/с (10 т/год) тиском 1,3 МПа (13 кг/см²).

Проаналізуємо котел ДКВр-10-13 як об’єкт керування (ОК). Основними параметрами, що забезпечують тиск, температуру і витрату продукту – насиченої пари (її характеризують тиск P_n і витрата F_n), є рівень води L_v і тиск у верхньому барабані P_6 , що дорівнює P_n , розрідження у верхній частині топки – P_r , та співвідношення витрати палива F_r і витрати повітря, що нагнітається $F_{в3}$. Ці параметри можна віднести до регламентів – технологічного (P_n), експлуатаційного (L_v , P_r) та техніко-економічного (F_n , F_r). До техніко-економічного та екологічного регламенту віднесемо також витрати живильної води F_v , витрати F_d , температуру T_d , склад Q_d (концентрацію O_2 або CO_2 , шкідливості – CO , NO_x , SO_y) димових газів, витрату повітря, що нагнітається $F_{в3}$ (рис. 1).

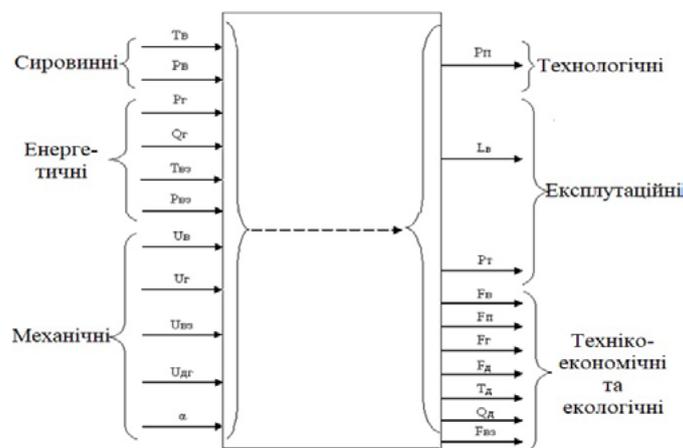


Рис. 1. Параметрична схема вироблення пари в котлі ДКВр-10-13

Ці показники залежать від вхідних та проміжних параметрів: температури T_v та тиску P_v живильної води, які віднесемо до сировинних параметрів; тиску P_n , температури T_g , теплоти згоряння палива – газу Q_g , температури $T_{вз}$ та тиску $P_{вз}$ повітря, що нагнітається вентилятором, тиску димових газів $P_{дг}$, які віднесемо до енергетичних параметрів; ступінь відкриття регулюючого органу (% х.р.о.) подачі живильної води u_v , газу – u_g , повітря – $u_{вз}$ у топку, відведення димових газів – $u_{дг}$, коефіцієнт теплообміну газів з поверхнею нагрівання котла α – до механічних.

Барабаний паровий котел як об’єкт автоматичного регулювання характеризується рядом властивостей, що ускладнюють його автоматизацію. Це, в першу чергу, велика кількість взаємопов’язаних вхідних та проміжних параметрів, по-друге, наявність глибоких збурень щодо витрати пари (до 30%), що відбирається технологічними споживачами, і, по-третє, це – високі вимоги, що висуваються до точності підтримки вхідних та проміжних параметрів, надійність роботи засобів автоматизації.

Для отримання економічного ефекту від модернізації системи автоматизації котла ДКВр-10-13 необхідно забезпечити виконання умов експлуатаційного та технологічного регламентів. Вироблення гріючої пари регламентується її тиском P_n і рівнем води L_v в барабані котла, віднесемо їх до регульованих координат. До регулюючих параметрів віднесемо положення регулюючих органів подачі газу на пальник u_g та подачі живильної води в барабан котла u_v . Решту вхідних параметрів віднесемо до збурень.

Процес регулювання будемо розглядати на часовому проміжку, порівняному з тривалістю зміни на підприємстві. За цей період основні параметри газу, повітря та живильної води змінюються незначно. Тому зміни цих параметрів врахуємо у складі векторів неконтрольованих збурень f_1 і f_2 . Оскільки котел працює в умовах змінного навантаження, для підвищення якості регулювання доцільно враховувати споживання пари, що характеризує навантаження котла. Тому витрати пари F_n доцільно віднести до контрольованих збурень. Побудовано координатну схему ОК (рис. 2).

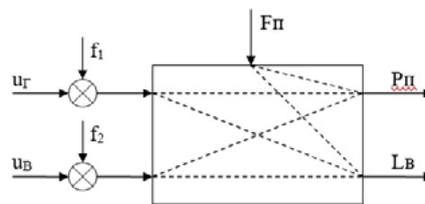
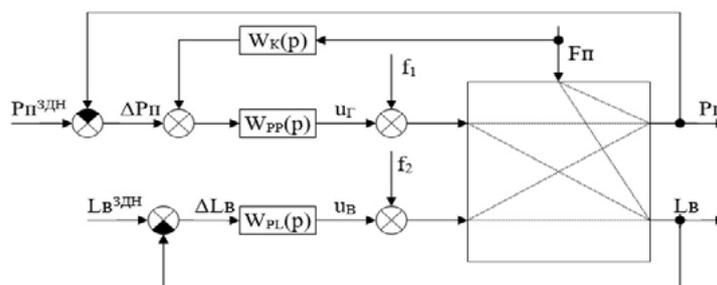


Рис. 2. Координатна схема об’єкта керування

Проведено активний і пасивний експеримент, розроблено комплекс математичних моделей технологічного процесу отримання гріючої пари в котлі ДКВр-10-13 як ОК за результатами параметричної ідентифікації, якій були піддані перехідні характеристики, отримані «експериментальним» шляхом. Далі моделі були реалізовані в середовищі Matlab та отримані їх перехідні характеристики. Одержані моделі є адекватними реальному об’єкту, і їх використано для аналізу та синтезу системи автоматичного керування аналізованим агрегатом. В основу побудови САК покладено принцип замкненого керування.

Як показали проведені дослідження, САР тиску пари в барабані котла в умовах дії збурень має недостатню динамічну точність, на яку впливає канал контрольованого збурення « $F_n - P_n$ ». Доцільним є підвищення динамічної точності САР шляхом компенсації дії контрольованого збурення на контур регулювання тиску пари за рахунок побудови САР, інваріантної до контрольованого збурення (рис. 3).



$P_n^{здн}$, $L_v^{здн}$ – задані значення тиску гріючої пари та рівня води в барабані котла; ΔP_n , ΔL_v – помилки регулювання тиску гріючої пари та рівня води в барабані; $W_K(p)$, $W_{PP}(p)$, $W_{PL}(p)$ – передаточні функції корегуючого зв’язку, регулятора тиску гріючої пари, регулятора рівня води в барабані котла відповідно

Рис. 3. Структурна схема САР підвищеної динамічної точності

В результаті підвищення динамічної точності САР за рахунок введення в регулятор тиску пари коригуючого зв'язку в умовах дії збурень якості перехідних процесів і за тиском пари, і за рівнем води в барабані покращилася як за критерієм, так і за прямими показниками якості (рис. 4, табл. 1).

Розроблено алгоритми логічного керування для підсистеми захисту котла від режимів роботи з несприятливими наслідками, для підсистем технологічного пуску та останову.

Обрано технічні засоби збирання інформації про хід технологічного процесу та впливу на нього, збирання інформації про стан обладнання та керування ним, розроблено технічну структуру системи керування котлом, а для цього попередньо визначено характеристики середовища, з яким взаємодіють засоби автоматизації та обслуговуючий персонал. Визначено задачі системи керування котельнею, вивчено розподілення функцій між рівнями керування.

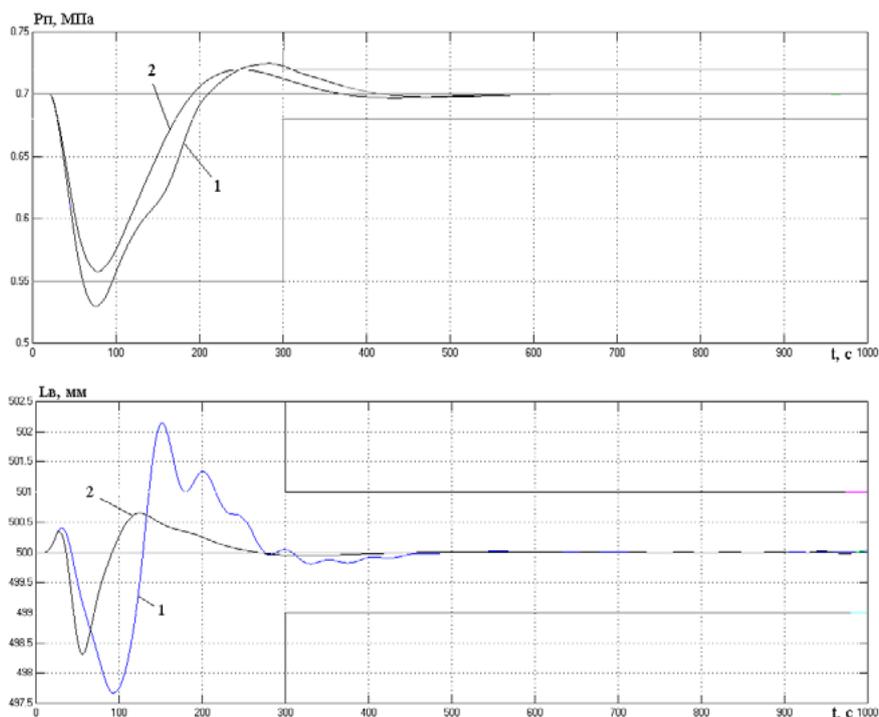


Рис. 4. Результати моделювання роботи САР базової структури (1) та підвищеної динамічної точності (ПДТ) (2) в умовах дії контрольованих та неконтрольованих збурень детермінованого характеру

Таблиця 1

Порівняльний аналіз САР базової структури та ПДТ

Вид САР	ΔP_n^{max} , МПа	ΔL_b^{max} , мм	$T_{пн1}$, с	$T_{пн2}$, с	Значення критерію
САР базової структури	0,17	2,33	310,3	215,9	635,3
САР підвищеної динамічної точності	0,14	1,69	170,9	69,8	225,5

Розглянуто альтернативні варіанти технічної структури на базі засобів збору даних Adam-5000/485 та плати ПЗО типу Adam-5050, Adam-5017, Adam-5024, WAGO I/O, Octagon System, які однаковою мірою забезпечують реалізацію алгоритмів керування. Порівняльний аналіз їх вартості за критерієм ціна-якість показує, що мінімальні витрати на комплектацію системи забезпечує використання як бази технічної структури ADAM серії 5000.

Розроблено графічний інтерфейс автоматизованого робочого місця оператора котельні (рис. 5) на базі SCADA-системи Genie, який дозволяє отримувати вичерпну кількісну інформацію про стан котла. Кольорова, текстова та анімаційна сигналізація дозволяє якісно оцінити хід процесу.

Розроблено програмне забезпечення для реалізації цифрових алгоритмів керування на функціонально- та вільно-програмованих контролерах ADAM фірми Advantech і робоча станція на базі IBM PC сумісного комп'ютера, на якому встановлена SCADA-система «Genie».

Розроблено комплект проектної документації на систему автоматизації.

Проект удосконалення САК виробленням пари в котлі ДКВр-10-13 є інвестиційно привабливим; розглянуто питання охорони праці та техніки безпеки.

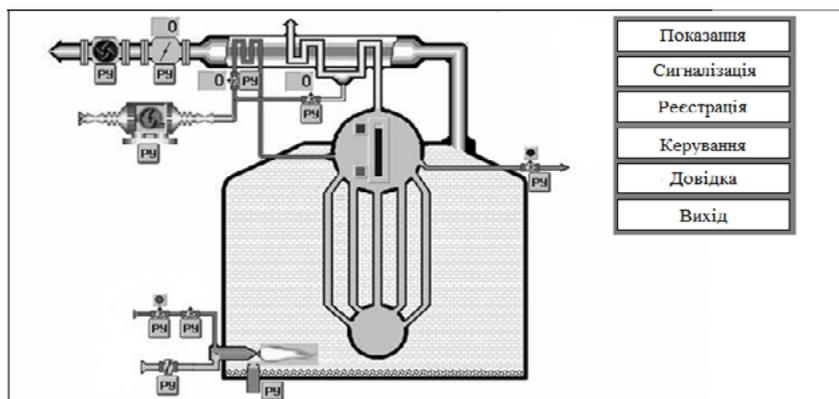


Рис. 5. Основне вікно стратегії

Висновки

Актуальним є вдосконалення САК виробленням пари в парових котлах.

Відомі системи автоматичного керування мають низьку динамічну точність внаслідок неврахування відбору пари споживачами.

Запропоновано ефективну систему автоматичного керування виробленням пари в котлі ДКВр-10-13 підвищеної динамічної точності, інваріантної до контрольованого збурення.

Розроблено комплекс математичних моделей процесу вироблення пари в котлі ДКВр-10-13, проведено їх параметричну та структурну ідентифікацію.

Розроблено графічний інтерфейс автоматизованого робочого місця оператора котельні.

Розроблено програмне забезпечення для реалізації цифрових алгоритмів керування на функціонально- та вільно-програмованих контролерах ADAM фірми Advantech і робоча станція на базі IBM PC сумісного комп'ютера.

Розроблено комплект проектної документації на систему автоматизації.

Проект удосконалення системи автоматичного керування виробленням пари в котлі ДКВр-10-13 є інвестиційної привабливим.

Список використаної літератури

1. Офіційний сайт СВ Альтера. URL: https://www.svaltera.ua/solutions/typical/water_supply/7705.php (дата звернення: 16.05.2024).
2. Офіційний сайт ПП ПромМонтажНаладка. URL: <https://promnaladka.com.ua/poslugi/36-avtomatizacija-parovih-kotelen-palivo-luz-ga-sojashnika.html> (дата звернення: 16.05.2024).
3. Патент UA № 36015. Спосіб автоматичного керування, контролю, захисту та сигналізації котлоагрегату / Р.К. Стасевич, О.В. Садовой, В.І. Романенко та ін. МПК F23N1/02; заявл. 12.05.2008 № 200806227. Опубл. 10.10.2008. Бюл.№ 19.
4. Барський В.А., Фрішман А.С., Лисенко А.Ю. Адаптивна система керування тягодуттьовими механізмами котельних агрегатів ЕКО-3 / *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*, 2012, № 3. С. 199-201.
5. Фам В.Д., Коновалов В.І. Дослідження варіантів побудови САР рівня в барабані парового котла / *Збірник праць XI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених*, 2013. С. 225-227.
6. Рура А.С., Тарахтій О.С. Аналіз існуючих схем регулювання рівня в барабані парового котла / *Молодий вчений*, 2019, № 11 (75). С. 163-166.
7. Хоптій В.Я. Автоматизація технологічних процесів котельних установок, як підсистеми об'єкту управління / *Техніка будівництва*, 2002, № 12. С. 81-84.
8. Офіційний сайт компанії Teplolider. URL: <https://teplolider.ua/uk/korysno-znaty/avtomatyka-v-tverdopalyvnomu-kotli-serii-kvt-lider.html> (дата звернення: 16.05.2024).
9. Патент UA № 46215 Спосіб та система (варіанти) автоматичного управління подаванням повітря в топку котла / І.В. Шаповал. МПК F23N3/00; заявл. 03.01.2001 № 2001010052; опубл. 15.05.02, Бюл. № 5/ 2002.
10. USA 5585547, IPC G01N 27/26. Oxygen sensor probe for boiler / Ki S. Kim, Han S. Song, Geun C. Yum, Daе J. Ko (Rep. of Korea) –No 369537; fil. 5.01.1995; publ. 17.12.1996. – 8 p.
11. USA 7756591B2, IPC G05B 13/02. System for optimizing oxygen in a boiler / J. Jia, S. Piche, H. Beaver (USA) – No 11/680084; fil. 25.04.2006; publ. 13.07.2010. 22 p.

12. USA 8230825B2, IPC F22B 37/42. Boiler control system / Warren G. Knorr, Jr (USA) – № 12/045,294; fil. 10.03.2008; publ. 31.07.2012. – 14 p.
13. Черняк О.І. Автоматизація котлоагрегату переробного підприємства (рукопис). Одеса: ОНАХТ, 2011. 180 с.

References

1. Ofitsiyni sait SV Altera. Retrieved from: https://www.svaltera.ua /solutions/typical/water_supply/7705.php (accessed May 2024).
2. Ofitsiyni sait PP PromMontazhNaladka. Retrieved from: (accessed May 2024).
3. Patent UA no 36015. Sposib avtomatychnoho keruvannia, kontroliu, zakhystu ta syhnalizatsii kotloahrehatu [A method of automatic management, control, protection and signaling of the boiler unit] / R.K. Stasevych, O.V. Sadovoi, V. I. Romanenko ta in. MPK F23N1/02; zaiavl. 12.05.2008 no 200806227. Opubl. 10.10.2008. Biul. no 19.
4. Barskyi V.A. (2012) Adaptyvna systema keruvannia tiahoduttovymy mekhanizmy kotelnykh ahrehativ EKO-3 [Adaptive control system of thrust mechanisms of EKO-3 boiler units] / V.A. Barskyi, A.Ie. Frishman, A.Iu. Lysenka / *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy*. no 3. 2012. pp. 199-201.
5. Fam V.D., Konovalov V.I. (2013) Doslidzhennia variantiv pobudovy SAR rivnia v barabani parovoho kotla [Study of options for construction of the SAR level in the drum of a steam boiler] / *Zbirnyk prats Khl mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh*. pp. 225-227.
6. Rura A.S., Tarakhtii O.S. (2019) Analiz isnuuichykh skhem rehuliuвання rivnia v barabani parovoho kotla [Analysis of existing schemes for regulating the level in the drum of a steam boiler] / *Molodyi vchenyi*. no 11 (75). pp. 163-166.
7. Khoptii V.Ia. (2002) Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh protsesiv kotelnykh ustanovok, yak pidsystemy ob'ektu upravlinnia [Automation of technological processes of boiler plants as a subsystem of the control object] / *Tekhnika budivnytstva*. no 12. pp. 81-84.
8. Ofitsiyni sait kompanii Teplolider. Retrieved from: <https://teplolider.ua/ uk/korysno-znaty/avtomatyka-v-tverdogalynnomu-kotli-serii-kvt-lider.html> (accessed May 2024).
9. Patent UA no 46215 Sposib ta systema (varianty) avtomatychnoho upravlinnia podavanniam povitria v topku kotla [Method and system (options) of automatic control of air supply to the boiler furnace] / I.V. Shapoval. MPK F23N3/00; zaiavl. 03.01.2001 no 2001010052; opubl.15.05.02, Biul. no 5. 2002.
10. USA 5585547, IPC G01N 27/26. Oxygen sensor probe for boiler / Ki S. Kim, Han S. Song, Geun C. Yum, Dae J. Ko (Rep. of Korea) – no 369537; fil. 5.01.1995; publ. 17.12.1996. 8 p.
11. USA 7756591B2, IPC G05B 13/02. System for optimizing oxygen in a boiler / J. Jia, S. Piche, H. Beaver (USA) – no 11/680084; fil. 25.04.2006; publ. 13.07.2010. 22 p.
12. USA8230825B2, IPC F22B 37/42. Boiler control system / Warren G. Knorr, Jr (USA) – no 12/045,294; fil. 10.03.2008; publ. 31.07.2012. 14 p.
13. Cherniak O.I. (2011) Avtomatyzatsiia kotloahrehatu pererobnoho pidpriemstva [Automation of the boiler unit of the processing enterprise] (rukopys). Odessa: ONAKhT. 180 p.

А. А. СИМОНОВА

кандидат технічних наук, доцент,
докторант кафедри машинобудування
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
ORCID: 0000-0003-1411-6656

В. Д. КУЛИНИЧ

кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри машинобудування
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
ORCID: 0000-0003-1702-2989

Р. Г. АРГАТ

кандидат технічних наук,
доцент кафедри машинобудування
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
ORCID: 0000-0001-9247-5297

В. В. ДРАГОБЕЦЬКИЙ

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри машинобудування
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
ORCID: 0000-0001-9637-3079

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ МАТЕРІАЛІВ, ЯКІ НЕ ПІДДАЮТЬСЯ ГАРТУВАННЮ

У сучасній науці та індустрії постійно зростає потреба у матеріалах з покращеними властивостями, зокрема міцності. Однак, багато високоефективних матеріалів, такі як певні види металів та сплавів, а також полімерів, не піддаються традиційному гартуванню, що обмежує їхнє застосування в областях, де високі механічні властивості є критично важливими. Це дослідження спрямоване на розробку нових методів зміцнення поверхневих шарів таких матеріалів. Очікується, що результати цього дослідження значно розширять можливість використання цих матеріалів, особливо в таких сферах, як аерокосмічна промисловість та медицина, забезпечуючи більшу довговічність та надійність виробів. У даній науковій статті досліджено вплив деформуючого різання на мікротвердість та деформаційне зміцнення поверхневого шару титанових сплавів ВТ8 та ВТ1-0. Метою дослідження було визначення ефективності деформуючого різання як методу зміцнення поверхневого шару титанових сплавів з різною теплопровідністю. Новизною є вивчення впливу деформуючого різання на мікротвердість та деформаційне зміцнення цих сплавів, порівняння ефективності для сплавів з різною теплопровідністю, а також встановлення обмежень та напрямків для подальших досліджень. Результати показали, що деформуюче різання призводить до збільшення мікротвердості на 10–15% для ВТ8 та на 40% для ВТ1-0, що пояснюється різницею у теплопровідності сплавів. Для сплавів з низькою теплопровідністю, таких як ВТ8, потрібні додаткові джерела деформації або температурний вплив для досягнення більшого ступеня зміцнення. Практичне значення полягає у використанні результатів дослідження для розробки нових технологій зміцнення поверхневого шару титанових сплавів з різними властивостями. Завдяки цьому підходу, можливості зміцнення матеріалів значно розширюються, відкриваючи шлях для створення нових генерацій міцних та легких конструкцій. Впровадження цих інноваційних методів може сприяти революції у виробництві, зменшуючи виробничі витрати та покращуючи екологічність процесів.

Ключові слова: деформуюче різання, титанові сплави, мікротвердість, деформаційне зміцнення, теплопровідність.

A. A. SYMONOVA

PhD, Associate Professor,
Doctoral Student at the Mechanical Engineering Department
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ORCID: 0000-0003-1411-6656

V. D. KULYNYCH

PhD, Senior Lecturer at the Mechanical Engineering Department
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ORCID: 0000-0003-1702-2989

R. H. ARGAT

PhD, Associate Professor at the Mechanical Engineering Department
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ORCID: 0000-0001-9247-5297

V. V. DRAHOBETSKYI

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Mechanical Engineering Department
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
ORCID: 0000-0001-9637-3079

RESEARCH OF WAYS TO INCREASE THE STRENGTH OF THE SURFACE LAYER OF NOT HARDENABLE MATERIALS

In modern science and industry, there is a growing need for materials with enhanced properties, particularly strength. However, many high-performance materials, such as certain types of metals, alloys, and polymers, do not undergo traditional hardening, which limits their application in areas where high mechanical properties are critically important. This research is focused on developing new methods for strengthening the surface layers of such materials. We expect that the results of this study will significantly expand the possibilities for using these materials, especially in fields such as aerospace and medicine, ensuring greater durability and reliability of products. This scientific article explores the influence of deformation cutting on the microhardness and deformation strengthening of the surface layer of titanium alloys VT8 and VT1-0. The research aimed to determine the effectiveness of deformation cutting as a method for strengthening the surface layer of titanium alloys with different thermal conductivity. The novelty lies in studying the impact of deformation cutting on the microhardness and deformation strengthening of these alloys, comparing the effectiveness for alloys with different thermal conductivity, as well as establishing limitations and directions for further research. The results showed that deformation cutting leads to an increase in microhardness by 10–15% for VT8 and by 40% for VT1-0, explained by the difference in thermal conductivity of the alloys. For alloys with low thermal conductivity, such as VT8, additional sources of deformation or temperature influence are necessary to achieve greater strengthening. The practical significance lies in utilizing the research results to develop new technologies for strengthening the surface layer of titanium alloys with different properties. Thanks to this approach, the possibilities for strengthening materials will significantly expand, paving the way for the creation of new generations of strong and lightweight structures. Implementing these innovative methods may contribute to a revolution in manufacturing, reducing production costs and improving the environmental sustainability of processes.

Key words: deformation cutting, titanium alloys, microhardness, deformation strengthening, thermal conductivity.

Постановка проблеми

У сучасній промисловості велике значення має підвищення міцності поверхневого шару матеріалів, особливо тих, які не піддаються гартуванню. Це пов'язано з необхідністю забезпечення довговічності та надійності деталей машин, які працюють у складних умовах, таких як високі навантаження, абразивний знос, корозія та інші агресивні впливи.

Матеріали, які не піддаються гартуванню, можна класифікувати за різними критеріями, зокрема за хімічним складом, мікроструктурою, та за способами їх зміцнення. До таких матеріалів належать деякі види сталей (наприклад, аустенітні нержавіючі сталі), багато неферитних металів (мідь, алюміній, титан та їх сплави) та полімери. Аустенітні нержавіючі сталі не піддаються гартуванню через високий вміст нікелю, який стабілізує аустенітну фазу. Ці сталі використовуються для виготовлення харчового обладнання, хімічних реакторів, медичних інструментів, де важлива корозійна стійкість [1]. Крім того, алюмінієві сплави використовуються у авіаційній промисловості, автомобілебудуванні, велосипедному виробництві, а титанові сплави використовуються у виробництві імплантатів, літакових двигунів та космічної техніки [2].

Розглянемо способи підвищення міцності таких матеріалів [3]:

Хіміко-термічна обробка, яка полягає у насиченні поверхневого шару матеріалу хімічними елементами, такими як азот (нітрування), вуглець (цементация) або бор (борування), з подальшим охолодженням, що призводить до зміни структури та підвищення міцності поверхні.

Альтернативні термічні методи, такі як відпал, який зменшує внутрішні напруження, зерногранічне зміцнення або старіння, що призводить до випреципітації твердих фаз і зміцнення матеріалу.

Поверхнєве зміцнення, яке змінює лише поверхневий шар матеріалу, не впливаючи на його основні властивості. Це може бути лазерне або електронно-променеве зміцнення, анодування для алюмінієвих сплавів, хімічне або фізичне осадження з парової фази.

Методи, які змінюють мікроструктуру матеріалу через пластичну деформацію. Це може бути холодна обробка тиском, така як волочіння, прокатка або кування. При цьому відбувається накопичення дислокацій, що призводить до зміцнення матеріалу.

Проте суттєвими недоліками наведених методів є високі енерговитрати, значна тривалість процесу, складність обладнання та обмеження за товщиною зміцненого поверхневого шару. З цієї точки зору значну увагу викликають нові технологічні методи, які дозволяють отримати зміцнений поверхневий шар великої товщини з рівномірним розподілом властивостей, при цьому використовуючи універсальне обладнання з мінімальними витратами часу та енергії. Одним з таких методів є деформуюче різання, який може створювати регулярний зміцнений макрорельєф на зовнішній поверхні циліндричних заготовок для підвищення їхньої зносостійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Процес деформуючого різання реалізується за звичайними схемами точіння або стругання. Інструмент для цього процесу має спеціальну геометрію ріжучої частини. Отриманий регулярний макрорельєф представляє собою стружку, що залишилася з'єднаною з основним матеріалом заготовки. В зоні головної та допоміжної ріжучих кромки шар металу піддається пластичній деформації, що призводить до його зміцнення. Це призводить до утворення регулярного зміцненого поверхневого шару на зовнішній поверхні заготовки. Зміцнення поверхневого шару під час пластичної деформації відбувається за рахунок збільшення густини дислокацій у деформованому матеріалі. Також важливим є ефект розігріву шару оброблюваного матеріалу. При високій швидкості обробки матеріалів, що піддаються гартуванню, можуть досягатися температури, необхідні для структурно-фазового переходу, що призводить до формування загартованого зміцненого шару [4–5].

Розроблені донедавна методи деформаційного різання мають обмеження щодо формування мікрорельєфа на сталях, оскільки коефіцієнт відносного подовження для сталей повинен бути не менше 15–18% і твердість не більше 240НВ [6]. Більше того у аустенітних сталях з підвищенням температури зменшується коефіцієнт відносного подовження, що буде мати значний вплив на обмеження в умовах обробки при деформаційному різанні, зокрема на основні параметри процесу різання, такі як швидкість різання, подача та глибина різання [7]. Щодо інших груп матеріалів, які не піддаються гартуванню не достатньо досліджень для ґрунтовного розуміння механізму зміцнення поверхневого шару, його обмежень та визначення раціональних умов обробки та геометрії різально-деформуючого інструменту. На онові аналізу літературних джерел виявлено, що розширення способів зміцнення матеріалів, які не піддаються гартуванню є важливою науковою задачею.

Формулювання мети дослідження

На онові аналізу літературних джерел виявлено, що розширення способів зміцнення матеріалів, які не піддаються гартуванню є важливою науковою задачею. Метою дослідження є визначення ефективності деформуючого різання як методу зміцнення поверхневого шару титанових сплавів ВТ8 та ВТ1-0 з різною теплопровідністю.

Викладення основного матеріалу дослідження

Об'єктом дослідження обрано титановий сплав ВТ8 з хімічним складом, % (мас.): до 0,3Fe, до 0,1C, (0,2–0,4)Si, (2,8–3,8)Mo, до 0,05N, (5,8–7)Al, до 0,5Zr, до 0,15O, до 0,015H, основа – Ti та ВТ1-0 з хімічним складом, % (мас.): 0,25Fe, до 0,07C, до 0,1Si, до 0,04N, до 0,2O, до 0,001H, основа – Ti (99,24–99,7) [8]. Сплав ВТ8 відноситься до групи титанових сплавів зі структурою ($\alpha+\beta$), що деформуються і має високу межу міцності та достатню межу пластичності. ВТ1-0 класифікується як α -титан та має високу міцність при достатній пластичності та в'язкості, що підходить для обробки різанням.

Деформуюче різання проводилося на верстаті 16К20 на циліндричних зразках діаметром 50 мм твердосплавним різцем зі сплаву ВК8. Для деформаційної обробки використовувалися різні режими різання: $v = 30\text{--}100$ м/хв, $s = 0,05\div 0,2$ мм/об. Використовувалася постійна глибина різання $t = 0,5$ мм. Процес здійснюється без охолодження. Мікротвердість вимірювалася на мікротвердомір ПМТ-3М при навантаженні на індентор 25 г.

Показник деформаційного зміцнення поверхневого шару визначався за наступною залежністю [9]:

$$\delta_{\text{ц}} = (H_{\text{обр}} - H_{\text{вих}}) / H_{\text{вих}} \quad (1)$$

де $H_{\text{обр}}$ і $H_{\text{вих}}$ – відповідно твердість (мікротвердість) металу після і до обробки.

Для визначення середньої температури (температури різання) контактними поверхнями інструменту використовували метод природної термопари. Вимірювання термоЕДС проводилося 10÷15 с з початку різання. Для реєстрації значення термоЕДС застосовували струмознімач та цифровий мультиметр з точністю вимірювання до 0,1 мВ [10].

Експериментальні дослідження показали, що мікротвердість вихідного зразка становить HV360±20 для BT8 та HV180±20 для BT1-0. Залежність величини мікротвердості від режимів деформаційного різання наведена на рисунку 1.

Вимірювання після деформаційного різання показали незначне збільшення мікротвердості для BT8 на 10–15%, що становило HV390–400. Розрахунки показали, що показник деформаційного зміцнення не перевищує 0,15, що є низьким у порівнянні з BT1-0 мікротвердість якої збільшилась з HV180 у вихідної заготовки до HV250 після деформуємого різання, а показник деформаційного зміцнення не перевищує 0,4. Таку розбіжність можна пояснити суттєвою різницею (майже в 2 рази) у теплопровідності: $\lambda = 21,9$ Вт/(м·К) для BT1-0 та $\lambda = 10,4$ Вт/(м·К) для BT8 [8].

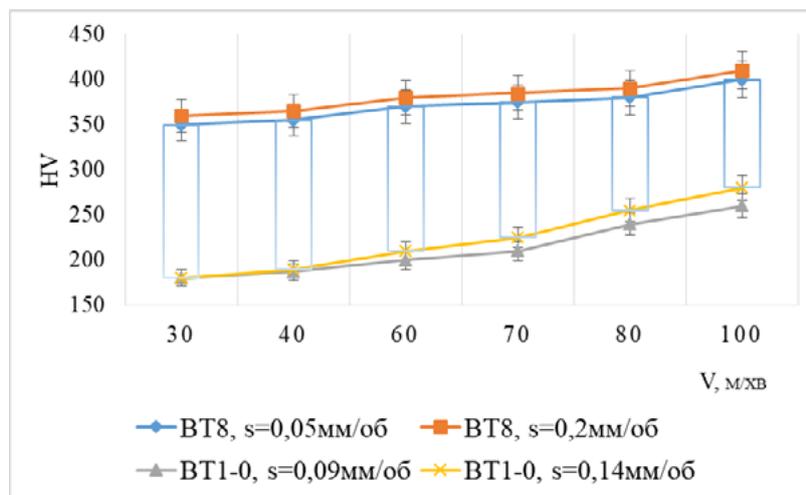


Рис. 1. Залежність мікротвердості від режимів деформаційного різання

В той же час в роботі [11], було проведено дослідження впливу деформаційного різання на зміцнення Сталі 40X ($\lambda = 46,3$ Вт/(м·К)), мікротвердість якої збільшилась з HV250 у вихідної заготовки до HV560 після деформуємого різання. Це можна пояснити тим, що під час обробки в зоні різання виникає значне тепловиділення, однак низька теплопровідність титанових сплавів призводить до того, що тепло, що виділяється в зоні різання, не може швидко відводитися від зони деформації в тіло заготовки, тим самим сповільнюючи процеси зменшення щільності дислокацій та фазового перетворення, що і призводить до менших значень мікротвердості.

Крім того, процес деформаційного різання для сталей проводиться на високошвидкісних режимах, в діапазоні 1–3 м/с [12]. Проте існують певні обмеження параметрів обробки титанових сплавів, які гуртуються на їх властивостях. Високошвидкісне різання може призвести до значного перегрівання матеріалу, і, як наслідок, зменшення міцності та твердості, утворення тріщин та погіршення якості поверхні.

При цьому температура різання залежить від потужності теплових джерел у зоні деформації та на передній поверхні інструменту, інтенсивності стоку тепла в деталь та інструмент. При різанні температура зростає зі збільшенням швидкості різання і розмірів шару, що зрізається. Однак їх вплив на температуру різання неоднаковий [13]. Зі зростанням швидкості різання середня температура контакту монотонно підвищується, асимптотично наближаючись до значення приблизно рівного температурі плавлення оброблюваного матеріалу.

Дослідження вимірювання температури в зоні різання наведено на рисунку 2.

Результати показали, що температура в зоні різання при обробці титанового сплаву BT8 вище ніж при обробці BT1-0, але не досягає температури фазових перетворень.

Основним недоліком експериментальних методів визначення температури в зоні різання є неможливість з їх допомогою отримати достовірні температурні поля окремо в стружці, деталі та ріжучому клині інструменту. В роботі [14] наведено розрахунки температурних полів для заготовки, яка оброблюється різанням; показано, що у зв'язку із низькою теплопровідністю більшість тепла згенерованого у процесі різання відводиться у стружку та різальний інструмент. Виходячи з цього для досягнення зміцнення поверхневого шару в заготовках з титану та титанових сплавів необхідні додаткові джерела деформації або температурного впливу. Подальшим кроком в дослідженні буде визначення комбінованих способів зміцнення.

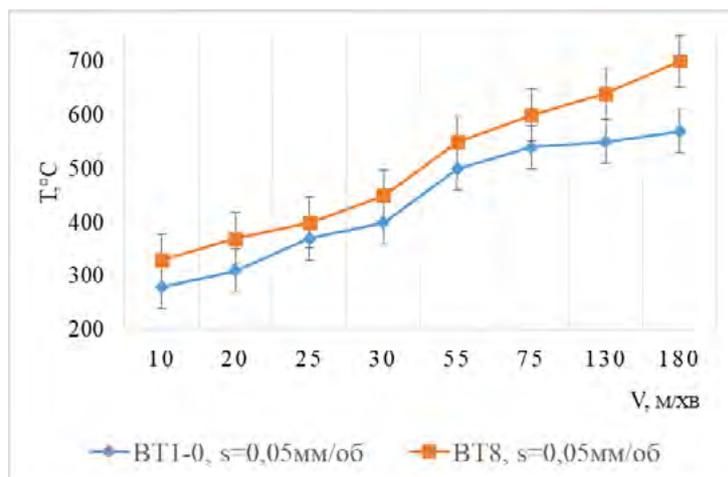


Рис. 2. Залежність температури в зоні різання від режимів деформаційного різання

Висновки

Дослідження підтвердило, що деформуюче різання впливає на зміцнення поверхневого шару титанових сплавів VT8 та VT1-0. Мікротвердість обох сплавів після такої обробки виявила приріст: на 10–15% для VT8 і на 40% для VT1-0.

Виявлено, що ефективність деформуючого різання визначається теплопровідністю сплаву. Низька теплопровідність, характерна для VT8, обмежує можливості зміцнення цим методом.

Для сплавів з низькою теплопровідністю, таких як VT8, рекомендується використання комбінації деформуючого різання з іншими методами зміцнення, щоб досягти більш виразного збільшення мікротвердості та деформаційного зміцнення.

Напрямки подальших досліджень будуть охоплювати розробку комбінованих методів зміцнення титанових сплавів та вивчення впливу деформуючого різання на інші їх властивості, такі як зносостійкість та корозійна стійкість. Очікується, що ці результати сприятимуть розвитку нових технологій зміцнення титанових сплавів, знайдуть застосування в різних галузях промисловості.

Список використаної літератури

- Liu S., Wan X., Hu C., Zhang Y., Ke R., Hu J., Deng X., Li G., Wu K. Probing the impact of grain size distribution on the deformation behavior in fine-grained austenitic stainless steel: A critical analysis of unimodal structure versus bimodal structure. *Materials Science and Engineering: A*. Vol. 897. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2024.146343>.
- Symonova A., Filippi E., Kmec J., Majerník J., Karková M. The mechanics of machining ultrafine-grained Ti-6Al-4Mo alloy processed severe plastic deformation. *Manufacturing technology*. 17(4). 2017. 592-597.
- Rajan T.V., Sharma C.P., Sharma A. Heat treatment principles and techniques. – Delhi, India: PHI Learning, 2011. 408 p.
- González G., Sauer F., Plogmeyer M., Gerstenmeyer M., Bräuer G., Schulze V. Effect of thermomechanical loads and nanocrystalline layer formation on induced surface hardening during orthogonal cutting of AISI 4140. *Procedia CIRP*. 2022. V. 108, pp 228-233. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.03.040>.
- Davis J.R. Surface hardening of steels understanding the basics. Materials Park, OH, USA: ASM International. 2002. 319 p.
- Guo Y.B., Janowski G.M. Microstructural characterization of white layers by hard turning and grinding. *Transactions of NAMRI/SME*. Vol. 32. 2004. 367–374.
- Cao S.C., Zhang X., Lu J. et al. Predicting surface deformation during mechanical attrition of metallic alloys. *Comput Mater*. 2019. V. 5 (36). <https://doi.org/10.1038/s41524-019-0171-6>
- Astarita A., Prisco U. Tensile properties of a hot stretch formed Ti-6Al-4V alloy component for aerospace applications. *Manufacturing Technology*. 2017. 17(2), 141-147.
- Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів. Дніпро: НМетАУ. 2021. 89 с.
- Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів. Львів : Новий світ-2000. 2011. 422 с.
- Huseynov H. New Trends in Mechanical Engineering Technology. *Advances in Science and Technology*. 2024. <https://doi.org/10.4028/p-xvvnq0>

12. Kundrak J., Mamalis A.G., Gyani K., Bana V. Surface layer microhardness changes with high-speed turning of hardened steels. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 53 (1). 2011. 105–112.

13. Kónya G., Takács J., Miskolczi I., Kovács Z. Investigation of the effects of machining parameters on cutting conditions during orthogonal turning of austenite stainless steel. *Production Engineering Archives*. 30(1). 2024. 86-93. <https://doi.org/10.30657/pea.2024.30.8>

14. Patne H.P., Kumar A., Karagadde S., Joshi S.S. Modeling of temperature distribution in drilling of titanium. *International Journal of Mechanical Sciences*. Vol. 133. 2017. 598-610. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.09.024>.

References

1. Liu S., Wan X., Hu C., Zhang Y., Ke R., Hu J., Deng X., Li G., Wu K. (2024). Probing the impact of grain size distribution on the deformation behavior in fine-grained austenitic stainless steel: A critical analysis of unimodal structure versus bimodal structure. *Materials Science and Engineering: A*. Vol. 897. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2024.146343>.

2. Symonova A., Filippi E., Kmec J., Majerník J., Karková M. (2017). The mechanics of machining ultrafine-grained Ti-6Al-4Mo alloy processed severe plastic deformation. *Manufacturing technology*. 17(4). 592-597.

3. Rajan T.V., Sharma C.P., Sharma A. (2011). Heat treatment principles and techniques. – Delhi, India: PHI Learning. 408 p.

4. González G., Sauer F., Plogmeyer M., Gerstenmeyer M., Bräuer G., Schulze V. (2022). Effect of thermomechanical loads and nanocrystalline layer formation on induced surface hardening during orthogonal cutting of AISI 4140. *Procedia CIRP*. V. 108, pp 228-233. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.03.040>.

5. Davis J.R. (2002). Surface hardening of steels understanding the basics. Materials Park, OH, USA: ASM International. 319 p.

6. Guo Y.B., Janowski G.M. (2004). Microstructural characterization of white layers by hard turning and grinding. *Transactions of NAMRI/SME*. Vol. 32. 367–374.

7. Cao S.C., Zhang X., Lu J. et al. (2019). Predicting surface deformation during mechanical attrition of metallic alloys. *Comput Mater*. V. 5 (36). <https://doi.org/10.1038/s41524-019-0171-6>

8. Astarita A., Prisco U. (2017). Tensile properties of a hot stretch formed Ti-6Al-4V alloy component for aerospace applications. *Manufacturing Technology*. 17(2), 141-147.

9. Pogrebna N.E., Kucova V.Z., Kotova T.V. (2021). Sposoby zmicnenia metaliv [Methods of strengthening metals]. Dnipro: NMetAU. 2021. 89 p. [in Ukrainian].

10. Mazur M.P. (2011) Osnovy teorii rizannia materialiv [Fundamentals of the theory of cutting materials]. Lviv: Noviy svit-2000. [in Ukrainian].

11. Huseynov H. (2024). New Trends in Mechanical Engineering Technology. *Advances in Science and Technology*. <https://doi.org/10.4028/p-xvvnq0>

12. Kundrak J., Mamalis A.G., Gyani K., Bana V. (2011). Surface layer microhardness changes with high-speed turning of hardened steels. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 53 (1). 105–112.

13. Kónya G., Takács J., Miskolczi I., Kovács Z. (2024). Investigation of the effects of machining parameters on cutting conditions during orthogonal turning of austenite stainless steel. *Production Engineering Archives*. 30(1). 86-93. <https://doi.org/10.30657/pea.2024.30.8>

14. Patne H.P., Kumar A., Karagadde S., Joshi S.S. (2017). Modeling of temperature distribution in drilling of titanium. *International Journal of Mechanical Sciences*. Vol. 133. 598-610. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.09.024>.

О. В. СТЕПАНОВ

доктор технічних наук,
професор кафедри тракторів та автомобілів
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0003-4954-2532

І. Ю. КОБЗАР

асистент кафедри машинобудування
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ORCID: 0009-0004-1778-9463

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВИЙ МЕХАНІЗМ РЕГУЛЮВАННЯ БЕЗПЕКИ АВТОТРАНСПОРТУ В ТРАНСПОРТНОМУ ПРОЦЕСІ

У статті аналізується організаційно-правовий механізм регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі України. Акцентується увага на недостатності інституцій, які зацікавлені в розв'язанні проблем правового забезпечення безпеки автотранспорту та дорожнього руху. Зазначено, що недосконалість планувально-стратегічних заходів із подолання дорожніх транспортних пригод також накладає негативний вплив на стан безпеки автотранспорту в транспортному процесі. Тобто необхідність розгляду формування системи автотранспортного законодавства з урахуванням сучасного організаційно-правового аспекту зумовлюють цільову спрямованість дослідження механізму регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі.

Авторами обґрунтовується ідея про потребу вироблення сучасної Концепції безпеки автотранспорту та Державної цільової програми підвищення безпеки дорожнього руху в Україні на довгостроковий період. Метою Концепції має бути визначення принципів, положень та основних напрямів максимального усунення негативних чинників. Зокрема, зменшення кількості фатальних випадків унаслідок дорожніх транспортних пригод, створення перспективної системи реалізації основних завдань діяльності органів влади в галузі безпеки дорожнього руху.

Зроблено висновок, що необхідно звертати особливу увагу на функції державного контролю у сфері транспорту, тобто: зовнішній прояв властивостей об'єкта контролю; суспільні відносини у транспортній сфері; самостійний характер, що об'єктивно необхідне для здійснення процесу контролю; певні методи реалізації та контролю транспортної сфери. При цьому актуальним питанням є опрацювання нової редакції організаційно-правових документів регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі з урахуванням здобутків сучасної наукової думки.

Ключові слова: організаційно-правовий механізм, концепція безпеки автотранспорту, дорожній рух, транспортний процес, автотранспортне законодавство.

O. V. STEPANOV

Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Tractors and Cars
National University of Bioresources
and Environmental Management of Ukraine
ORCID: 0000-0003-4954-2532

I. Y. KOBZAR

Assistant at the Mechanical Engineering Department
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture
ORCID: 0009-0004-1778-9463

ORGANIZATIONAL AND LEGAL MECHANISM FOR REGULATING THE SAFETY OF MOTOR VEHICLES IN THE TRANSPORTATION PROCESS

The article analyses the organizational and legal mechanism for regulating the safety of motor vehicles in the transportation process of Ukraine. Attention is focused on the lack of institutions interested in solving the problems of legal support for vehicle and road safety. It is noted that the imperfection of planning and strategic measures to overcome road accidents also has a negative impact on the state of vehicle safety in the transportation process. That is, the need to consider the formation of a system of motor vehicle legislation with due regard for the modern organizational and legal aspect determines the target orientation of the study of the mechanism for regulating the safety of motor vehicles in the transport process.

The author substantiates the idea of the need to develop a modern concept of motor vehicle safety and the state target program for improving road safety in Ukraine for the long term. The purpose of the Concept should be to define the principles, provisions and main directions for maximizing the elimination of negative factors. In particular, to reduce the number of fatalities as a result of road accidents, to create a promising system for implementing the main tasks of the authorities in the field of road safety.

The author concludes that it is necessary to pay special attention to the functions of state control in the field of transport, i.e.: external manifestation of the properties of the object of control; social relations in the transport sector; independent nature, which is objectively necessary for the control process; certain methods of implementation and control of the transport sector. At the same time, it is important to develop a new version of the organizational and legal documents regulating the safety of motor vehicles in the transportation process, taking into account the achievements of modern scientific thought.

Key words: organizational and legal mechanism, concept of motor vehicle safety, road traffic, transportation process, motor vehicle legislation.

Постановка проблеми

Автотранспорт, як складова і важлива частина інфраструктури України, дозволяє здійснювати доставлення експортно-імпортних вантажів різного призначення в інтересах розвитку міжнародного культурного і технічного співробітництва, інтеграції України у світову економіку. При цьому безпека автотранспорту базується на економічних, організаційних, соціальних і правових засадах, що визначені законами, кодексами, статутами та іншими державними й міжнародними нормативними актами. Саме за таких умов надзвичайно важливим є розгляд організаційно-правового механізму регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні можна відзначити помітну активізацію нормотворчої діяльності в транспортній сфері. Варто згадати Закони України: «Про автомобільний транспорт» [3], «Про транспорт» [1], «Про дорожній рух» [2], «Про автомобільні дороги» [4]; «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення регулювання відносин у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху» [5]; «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо дорожньо-транспортних пригод та виплати страхового відшкодування» [6]; «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо усунення надмірного державного регулювання у сфері автомобільних перевезень» [7] тощо. Численні Укази Президента України щодо забезпечення БДР в Україні та постанови Кабінету Міністрів України, якими постійно вносяться зміни до Правил дорожнього руху [9].

Відповідно до цього питання регулювання безпеки автотранспорту з урахуванням правового механізму розглядали в різнопланових працях В. Б. Авер'янов, Ю. П. Битяк, В. М. Бесчастний, Т. О. Гуржій, С. М. Гусаров, М. М. Долгополова, Л. В. Коваль, Т. О. Коломоєць, В. К. Колпаков, О. В. Кузьменко, С. В. Лихачов, О. В. Луканін, О. І. Остапенко, В. Г. Поліщук, О. П. Рябченко, О. Ю. Салманова, М. М. Тищенко й ін. Слід зазначити, що дослідження багатьох авторів, як правило, торкалися аспектів проблеми правового регулювання сфери транспорту, але не розглядали її комплексно [17]. На підставі публікацій фахівців складається враження, що сфера безпеки автотранспорту законодавством детально регламентована. На нашу думку, це не відповідає дійсності. Системні недоліки характерні не тільки для автотранспорту, але й для всіх рівнів нормативно-правового забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР).

Сформувався великий масив розрізнених підзаконних актів БДР. Але виникають труднощі в отриманні інформації про такі акти. Крім того, недосконалість планувально-стратегічних заходів із подолання дорожніх транспортних пригод (ДТП) накладає негативний вплив на стан безпеки автотранспорту в транспортному процесі.

Слід зауважити, що більшість прогнозів, що закладені в зміст програмних та інших нормативно-правових документів із питань дорожньо-транспортної безпеки, мають безальтернативний характер [10–13]. Тобто необхідність розгляду формування системи автотранспортного законодавства з урахуванням сучасного організаційно-правового аспекту зумовлюють цільову спрямованість дослідження безпеки автотранспорту в транспортному процесі.

Формулювання мети дослідження

Розглянути організаційно-правовий механізм регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі як інтегральну складову національної безпеки України.

Викладення основного матеріалу дослідження

Варто згадати деякі Закони України, що стосуються автотранспорту та дорожнього руху.

Закон України «Про транспорт» визначає, що «До складу автомобільного транспорту входять підприємства автомобільного транспорту, що здійснюють перевезення пасажирів, вантажів, багажу, пошти, авторемонтні і шиноремонтні підприємства, рухомий склад автомобільного транспорту, транспортно-експедиційні підприємства, а також автовокзали і автостанції, навчальні заклади, ремонтно-будівельні організації та соціально-побутові заклади, інші підприємства, установи та організації незалежно від форм власності, що забезпечують роботу автомобільного транспорту...» [1, ст. 30].

Закон України «Про дорожній рух» дає пояснення до деяких понять, тобто: «До участі у дорожньому русі допускаються транспортні засоби, конструкція і технічний стан яких відповідають вимогам діючих в Україні правил, нормативів і стандартів, що мають сертифікат на відповідність цим вимогам, укомплектовані у встановленому порядку, а у разі, якщо транспортний засіб згідно з цим Законом підлягає обов'язковому технічному контролю, пройшов такий контроль» [2, ст. 29]. Згідно ст. 33 Закону: «Технічний стан транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, у частині, що стосується безпеки дорожнього руху та охорони навколишнього середовища, має відповідати правилам, нормативам і стандартам, затвердженим у встановленому порядку. Обов'язок щодо забезпечення належного технічного стану транспортних засобів покладається на їх власників або інших осіб, які їх експлуатують, згідно з чинним законодавством» [2, ст. 33].

Закон України «Про автомобільний транспорт» [3] визначає засади організації та діяльності автомобільного транспорту.

З урахуванням наведеного, всупереч критичному загостренню проблеми аварійності та зростання кількості ДТП із тяжкими наслідками, відзначимо, що в Україні багато питань до державних програм безпеки дорожнього руху (БДР). На жаль, ні Концепції Державної цільової програми підвищення рівня БДР [10, 12], ні Стратегії підвищення БДР в Україні [21] також не передбачали програмного комплексу заходів забезпечення БДР в Україні.

Усе це свідчить про потребу вироблення сучасної Концепції безпеки автотранспорту та Державної цільової програми підвищення БДР в Україні на довгостроковий період. Метою Концепції має бути визначення принципів, положень та основних напрямів максимального усунення негативних чинників, зменшення кількості фатальних випадків унаслідок ДТП, створення перспективної системи реалізації основних завдань діяльності органів влади в галузі БДР.

Відомо, що державна політика в галузі БДР реалізується через законодавство України [2, 5, 8]. Але не менш важливу роль відіграють і суб'єкти забезпечення БДР, від злагоджених дій яких залежать стан аварійності, рівень транспортного обслуговування населення, якість надання автотранспортних послуг тощо. Тобто актуалізується потреба модернізації системи управління БДР. Зокрема, існування значної кількості різноманітних суб'єктів забезпечення БДР. При цьому досягнення необхідного результату залежить насамперед від ефективності впливу уповноваженого на це державного органу контролю.

Забезпечення БДР не можна досягти лише в рамках основної діяльності центральних органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування. Оптимальним вбачається створення єдиного планово-регулювального, науково-методичного, координаційного та контрольного центру (надалі – Центр). Центр повинен бути наділений достатніми повноваженнями щодо організації взаємодії всіх органів державної влади України в цій сфері.

Створення Центру дало б змогу, по-перше, сконцентрувати весь комплекс управлінських функцій із забезпечення БДР в одному органі та здійснювати централізоване керівництво. По-друге, правильніше розв'язувати питання раціональної організації контрольно-наглядової діяльності в досліджуваній сфері. По-третє, виключити дублювання функцій у діяльності згаданих суб'єктів, сприяти подальшому удосконаленню керівництва й координації діяльності всіх державних органів, розподілу фінансових і матеріально-технічних засобів, що витрачаються на проведення масштабних заходів із забезпечення БДР.

На тлі нинішнього реформування органів публічної адміністрації найбільший інтерес, як суб'єкт забезпечення безпеки автотранспорту та БДР, становить Національна поліція України (2015) [8]. Національна поліція «у своїй діяльності керується Конституцією України, міжнародними договорами України, згода на обов'язковість яких надана Верховною Радою України, цим та іншими законами України, актами Президента України та постановами Верховної Ради України, прийнятими відповідно до Конституції та законів України, актами Кабінету Міністрів України, а також виданими відповідно до них актами Міністерства внутрішніх справ України, іншими нормативно-правовими актами...» [8, ст. 3].

Щодо законної дії поліції: «Поліція діє виключно на підставі, у межах повноважень та у спосіб, що визначені Конституцією та законами України... Під час дії воєнного стану поліція діє згідно із призначенням та специфікою діяльності з урахуванням тих обмежень прав і свобод громадян, а також прав і законних інтересів юридичних осіб, що визначаються відповідно до Конституції України та Закону України "Про правовий режим воєнного стану"...» [8, ст. 8].

Слід додати, що з появою Закону України «Про Національну поліцію» [8] виникло багато питань щодо забезпечення безпеки автотранспорту та БДР. У зв'язку з цим організація діяльності підрозділів поліції та її фахова підготовка потребує реформування та приведення до європейського рівня.

Зокрема, це має бути зроблено шляхом: удосконалення системи організаційно-правового регулювання діяльності поліції як органу державного контролю у сфері забезпечення БДР; удосконалення адміністративно-юрисдикційної діяльності поліції; розроблення чіткого механізму прийняття оптимальних управлінських рішень у системі поліції, кінцевою метою яких має бути підвищення рівня захищеності всіх учасників дорожнього руху; розробки методики й тактики дій усіх категорій співробітників поліції з урахуванням передового вітчизняного й закордонного досвіду; зміцнення та розвитку ділової співпраці з усіма суб'єктами, що уповноважені формувати й проводити на території України державну політику у сфері забезпечення БДР; розширення взаємовигідної

міжнародної співпраці; підвищення рівня підготовки кадрів з метою забезпечення високого професіоналізму і виховання співробітників поліції в дусі уважного ставлення до громадян, надання їм всебічної допомоги тощо.

Крім того, підвищення дорожньої культури населення і особливо водіїв автотранспорту необхідно розглядати як важливий превентивний захід забезпечення безпеки автотранспорту. Більшість ДТП трапляються саме з вини водіїв – через брак водійської майстерності й тотальний нігілізм у питаннях дисципліни руху.

У зв'язку з цим потребують доопрацювання «Порядок підготовки, перепідготовки і підвищення кваліфікації водіїв транспортних засобів» [14], «Типова навчальна програма підготовки та перепідготовки водіїв транспортних засобів» [15], «Типова програма з навчання населення Правил дорожнього руху» [16]. Необхідно проводити постійний моніторинг системи підготовки водіїв, особливо їхню психофізіологічну підготовку з одночасним посиленням контрольних заходів у цій сфері та з урахуванням фактора людини.

Саме транспортна дисципліна, як найважливіша складова професійної культури водія, передбачає систематичне навчання, розвиток і контроль індивідуальних якостей та можливостей щодо дотримання норм морально-етичного спілкування у процесі автодорожнього руху, зокрема й в аварійних ситуаціях. Отже, культура водія є однією із соціальних умов, що мінімізує виникнення ДТП на дорозі, а відтак має стати предметом глибокого науково-методичного аналізу.

Відсутність наукової складової стратегічного реформування державного механізму забезпечення безпеки автотранспорту ускладнює реалізацію заходів, спрямованих на недопущення ДТП. Більшість досліджень фахівців до проблем дорожньої безпеки, на жаль, виконані на теоретичному рівні й мають чимало практичних питань дискусійного характеру. Багато важливих питань, від яких залежить стан автодорожньої, залишається поза увагою вітчизняної науки. Ідеться про стратегічне реформування державної політики щодо визначення ролі та забезпечення конструктивної взаємодії всіх інституційних суб'єктів державного управління автодорожньою безпекою. Зокрема, вироблення ефективного механізму використання технічних засобів нагляду за автодорожнім рухом в діяльності контрольних органів, забезпечення невідворотності покарання за скоєні злочини та правопорушення на автотранспорті.

Вади сучасної науки в галузі БДР спричинені вузькою профільністю досліджень, спрямованих переважно на вивчення адміністративних і кримінальних особливостей ДТП. Левова частка наукових робіт зі згаданої проблематики ґрунтуються на застарілому емпіричному матеріалі. Крім того, дослідження мають фрагментарний характер, вирішують окремі локальні завдання, не аналізують проблему комплексно і, найголовніше, не окреслюють стратегічні напрями безпеки автотранспорту в транспортному процесі на перспективу.

Висновки

Результати аналізу організаційно-правового механізму регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі свідчать про важливість сфери безпеки автотранспорту як інтегральної складової національної безпеки України. При цьому основну увагу необхідно приділити розмежуванню повноважень у сфері транспорту між органами управління та органами державної влади, що провадять регуляторну діяльність.

Однією з найбільш актуальних проблем в автотранспортному комплексі є: опрацювання нової редакції організаційно-правових документів регулювання безпеки автотранспорту в транспортному процесі з урахуванням здобутків сучасної наукової думки; баланс інтересів учасників транспортного процесу; посилення впливу механізмів державного контролю на діяльність автотранспорту та розвитку безпеки автотранспорту в Україні. При цьому державна політика безпеки автотранспорту та дорожнього руху потребує сучасного розвитку, що актуалізує подальші дослідження.

Список використаної літератури

1. Закон України «Про транспорт». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 1994, № 51, ст.446, редакція від 01.01.2024, підстава – 1909-ІХ.
2. Закон України «Про дорожній рух». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 1993, № 31, ст. 338, редакція від 01.01.2024, підстава – 1909-ІХ.
3. Закон України «Про автомобільний транспорт». *Відомості Верховної Ради України*, 2001, № 22, ст. 105} {В редакції Закону № 3492-ІV від 23.02.2006, ВВР, 2006, № 32, ст. 273} із змінами і доповненнями.
4. Закон України «Про автомобільні дороги». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 2005, № 51, ст. 556, редакція від 19.12.2021, підстава – 1887-ІХ.
5. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення регулювання відносин у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху». *Відомості Верховної Ради (ВВР)*, 2015, № 39, ст. 372, редакція від 14.07.2015.
6. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо дорожньо-транспортних пригод та виплати страхового відшкодування». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 2011, № 39, ст. 386, редакція від 17.02.2011.
7. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо усунення надмірного державного регулювання у сфері автомобільних перевезень». *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 2012, N 5, ст. 34, редакція від 01.01.2024, підстава – 1909-ІХ.

8. Закон України «Про Національну поліцію». *Відомості Верховної Ради (ВВР)*, 2015, № 40-41, ст. 379, редакція від 01.01.2024, підстава – 1909-IX, 3295-IX.

9. Про Правила дорожнього руху. Постанова Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306, м. Київ, редакція від 01.12.2023, підстава – 1242-2023-п.

10. Про схвалення Концепції Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху на 2009-2012 роки. Постанова Кабінету Міністрів України від 30 жовтня 2008 р. № 1384-р., м. Київ.

11. Про затвердження плану заходів щодо реалізації Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2015 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 березня 2012 р. № 140-р, м. Київ.

12. Про схвалення Концепції Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року. Постанова Кабінету Міністрів України від 8 серпня 2012 р. № 771, м. Київ

13. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року : Постанова Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 року № 2174 р.

14. Про затвердження Порядку підготовки, перепідготовки і підвищення кваліфікації водіїв транспортних засобів. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 травня 2009 р. № 487, м. Київ.

15. Про затвердження Типової навчальної програми підготовки та перепідготовки водіїв транспортних засобів. Постанова Кабінету Міністрів України від 2 березня 2010 р. № 229, м. Київ.

16. Про затвердження Типової програми з навчання населення Правил дорожнього руху. Постанова Кабінету Міністрів України від 1 липня 2009 р. № 670, м. Київ.

17. Правове регулювання сфери транспорту в Європейському Союзі та в Україні : у 2-х т. / ред. В. Г Дідик, М-во юстиції України, Державний департамент з питань адаптації законодавства. К. : Ніка-Прінт, 2006.

References

1. The Law of Ukraine "On Transport". Bulletins of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 1994, No. 51, p. 446, as amended on January 01, 2024, under the law of Ukraine No. 1909-IX.

2. The Law of Ukraine "On Road Traffic". Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 1993, No. 31, Art. 338, as amended on January 01, 2024, under 1909-IX.

3. The Law of Ukraine "On Motor Vehicle Transport". Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 2001, No. 22, p. 105} {In the wording of Law No. 3492-IV of February 23, 2006, VVR, 2006, No. 32, p. 273} as amended.

4. The Law of Ukraine "On Automobile Roads". Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2005, No. 51, Art. 556, edition of December 19, 2021, basis - 1887-IX.

5. The Law of Ukraine "On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Improving the Regulation of Relations in the Field of Road Safety". Bulletin of the Verkhovna Rada (VVR), 2015, No. 39, p. 372, edition of July 14, 2015.

6. The Law of Ukraine "On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Road Traffic Accidents and Payment of Insurance Compensation". The Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2011, No. 39, p. 386, as amended on February 17, 2011.

7. The Law of Ukraine "On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Elimination of Excessive State Regulation in the Field of Road Transportation". Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2012, N 5, Article 34, as amended on January 01, 2024, under the Law of Ukraine No. 1909-IX.

8. Law of Ukraine "On the National Police". Bulletin of the Verkhovna Rada (VVR), 2015, No. 40-41, p. 379, as amended on January 01, 2024, under 1909-IX, 3295-IX.

9. On the Rules of the Road. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of October 10, 2001, No. 1306, Kyiv, edition of December 01, 2023, basis - 1242-2023-p.

10. On approving the Concept of the State Target Program for Improving Road Safety for 2009-2012. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of October 30, 2008, No. 1384-r, Kyiv.

11. On approval of the action plan for the implementation of the Strategy for Improving Road Safety in Ukraine for the period up to 2015. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of March 21, 2012, No. 140-r, Kyiv.

12. On approval of the Concept of the State Target Program for Improving Road Safety in Ukraine for the period up to 2016. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of August 8, 2012, No. 771, Kyiv

13. On approval of the Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2020: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of October 20, 2010, No. 2174.

14. On Approval of the Procedure for Training, Retraining and Advanced Training of Vehicle Drivers. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 20, 2009, No. 487, Kyiv.

15. On approval of the Standard Training Program for Training and Retraining of Vehicle Drivers. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of March 2, 2010, No. 229, Kyiv.

16. On approval of the Standard Program for Teaching the Public the Rules of the Road. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of July 1, 2009, No. 670, Kyiv.

17. V. H. Didyk (ed.) (2006). Ministry of Justice of Ukraine, State Department for the Adaptation of Legislation. Legal regulation of transport in the European Union and Ukraine: in 2 vols., K.: Nika-Print.

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 338.24:637

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.13>

Т. О. КУЗЬМІНА

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри харчових технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-6113-1923

Ю. В. БЕРЕЗОВСЬКИЙ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-9645-2743

Є. О. КАЛІНСЬКИЙ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2605-8759

Ю. А. АРЛЮКОВА

здобувач вищої освіти другого магістерського рівня
Херсонський національний технічний університет

А. О. ТРОФИМЧУК

аспірант кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет

ІННОВАЦІЙНІ ЕЛЕМЕНТИ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ У СТАНДАРТИЗАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ
ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Стандарти складають основу нашого професійного та приватного життя, а інновації є основним джерелом зростання та добробуту для економіки і суспільства. Стандартизація також є платформою, яку використовують дослідники та інші учасники інноваційного процесу в різних галузях промисловості.

Подібно до інноваційного процесу, розробка стандартів об'єднує знання та досвід різних зацікавлених сторін, що призводить до рішень, які є актуальними та доступними для широкого кола фахівців і споживачів. Швидкий технологічний розвиток створює середовище для інновацій, заснованих на поєднанні класичних технологій, інформаційно-комунікаційних технологій, формуванні нових бізнес-моделей і більш широкому залученні різних зацікавлених сторін у бізнес-процеси.

У роботі показано наявність зв'язків між стандартизацією та інноваційним процесом у легкій промисловості. Виявлено схожість за такими характеристиками, як співпраця різних зацікавлених сторін, забезпечення взаєморозуміння та консенсусу, а також застосування накопиченої інформації, знань і передового досвіду. Цей взаємозв'язок стосується як поточних, так і майбутніх потреб суспільства та усіх зацікавлених сторін, створення середовища сталого розвитку. У роботі встановлено, що інноваційна діяльність та процес стандартизації у легкій промисловості, використовують спільні елементи інформаційно-комунікаційних технологій: штучний інтелект, 3D-друк, віртуальна реальність, блокчейн тощо, які підвищують швидкість, рівень та якість результатів обох концепцій, сприяють розвитку бізнес-середовища та формують нові бізнес-моделі, таким чином, також сприяючи розробці нових видів продукції, послуг і технологій, конкурентоспроможності та міжнародній торгівлі.

У результаті дослідження запропонована модель, яка поєднує елементи ІКТ, процес створення стандартів, інновацій та їх взаємозв'язок.

Запропонована модель підтверджує, що розробка стандартів та створення і поширення інновацій є взаємопов'язаними та циклічними процесами, які, можуть сприяти розвитку економіки, забезпечуючи врахування потреб різних зацікавлених сторін, досягненню спільного розуміння концепцій розробки, а також забезпечуючи прогрес у досягненні цілей сталого розвитку.

Ключові слова: інновації, стандартизація, легка промисловість, елементи інформаційно-комунікаційних технологій, зацікавлені сторони.

T. O. KUZMINA

Doctor of Engineering Science, Professor,
Professor at the Department of Food Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-6113-1923

YU. V. BEREZOVSKY

Doctor of Engineering Science, Professor,
Professor at the Department of Commodity Science,
Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-9645-2743

E. O. KALINSKY

PhD, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Commodity Science,
Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-2605-8759

JU. A. ARLYUKOVA

Higher Education Student of the Second Master's Level
Kherson National Technical University

A. O. TROFYMCHUK

Postgraduate Student at the Department of Commodity Science,
Standardization and Certification
Kherson National Technical University

INNOVATIVE ELEMENTS OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN THE STANDARDIZATION OF MATERIALS AND PRODUCTS OF LIGHT INDUSTRY

Standards form the backbone of our professional and private lives, and innovation is a major source of growth and prosperity for our economies. Standardization is also a platform used by researchers and other participants in the innovation process in various industries.

Similar to the innovation process, standards development brings together the knowledge and experience of different stakeholders, resulting in solutions that are relevant and accessible to a wide range of professionals and consumers. Rapid technological development creates an environment for innovations based on the combination of classical technologies, information and communication technologies, the formation of new business models and the wider involvement of various stakeholders in business processes.

The paper shows the existence of links between standardization and the innovation process in the light industry. Similarities were founded in such characteristics as cooperation between different stakeholders, ensuring mutual understanding and consensus, as well as the application of accumulated information, knowledge and best practices. This relationship concerns both the current and future needs of society and all stakeholders, the creation of an environment of sustainable development. The paper established that innovation activity and the process of standardization in light industry use common elements of information and communication technologies: artificial intelligence, 3D printing, virtual reality, blockchain, etc., which increase the speed, level and quality of the results of both concepts, contribute to the development of the business environment and form new business models, thus also contributing to the development of new types of products, services and technologies, competitiveness and international trade.

As a result of the study, a model that combines elements of ICT, the process of creating standards, innovations and their relationship is proposed.

The proposed model confirms that the development of standards and the creation and dissemination of innovations are interrelated and cyclical processes that can contribute to the development of the economy, ensuring that the needs of different stakeholders are taken into account, achieving a common understanding of development concepts, as well as ensuring progress in achieving sustainable development goals.

Key words: *innovations, standardization, light industry, elements of information and communication technologies, stakeholders.*

Постановка проблеми

Стандартизація є важливим інструментом регулювання, інновацій, конкуренції та співробітництва в різних галузях економіки та суспільства.

Легка промисловість – це галузь економіки, яка включає в себе виробництво, переробку та розподіл текстильних, швейних, трикотажних, хутряних, взуттєвих, шкіряних та інших виробів, які мають відносно низьку вартість, високу обіговість та великий попит [1].

Легка промисловість є однією з найбільш динамічних, конкурентних та інноваційних галузей, яка відіграє важливу роль у забезпеченні соціальних, економічних та екологічних потреб суспільства.

Інноваційні методи та технології, які застосовуються в легкій промисловості, надають текстильним виробам нові функціональні, естетичні, екологічні та соціальні властивості, які відповідають сучасним потребам та вимогам ринку [1].

Аналогічно інноваційному процесу у промисловості, розробка стандартів об'єднує знання та досвід різних зацікавлених сторін, що призводить до рішень, які є актуальними та доступними для широкої громадськості.

Швидкий технологічний розвиток створює середовище для інновацій, заснованих на поєднанні класичних технологій, інформаційно-комунікаційних технологій, формуванні нових бізнес-моделей і більш широкому залученні різних зацікавлених сторін у бізнес-процеси [1]. Хоча стандартизацію можна описати як набір заходів, які певною мірою уніфікують продукцію, процеси та системи, вона відіграє все більш важливу роль у науково-технічному прогресі та промислового розвитку, а також визначається як рушійна сила інновацій та сталого розвитку на основі безпеки, якості та забезпечення загального блага суспільства [2–4].

Отже, дослідження кореляції між стандартизацією та інноваціями, їх взаємодії на прикладі легкої промисловості є актуальним завданням, оскільки стосується важливих питань розвитку легкої промисловості в умовах глобалізації та кризи, а також сприяє пошуку нових шляхів підвищення якості, безпеки, екологічності та конкурентоспроможності виробів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У 2010 році Сванн [5] заявив, що існує лише досить обмежена кількість публікацій та емпіричних досліджень про взаємозв'язок між інноваціями та стандартизацією, однак кількість досліджень щодо цього взаємозв'язку значно зросла за останнє десятиліття. Дослідження виявили, що кореляція між стандартизацією та інноваціями може бути ідентифікована як у сприянні інноваціям, так і у перешкоджанні їм, однак більше уваги приділяється першій концепції [6]. Систематизація відповідних знань зацікавлених сторін шляхом розробки стандартів сприяє інноваціям і зростанню економіки, оскільки це призводить до поширення технічних інновацій і передового досвіду [7; 8]. Діяльність із розробки стандартів на міжнародному рівні показує, що стандартизація збігається з глобальним промисловим розвитком і доповнює впровадження інновацій у певних сферах, стандарти сприяють інноваціям та є частиною науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт [9].

Авторами [9] проаналізовано схожість і взаємодію між розробкою стандартів і створенням інновацій та показано, що як сам процес стандартизації, так і його результати можна порівняти з інноваційними процесами, а це, у свою чергу, створює середовище для досягнення сталого розвитку та сприяння інноваціям. Але питання взаємодії стандартизації з актуальними концепціями – елементами інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та інноваціями у легкій промисловості – є не дослідженим питанням, тому актуальним є визначення спільних елементів ІКТ у процесі стандартизації та розробки інновацій в легкій промисловості, а також аналіз взаємодії між цими компонентами.

У новій стратегії ISO Strategy 2030 [10] Міжнародної та Європейських «CEN CENELEC Strategy 2030» організацій зі стандартизації [11] приділяється особлива увага розвитку самої системи стандартизації, трансформації процесу розробки стандартів включаючи постійну модернізацію технологій, що лежать в її основі та адаптацію до темпів цифровізації і неоднозначних способів використання стандартів підприємствами і організаціями всіх видів.

Швидкий розвиток інформаційних технологій потребує гнучкості, відкритості та швидкого реагування на різні фактори. Тому міжнародні організації зі стандартизації будуть інвестувати в розробку ефективної цифрової платформи, систем, які дадуть змогу працювати в режимі онлайн, у процесі створення стандартів з використанням новітніх технологій щоб підвищити швидкість роботи.

Незліченна кількість способів збору та обробки інформації, що доступні за допомогою цифрових технологій відкривають значні можливості для бізнесу щоб приймати більш продумані та ефективні рішення, давати змогу розробляти інноваційні продукти та сервіси. Звісно цифровізація суспільства та економіки не може проходити без ризиків та не потребувати багато ресурсів. Крім того піднімаються питання прозорості, приватності та захисту особистих даних.

Європейські організації CEN та CENELEC мають намір допомогти Європі скористатися перевагами цифровізації, зокрема, за допомогою впровадження стандартів для провідних інновацій у світі технологій, таких як інтернет-з'єднання, штучного інтелекту, кібербезпеки. Стандарти покликані гарантувати безпеку щоб застосування цифрових технологій відбувалося відповідно до законодавства країн ЄС. Це надасть можливість кардинально змінити стандартизацію відповідно до потреб 21-го сторіччя, оскільки відбувається процес комплексної цифрової перебудови усіх процесів, продуктів та послуг.

Отже, дослідження, пов'язані з процесами використання елементів інформаційних технологій у стандартизації, а також розробкою і впровадженням за їх допомогою інновацій у легкій промисловості є актуальним завданням.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є визначення спільних елементів ІКТ у процесі стандартизації та інноваційної діяльності у легкій промисловості, аналіз взаємодії між цими компонентами, дослідження інноваційних матеріалів та технологій, які застосовуються для підвищення якості, безпеки, екологічності та конкурентоспроможності виробів легкої промисловості і забезпечення сталості в галузі.

Викладення основного матеріалу дослідження

Як вже підкреслювалося вище, стандартизація є платформою, яку використовують дослідники, провідні підприємства галузі легкої промисловості та інші учасники інноваційного процесу, а стандарти є важливими елементами для дослідження, розвитку та інновацій і орієнтовані на користувачів.

Коли інноваційний продукт вже створений, стандарти дозволяють використовувати ефект масштабу, який генерує прибуток, як стимул для інновацій і для повторного використання інвестицій в інновації. Інноваційні технології та продукти часто містять високий рівень ризику для здоров'я, безпеки та навколишнього середовища, що може обмежувати їх прийняття серед зацікавлених сторін. Стандарти сприяють інноваціям, а також перешкоджають небажаним наслідкам використання неопробованого продукту, що підвищує довіру до застосування інноваційних технологій.

Стандартизація в легкій промисловості є важливою частиною забезпечення якості, безпеки та конкурентоспроможності продукції. Інноваційні методи стандартизації включають в себе сучасні підходи та технології для розробки та впровадження стандартів. Нижче розглянемо деякі з них.

Електронна стандартизація – це процес розроблення, прийняття, застосування та контролю електронних стандартів, які визначають вимоги до продукції, послуг, процесів, систем, документів тощо, що використовують електронні засоби інформації та комунікації. Електронна стандартизація сприяє підвищенню якості, безпеки, сумісності, ефективності та інноваційності електронних продуктів та послуг, а також спрощує їхнє виробництво, розповсюдження, використання та обслуговування. Це включає в себе використання цифрових платформ, веб-сервісів та електронних баз даних. Електронна стандартизація, часто відома як е-стандарти, використовує електронні технології для розробки, управління та поширення стандартів. Цей підхід спрощує доступ до стандартів, поліпшує їхню актуальність та дозволяє більш ефективно впроваджувати їх у практику.

Е-стандарти можуть включати інтерактивні елементи, відеоматеріали, анімацію та інші мультимедійні складові для кращого розуміння та застосування. Інтерактивність та мультимедійні елементи грають важливу роль у сучасних електронних продуктах та веб-застосунках. У контексті стандартизації та електронної документації, ці елементи можуть включати інтерактивні функції та різноманітні мультимедійні елементи для поліпшення взаємодії та розуміння користувачів.

Використання спільних платформ та хмарних технологій дозволяє більшій кількості сторін співпрацювати над розробкою та оновленням стандартів. Спільні платформи та хмарні рішення відіграють важливу роль у поліпшенні доступності, спільній роботі та забезпеченні збереження і обробки даних.

Електронні системи можуть автоматизовано відстежувати версії стандартів, що полегшує оновлення та забезпечує використання актуальних версій. Автоматизоване управління версіями (Version Control) – це система, що використовується для відстеження змін у коді програм або інших файлів у процесі розробки програмного забезпечення. Основна мета – зберігати історію змін, полегшуючи спільну роботу багатьох розробників та дозволяючи керувати версіями програмного коду. Важливою частиною такої системи є можливість відновлення попередніх версій файлів або навіть всього проекту.

Використання аналітики для обробки великих обсягів даних з різних джерел дозволяє виявляти тенденції, залежності та неочікувані закономірності у стандартизації. Використання штучного інтелекту (ШІ) та аналітики даних в методах стандартизації в легкій промисловості може принести численні переваги, сприяючи ефективнішому управлінню процесами та покращенню якості продукції.

Загальною метою використання ШІ та аналітики даних у стандартизації в легкій промисловості є підвищення ефективності, контроль якості та оптимізація всіх аспектів виробництва.

ШІ може застосовуватися для прогнозування можливих змін в галузі та виробництві, що допомагає створювати стандарти, які враховують майбутні виклики та технологічні тенденції.

Прогнозування та моделювання грають важливу роль у методах стандартизації в легкій промисловості, дозволяючи передбачати та оптимізувати різні аспекти виробництва, включаючи планування, якість, ресурси та ін.

Фактори прогнозування та моделювання у стандартизації продукції:

- прогнозування попиту. Моделі прогнозування – використання статистичних методів та алгоритмів машинного навчання для прогнозування попиту на продукцію. Планування виробництва – оптимізація розкладу виробництва відповідно до передбаченого попиту;

- моделювання виробничих процесів. Динамічні моделі – створення динамічних моделей для аналізу та оптимізації виробничих процесів;

- якість та контроль процесів. Моделі якості – створення моделей, що визначають параметри якості та передбачають можливі дефекти. Аналіз даних якості – використання аналітики для виявлення зв'язків між параметрами виробництва та якістю продукції;

- оптимізація ланцюга постачання. Моделювання ризиків – аналіз ризиків у ланцюзі постачання та розробка стратегій для їх управління. Прогнозування затрат – моделювання та прогнозування витрат для оптимізації ланцюга постачання;

- енергозбереження та управління ресурсами. Моделювання споживання енергії – створення моделей для прогнозування та оптимізації споживання енергії виробничими процесами. Ефективне використання ресурсів – аналіз та оптимізація використання ресурсів для зменшення витрат;

- аналіз ризиків та управління бізнес-процесами. Моделі ризиків – створення моделей для аналізу ризиків у виробничих та бізнес-процесах. Оптимізація бізнес-процесів – використання результатів аналізу для удосконалення та стандартизації бізнес-процесів;

- автоматизація та інтелектуальні системи. Інтеграція ШІ – впровадження інтелектуальних систем та автоматизації у виробничі процеси.

Ці методи дозволяють підприємствам легкої промисловості покращувати ефективність та контроль над виробництвом шляхом точного прогнозування, оптимізації процесів та управління ризиками.

ШІ може аналізувати неструктуровані дані, такі як текстові документи, електронні листи, коментарі тощо, що дозволяє враховувати різні джерела інформації при розробці стандартів. Робота з неструктурованими даними за допомогою штучного інтелекту в контексті стандартизації може принести значні переваги.

Всі ці підходи дозволяють враховувати широкий спектр інформації, включаючи неструктуровані дані, під час розробки та актуалізації стандартів.

Використання 3D-друку та віртуальної реальності (VR) у процесі проектування стандартів вносить значний внесок у поліпшення точності положень стандартів, ефективності та візуалізації продукції:

- створення прототипів. 3D-друк дозволяє створювати фізичні прототипи продукції з високою деталізацією. Це допомагає здійснювати більш точні вимірювання та оцінювати реальний вигляд та властивості матеріалів;

- віртуальна реальність (VR) для тестування. VR може використовуватися для віртуального тестування продукції ще до її фактичного виготовлення. Це дозволяє виявити потенційні проблеми та несумісності, що сприяє удосконаленню стандартів;

- візуалізація стандартів. VR може бути використана для візуалізації та емуляції виробничих процесів, де можна спостерігати за впливом змін у стандартах на виробничі умови та якість продукції;

- колективна робота у віртуальному просторі. VR дозволяє одночасно співпрацювати у віртуальному просторі багатьом людям, що полегшує колективне проектування та внесення змін до стандартів;

- навчання та тренінги. Використання VR для навчання персоналу та тренінгів, пов'язаних зі стандартами виробництва та якості;

- віртуальна реальність для споживачів. Споживачі можуть використовувати VR для віртуального огляду продукції, ознайомлення з її характеристиками та властивостями, що сприяє визначенню їх очікувань;

- редагування та оптимізація в реальному часі. VR може використовуватися для редагування та оптимізації дизайну продукції в режимі реального часу, що полегшує внесення змін до стандартів.

Застосування цих технологій допомагає виробникам та організаціям, що займаються стандартизацією, забезпечувати більш точні та високоякісні стандарти, які відповідають вимогам ринку та споживачів.

Блокчейн (Blockchain) – це розподілена база даних, яка записує транзакції за допомогою блоків, пов'язаних між собою і захищених криптографією. Ця технологія стала основою для криптовалют, таких як Bitcoin, також знайшла широке застосування в інших галузях. Важливим методом стандартизації є застосування технології блокчейн для створення безпечних, невід'ємних систем відстеження управління стандартами та сертифікацією, може забезпечити безпеку, прозорість та невід'ємність відстеження важливих даних.

Переваги використання блокчейн-технологій:

- безпека та імутабельність: інформація, занесена до блокчейну, захищена криптографією, що робить її надійною та відповідною стандартам безпеки. Імутабельність блокчейну означає, що інформацію надзвичайно важко змінити чи вилучити;

- прозорість та відстеження: блокчейн надає прозорий та відстежуваний механізм для додавання, зміни та перевірки даних. Це особливо важливо для відстеження якості продукції та процесів у реальному часі;

- вдосконалення ланцюга постачання: використання блокчейну дозволяє покращити ланцюг постачання, забезпечуючи відстеження руху матеріалів, виробничих етапів та умов зберігання у реальному часі;

- спрощення аудитів та сертифікації: блокчейн спрощує процеси аудитів та сертифікації, оскільки всі необхідні дані можуть бути доступні в одній децентралізованій системі, зменшуючи потребу у складних перевірках та документообігу;

- усунення шахрайства: блокчейн дозволяє усунути можливість шахрайства, оскільки інформація, що заноситься, піддається перевірці та залишається незмінною. Це особливо актуально для стандартів та сертифікації, де точність є важливою;

- автоматизація процесів: смарт-контракти, які працюють на блокчейні, можуть автоматизувати виконання угод та правил, пов'язаних зі стандартами та сертифікацією;

- співпраця та довіра: децентралізований характер блокчейну створює сприятливі умови для співпраці та взаємодії між різними учасниками системи, збільшуючи рівень довіри між ними.

Застосування блокчейн-технології може визначати новий стандарт для ефективного та безпечного управління сертифікацією в легкій промисловості.

Блокчейн може забезпечити прозорість, безпеку, та автоматизацію в областях, де важливі довіра та відсутність посередників.

Інноваційні методи стандартизації матеріалів та виробів в легкій промисловості включають в себе різноманітні завдання, спрямовані на впровадження новаторських технологій, матеріалів та підходів для покращення виробничих процесів та якості продукції.

Приклади найбільш типових завдань у легкій промисловості, які вирішуються із застосуванням інноваційних методів стандартизації, представлено у табл. 1.

Ці завдання спрямовані на те, щоб легка промисловість була більш ефективною, екологічно чистою та конкурентоспроможною, використовуючи передові інноваційні методи та технології, а також відображають широкий спектр викликів, які стоять перед легкою промисловістю у контексті інноваційних методів стандартизації, спрямованих на покращення матеріалів та виробів [12].

Ці інноваційні методи сприяють ефективному та швидкому процесу стандартизації, а також підтримують удосконалення якості та безпеки продукції в легкій промисловості.

Таблиця 1

Типові завдання стандартизації у легкій промисловості

Завдання	Характеристика
Розробка стандартів для нових матеріалів	Створення стандартів для інноваційних матеріалів, таких як технологічні тканини, наноматеріали чи біофільні текстильні вироби. Це включає визначення параметрів якості, властивостей та методів випробувань.
Встановлення технічних специфікацій	Визначення технічних вимог та характеристик для інноваційних технологій у виробництві, наприклад, у виготовленні «розумного одягу» чи текстилю з електронікою.
Стандартизація процесів виробництва	Розробка стандартів для інноваційних технологій виробництва, які включають автоматизацію, роботизацію та використання нових методів обробки матеріалів.
Методи тестування та вимірювання	Встановлення стандартів для методів тестування та вимірювання якості і властивостей матеріалів, наприклад, для визначення стійкості до зносу, міцності чи стійкості до впливу навколишнього середовища.
Стандартизація управління якістю	Розробка стандартів для систем управління якістю, які охоплюють інноваційні аспекти виробництва та забезпечують високу якість кінцевої продукції.
Нормативи для екологічної узгодженості	Встановлення стандартів для виробництва, що враховують принципи сталого розвитку та зменшення впливу на навколишнє середовище.
Безпека та екологічні стандарти	Розробка екологічно чистих матеріалів та технологій. Забезпечення відповідності продукції екологічним стандартам, розробка виробничих методів, що мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище.
Мас-конфекція та індивідуалізація	Впровадження технологій мас-конфекції. Використання 3D-друку, автоматизованих систем для швидкого та ефективного виготовлення масових партій одягу. Розробка індивідуалізованих рішень. Використання технологій, що дозволяють створювати персоналізовані та індивідуалізовані продукти для кожного споживача.
Розвиток «розумного текстилю»	Використання інтерактивних тканин. Розробка текстильних матеріалів, які можуть взаємодіяти з оточуючим середовищем, забезпечуючи додаткові функції, такі як вбудовані сенсори, електроніка тощо.
Застосування технологій штучного інтелекту (ШІ)	Аналіз даних та прогнозування попиту. Використання ШІ для аналізу ринку, прогнозування тенденцій та оптимізації виробничих процесів.

Використання новітніх технологій в легкій промисловості включає в себе впровадження сучасних інноваційних рішень та технологічних підходів для покращення ефективності виробництва, якості продукції та загальної конкурентоспроможності.

Нижче наведено деякі способи використання новітніх технологій в легкій промисловості:

- інтернет речей (IoT) – застосування IoT для створення «розумних» виробничих об'єктів, які можуть збирати та обмінюватися даними для оптимізації процесів;

- штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання – використання алгоритмів штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних, прогнозування та оптимізації виробничих процесів;

- цифрові двійники – створення цифрових моделей виробничих процесів для відслідковування та оптимізації їх роботи;
- технології розширеної реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) – застосування AR та VR для підвищення ефективності навчання персоналу, покращення дизайну проєктування та відслідковування виробничих процесів;
- безпілотні транспортні засоби – використання дронів та інших безпілотних транспортних засобів для внутрішньозаводського транспортування та моніторингу;
- екологічні технології – використання екологічно чистих технологій та матеріалів для зменшення впливу виробництва на навколишнє середовище;
- технології безконтактного виробництва – застосування технологій безконтактного виробництва для забезпечення безпеки праці та виробничого процесу в умовах пандемії.

Впровадження цих технологій дозволяє підприємствам легкої промисловості бути більш гнучкими, продуктивними та екологічно відповідальними, що у свою чергу, підвищує їх конкурентоспроможність на ринку.

Аналіз наведеної вище інформації, дозволяє визначити спільні елементи ІКТ, які використовуються на різних етапах розробки стандартів та у інноваційній діяльності у легкій промисловості. У результаті такого аналізу запропоновано модель, яка поєднує елементи ІКТ, процес створення стандартів, інновацій та їх взаємозв'язок (рис. 1).

Аналіз моделі показує, що входи – це знання, досвід, науково-технічні розробки і потреби промисловості, споживачів та інших зацікавлених сторін.

Виходи – результати стандартизації, які відповідають поточним і майбутнім потребам зацікавлених сторін. З огляду на розробку стандартів цей процес можна охарактеризувати трьома етапами: вхідний процес, вихідний процес і процес взаємодії [13].

Вхідний процес – інтеграція науково-технічних розробок і зовнішніх знань експертів, які представляють різні групи зацікавлених сторін з низки організацій або країн; отримання думок зацікавлених сторін для забезпечення спільного розуміння та задоволення потреб зацікавлених сторін.

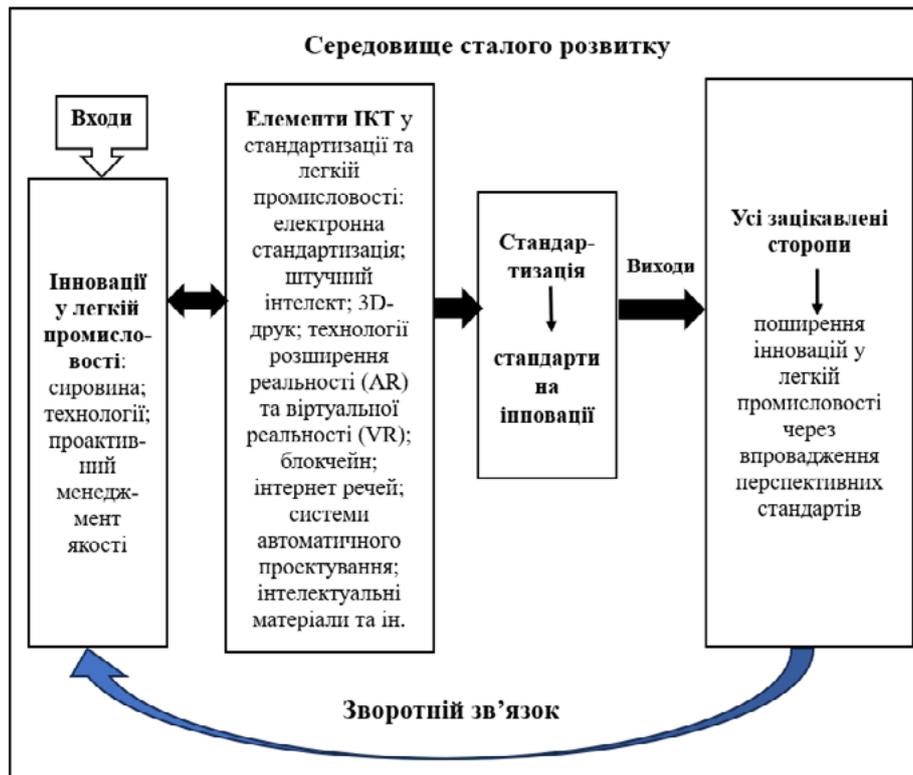


Рис. 1. Модель взаємозв'язку між спільними інноваційними елементами інформаційно-комунікаційних технологій у стандартизації та легкій промисловості

Вихідний процес – надання користувачам стандартів результатів стандартизації, які відповідають поточним і майбутнім потребам відповідних зацікавлених сторін, виведення стандартів у бізнес-середовище. Наприклад, BLE (Bluetooth Low Energy) – стандарт для бездротового зв'язку між розумним одягом та іншими пристроями;

IEEE 802.15. 6 стандарт є останнім міжнародним стандартом для бездротової мережі Wireless Body Area Network (WBAN), підтримує різноманітні програми моніторингу здоров'я та споживчої електроніки в режимі реального часу; Global Organic Textile Standard (GOTS) – стандарт встановлює вимоги до органічних волокон та текстильних виробів, зокрема, щодо виробництва, обробки та маркування; групи стандартів для оцінювання органічної екологічно безпечної та повністю відновлюваної сировини – шкіри з комбучі, вовни з калотропісу (Weganool), вовни з кокоса (Woosoa); ДСТУ EN ISO 56003:2022 (EN ISO 56003:2021, IDT; ISO 56003:2019, IDT) – Управління інноваціями. Інструменти та методи для інноваційної співпраці. Керівництво та ін.

Процес взаємодії – розробка нових стандартів на основі попередніх версій стандартів, введення нових учасників у процес розробки стандартів на основі принципів відкритості та прозорості, що створює можливість для користувачів стандартів теж стати розробниками стандартів шляхом використання нового досвіду та сучасних розробок.

У подальшому стандарти застосовуються для розробки та вдосконалення продуктів, послуг, процесів, систем, методів та інших сфер, таким чином, забезпечуючи відповідність загально визначеним сучасним галузевим рішенням.

Важливим процесом є зворотній зв'язок між потребами усіх зацікавлених сторін та створенням інновацій у легкій промисловості. У свою чергу, цей новий набір технологічних рішень, передових практик і рівнів розвитку створює попит на нові стандартизовані рішення, роблячи процес циклічним і безперервним. Отже, цей процес сприяє не тільки економічному розвитку, але й добробуту суспільства через застосування принципів відповідальності, відкритості та прозорості, а також зусиллям, спрямованим на досягнення сталості. Розроблена модель вказує на те, що стандартизація та створення інновацій у легкій промисловості не тільки мають спільні характеристики й елементи ІКТ, але й взаємодіють і сприяють одна одній.

Вони також можуть допомогти підприємствам реагувати на зміни, щоб максимізувати можливості для ефективного зростання та розвитку шляхом зменшення пов'язаних із цим ризиків. Відповідно до стратегії ISO, завдяки застосуванню стандартів, компанії можуть продемонструвати свою здатність керувати інноваційною діяльністю, щоб досягти запланованих результатів: збільшення доходів і прибутковості, покращення сталості, більшої здатності залучати партнерів, співробітників і фінансування, а також розширити залученість нових стейкхолдерів і задоволення їх потреб [8].

Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що діяльність у сфері стандартизації на різних рівнях свідчить про те, що стандарти є не лише інструментами для полегшення впровадження інноваційної діяльності, а система стандартизації в цілому виступає платформою для забезпечення відповідного середовища та каналом для співпраці в інноваційних процесах. А споживачі отримують вигоду від нових і вдосконалених продуктів та послуг через збільшення інноваційних можливостей компанії.

Висновки

Аналіз проведених досліджень показує наявність зв'язків між стандартизацією та інноваційним процесом у легкій промисловості. Вони мають схожість за такими характеристиками, як співпраця різних зацікавлених сторін, забезпечення взаєморозуміння та консенсусу, а також застосування накопичення та передачі інформації, знань і передового досвіду. Цей взаємозв'язок стосується як поточних, так і майбутніх потреб суспільства та всіх зацікавлених сторін, створення середовища сталого розвитку. Також можна зробити висновок, що інноваційна діяльність у легкій промисловості та процес стандартизації, використовують спільні елементи ІКТ, які підвищують швидкість, рівень та якість результатів обох концепцій, сприяють розвитку бізнес-середовища та формуванню нових бізнес-моделей, таким чином, також сприяючи розробці нових продуктів, послуг і технологій, конкурентоспроможності та міжнародній торгівлі.

Розроблена в результаті дослідження модель підтверджує, що розробка стандартів, створення та поширення інновацій на прикладі легкої промисловості, є взаємопов'язаними та циклічними процесами, які, можуть сприяти розвитку економіки, забезпечуючи врахування потреб різних зацікавлених сторін, сприяючи досягненню спільного розуміння концепцій розробки, а також забезпечуючи прогрес у досягненні цілей сталого розвитку. У подальших дослідженнях можуть бути додатково розглянуті практичні питання конкретних груп зацікавлених сторін у легкій промисловості або сфері стандартизації.

Список використаної літератури

1. Федорак В.І. Сучасні тенденції інноваційного розвитку підприємств легкої промисловості в умовах глобалізації. *Вчені записки університету «КРОК». Серія : Економіка*. 2019. Вип. 2. С. 231-236.
2. M. Lee, J.J. Yun, A. Pyka, D. Won, F. Kodama, G. Schiuma, H. Park, J. Jeon, K. Park, K. Jung How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations between Technology, Market, and Society through Open Innovation. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, 4 (2018) 10.3390/joitmc4030021 Google Scholar

3. Liepiņa R., Lapiņa I., Mazais J., Janauska J. Innovations, standards and quality management systems: Analysis of interrelation Proceedings of the 8th European Conference on Innovation and Entrepreneurship, Academic Conferences and Publishing International Limited, Belgium, Brussels (2013), pp. 723-730 Google Scholar
4. Zhang M., Wang Y., Zhao Q. Does participating in the standards-setting process promote innovation? Evidence from China. *China Econ. Rev.*, 63 (2020), p. 101532
5. Swann G.M.P. Innovative Economics Limited, Manchester, UK (2010), p. 83 Google Scholar
6. H.J. de Vries, W.P. Verhagen Impact of changes in regulatory performance standards on innovation: A case of energy performance standards for newly-built houses Technovation, 48–49 (2016), pp. 56-68 10.1016/j.technovation.2016.01.008 View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar
7. Гриньов Б., Даниленко Ю., Жихарева О., Любинський В. Стандартизація як інструмент забезпечення інноваційної діяльності. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*. 2013. №3. С. 13-16.
8. Даниленко Ю.А. Характеристики та класифікації інновацій та інноваційного процесу. *Наука та інновації*. 2018. 14. № 3. С. 15-30.
9. Standardization as a Catalyst for Open and Responsible Innovation Author links open overlay panel Arta Pīlēna, Iveta Mežinska, Inga Lapiņa. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2199853122009568> (дата звернення 20.01.2024)
10. ISO Strategy 2030. URL: <https://www.iso.org/ru/news/ref2630.html> (дата звернення 28.01.2024)
11. «CEN CENELEC Strategy 2030». URL: <https://www.cencenelec.eu/european-standardization/strategy-2030/> (дата звернення 17. 01.2024)
12. Павлиго Т.М. Значення стандартизації у інноваційних процесах. URL: https://www.researchgate.net/publication/364894044_ZNACENNA_STANDARTIZACII_U_INNOVACIJNIH_PROCESAH (дата звернення 26.01.2024)
13. O. Gassmann E. Enkel Towards a theory of open innovation: Three core process archetypes Proceedings of the R&D Management Conference Lisbon, Portugal 21–24 June 2004 1 18

References

1. V. I. Fedorak. Modern trends in the innovative development of light industry enterprises in the conditions of globalization. *Scientific notes of «KROK» University. Series: Economy*. 2019. Issue 2. P. 231-236.
2. M. Lee, J.J. Yun, A. Pyka, D. Won, F. Kodama, G. Schiuma, H. Park, J. Jeon, K. Park, K. Jung How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations between Technology, Market, and Society through Open Innovation. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, 4 (2018) 10.3390/joitmc4030021 Google Scholar
3. Liepiņa R., Lapiņa I., Mazais J., Janauska J. Innovations, standards and quality management systems: Analysis of interrelation Proceedings of the 8th European Conference on Innovation and Entrepreneurship, Academic Conferences and Publishing International Limited, Belgium, Brussels (2013), pp. 723-730 Google Scholar
4. Zhang M., Wang Y., Zhao Q. Does participating in the standards-setting process promote innovation? Evidence from China. *China Econ. Rev.*, 63 (2020), p. 101532
5. Swann G.M.P. Innovative Economics Limited, Manchester, UK (2010), p. 83 Google Scholar
6. H.J. de Vries, W.P. Verhagen Impact of changes in regulatory performance standards on innovation: A case of energy performance standards for newly-built houses Technovation, 48–49 (2016), pp. 56-68 10.1016/j.technovation.2016.01.008 View PDFView articleView in ScopusGoogle Scholar
7. Hrynyov B., Danylenko Yu., Zhikhareva O., Lyubynskiy V. Standardization as a tool for ensuring innovative activity. *Standardization. Certification. Quality*. 2013. No. 3. P. 13-16.
8. Yu.A. Danylenko Characteristics and classifications of innovations and the innovation process. *Science and innovation*. 2018. 14. No. 3. P. 15-30.
9. Standardization as a Catalyst for Open and Responsible Innovation Author links open overlay panel Arta Pīlēna, Iveta Mežinska, Inga Lapiņa. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2199853122009568> (date of application 20.01.2024)
10. ISO Strategy 2030. URL: <https://www.iso.org/ru/news/ref2630.html> (date of application 28.01.2024)
11. «CEN CENELEC Strategy 2030». URL: <https://www.cencenelec.eu/european-standardization/strategy-2030/> (date of application 17. 01.2024)
12. Pavlygo T.M. The importance of standardization in innovation processes. URL: https://www.researchgate.net/publication/364894044_ZNACENNA_STANDARTIZACII_U_INNOVACIJNIH_PROCESAH (date of application 26.01.2024)
13. O. Gassmann E. Enkel Towards a theory of open innovation: Three core process archetypes Proceedings of the R&D Management Conference Lisbon, Portugal 21–24 June 2004 1 18

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.78:004.891.2

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.14>

С. Г. АНТОЩУК

доктор технічних наук, професор,
директор Інституту комп'ютерних систем
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0000-0002-9346-145X

Н. О. КОМЛЕВА

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0000-0001-9627-8530

ОПТИМІЗАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТУВАННЯ

У даній статті розглядається актуальне завдання розробки оптимізаційних моделей для інтелектуальних систем діагностики, яке має важливе значення для підвищення ефективності діагностичних процесів у різних галузях. Стаття зосереджується на вивченні та систематизації сучасних методів математичного моделювання та алгоритмів інтелектуального аналізу даних, які використовуються для оптимізації прийняття рішень у діагностичних системах. Актуальність теми полягає в потребі інтегрувати новітні технології аналізу даних та математичного моделювання для підвищення точності, швидкості та ефективності діагностичних систем. В рамках дослідження створено оптимальні моделі, які дозволяють ефективно враховувати доступні ресурси та інструменти, необхідні для розв'язання специфічних діагностичних задач. Моделі інтегрують основні елементи для ефективного розподілу ресурсів і задоволення вимог експертів та визначають множину діагностичних параметрів у сукупності з множиною засобів для їх вимірювання. Особлива увага приділяється адаптації цих моделей для специфіки різних діагностичних завдань, включаючи інтеграцію інтелектуальних компонентів, таких як машинне навчання та штучний інтелект, які сприяють підвищенню точності діагнозів та оптимізації процесів. Інтеграція в модель алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту передбачає використання матриці ефективності, яка відображає ступінь доцільності застосування запропонованих алгоритмів для вирішення певних діагностичних задач. Розроблена технологія моделювання інтелектуальних діагностичних систем з урахуванням цих моделей, що демонструє практичну застосовність та можливості тестування в реальних умовах. Значний обсяг роботи присвячено випробуванню розроблених моделей через реалізацію програмного інструменту «Optimization modeling of medical diagnosis». Цей інструмент не тільки дозволяє тестувати моделі в контрольованих умовах, але й забезпечує їхню адаптацію до реальних діагностичних сценаріїв, значно підвищуючи практичну цінність дослідження. Він забезпечує обчислення параметрів моделей, їх візуалізацію в зручному форматі та можливість швидкого коригування залежно від специфіки задачі.

Ключові слова: інтелектуальна система, оптимізація, математична модель, система діагностики, адаптація, ресурс.

S. G. ANTOSHCHUK

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Director of the Institute of Computer Systems
Odesa Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-9346-145X

N. O. KOMLEVA

PhD, Associate Professor,
Head of Software Engineering Department
Odesa Polytechnic National University
ORCID: 0000-0001-9627-8530

OPTIMIZATION MODELING OF INTELLIGENT DIAGNOSTIC SYSTEMS

This article considers the actual task of developing optimization models for intelligent diagnostic systems, which is important for increasing the efficiency of diagnostic processes in various industries. The article focuses on the study and systematization of modern methods of mathematical modeling and algorithms of intelligent data analysis, which are used to optimize decision-making in diagnostic systems. The relevance of the topic lies in the need to integrate the latest

technologies of data analysis and mathematical modeling to increase the accuracy, speed and efficiency of diagnostic systems. As part of the research, optimal models have been created that allow us to effectively take into account the available resources and tools needed to solve specific diagnostic problems. The models integrate the main elements for efficient allocation of resources and meeting the demands of experts and define a set of diagnostic parameters together with a set of means to measure them. Special attention is paid to the adaptation of these models for the specifics of various diagnostic tasks, including the integration of intelligent components, such as machine learning and artificial intelligence, which contribute to increasing the accuracy of diagnoses and optimizing processes. The integration of machine learning algorithms and artificial intelligence into the model involves the use of an efficiency matrix that reflects the degree of feasibility of using the proposed algorithms to solve certain diagnostic problems. Modeling technology of intelligent diagnostic systems has been developed taking into account these models, which demonstrates practical applicability and testing capabilities in real conditions. A significant amount of work is devoted to testing the developed models through the implementation of the "Optimization modeling of medical diagnosis" software tool. This tool not only allows testing models in controlled conditions, but also ensures their adaptation to real diagnostic scenarios, significantly increasing the practical value of research. It provides calculation of model parameters, their visualization in a convenient format and the possibility of quick adjustments depending on the specifics of the task.

Key words: intelligent system, optimization, mathematical model, diagnostic system, adaptation, resource.

Постановка проблеми

В умовах сучасного динамічного світу спроможність точно аналізувати ситуації та приймати обґрунтовані рішення у складних і невизначених умовах стає ключовою для успіху в різноманітних областях діяльності. Особливу актуальність це набуває у контексті розробки інтелектуальних систем діагностики та прийняття рішень, де необхідно швидко адаптуватися до змінюваних умов і забезпечувати високу точність обробки інформації. Значущість створення ефективних математичних моделей та алгоритмів, які можуть оперувати в умовах невизначеності, визнається у широкому спектрі дисциплін – від фінансів та логістики до соціальних наук і медицини.

Невизначеність може проявлятися у різних формах: від неповноти та невизначеності даних до швидких змін у зовнішніх умовах, що впливають на роботу систем. Традиційні підходи до прийняття рішень часто виявляються недостатньо гнучкими для адекватного реагування на такі виклики, підкреслюючи потребу в розробці нових, більш адаптивних технологій. Особливо це стосується медичної галузі, де швидкість та точність діагностики можуть мати безпосередній вплив на здоров'я та навіть життя людей. У контексті пульмонології, де діагностика захворювань легенів вимагає високої точності та оперативності, важливість розробки та застосування інноваційних методів математичного моделювання та інтелектуального аналізу даних стає очевидною.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розробка та аналіз ефективних моделей та засобів математичного моделювання для систем інтелектуального діагностування, здатних адаптуватися та функціонувати в умовах певних вимог та обмежень.

Для досягнення мети в роботі вирішуються задачі:

- 1) вивчення та систематизація сучасних методів математичного моделювання та алгоритмів інтелектуального аналізу даних, що застосовуються в системах діагностики та прийняття рішень;
- 2) створення оптимальних моделей, які ефективно враховують набір ресурсів та інструментів, необхідних для створення систем, здатних вирішувати поставлені діагностичні задачі;
- 3) розробка технології моделювання інтелектуальних діагностичних систем;
- 4) реалізація програмного інструменту на основі розроблених моделей для демонстрації їхньої практичної застосовності та тестування в реальних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує велика кількість класичних досліджень, які стосуються оптимізаційного моделювання процесів та систем. Серед визнаних авторів, які зробили значні внески у своїх областях, формуючи сучасні підходи до математичної оптимізації і аналізу систем слід назвати Дж. Данціга, Дж. Неша, Л. Канторовича, Т. Сааті та інших.

На сьогоднішній день дослідження в цієї галузі продовжуються [1, с. 173]. З появою інтелектуальних систем та швидким розвитком технологій, виникає можливість для ще більшого вдосконалення та інновацій в цій галузі. Так, у [2, с. 31] наведено огляд різноманітної літератури щодо розуміння різноманітності методів оптимізації, що використовуються для машинного навчання та моделей прогнозування. Інтелектуальні системи, які включають алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту, відкривають нові перспективи для автоматизації та оптимізації складних процесів.

Ці технології дозволяють не лише аналізувати великі обсяги даних, але й прогнозувати можливі результати, адаптуватися до змін у вихідних умовах та взаємодіяти з іншими системами в реальному часі. Наприклад, в секторі виробництва, оптимізаційне моделювання допомагає у вдосконаленні процесів логістики [3, с. 213], управління запасами [4, с. 1] та планування виробництва [5, с. 140], значно знижуючи витрати та підвищуючи ефективність.

У сфері охорони здоров'я оптимізаційні моделі використовуються для покращення якості медичного обслуговування, наприклад, через розробку персоналізованих лікувальних планів на основі індивідуальних даних

пацієнта або оптимізації розподілу медичних ресурсів [6, с. 528; 7, с. 630]. Такі системи можуть допомогти медичним працівникам швидше ідентифікувати потреби пацієнтів та призначати ефективніші лікування [8, с. 1781].

Інтелектуальні системи діагностики, особливо у сфері медичного обслуговування, відіграють критично важливу роль у сучасному світі. Вони забезпечують високу точність аналізу даних, що дозволяє лікарям швидко і точно встановлювати діагнози, мінімізуючи при цьому ризики для пацієнтів та підвищуючи шанси на успішне лікування [9, с. 44; 10, с. 3].

Оптимізаційне моделювання для створення інтелектуальних систем діагностики дозволяє значно підвищити ефективність і точність діагностичних процедур. Використання оптимізаційних моделей в таких системах має на меті раціональне використання ресурсів, оптимальне прийняття рішень, а також адаптацію до змінних умов у реальному часі [11, с. 7]. Активне застосування таких моделей дозволяє симулювати різні сценарії діагностики, оптимізувати процеси та знизити ймовірність помилок.

Підбиваючи підсумок під проведеним аналізом, можна стверджувати, що оптимізаційне моделювання інтелектуальних систем діагностики є дуже актуальним завданням, адже воно забезпечує вирішення комплексних діагностичних задач. Ця потреба акцентує на важливості розробки ефективних оптимізаційних моделей, які включають інтелектуальну складову, спроможну значно підвищити точність та швидкість діагностування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Технологія розробки інтелектуальних систем діагностики та прийняття рішень

Традиційна послідовність процесів у розробці програмних систем виглядає наступним чином: визначення вимог до системи, створення специфікацій до програмної системи, розробка, тестування та введення системи в експлуатацію.

При розробці системи діагностування критично важливо враховувати доступні ресурси, оскільки вони визначають потенціал та межі технологічних та оперативних можливостей системи. Оцінка ресурсів допомагає приймати обґрунтовані рішення про використання технологій, розробку функціоналу та можливості інтеграції з існуючими системами, забезпечуючи реалістичний підхід до проектування системи.

На рисунку 1 представлена технологія створення систем діагностування з урахуванням ресурсів.

Технологія створення систем діагностування (СД) – це складний процес, який включає кілька ключових етапів. На початковому етапі збираються та аналізуються вимоги до системи діагностування. Це можуть бути вимоги від експертів з предметної області (наприклад, для медичної СД – клінічні вимоги від медичних фахівців), технічні специфікації від інженерів та вимоги безпеки та конфіденційності від відповідальних за дотримання нормативів.

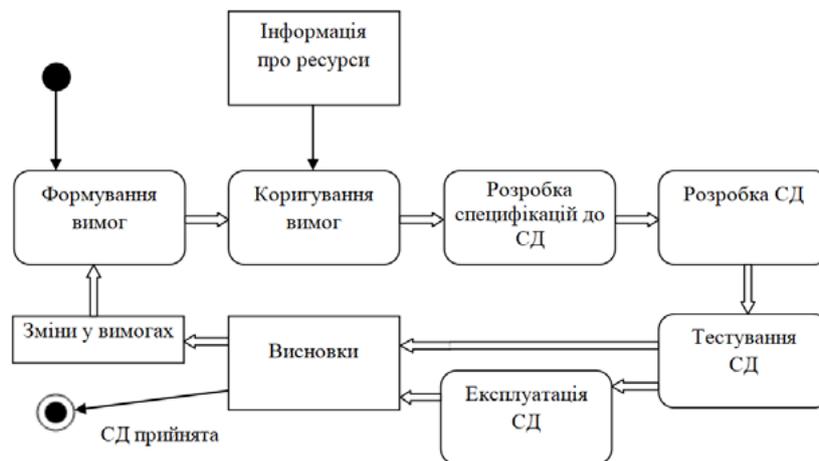


Рис. 1. Технологія створення систем діагностування з урахуванням ресурсів

Далі аналізуються доступні ресурси, які у загальному сенсі включають фінансові кошти, інформаційні та технологічні інструменти, обладнання, доступність кваліфікованого персоналу та часові рамки проекту. Ці ресурси можуть бути досить різноманітними та включати, в тому числі, прототипи СД – ранні версії систем, які вже були розроблені або тестовані і можуть бути використані як база для подальшого розвитку. Саме цей етап дозволяє зрозуміти можливості для реалізації вимог.

На основі інформації про ресурси може з'явитися потреба в коригуванні первісних вимог. Це важливо для узгодження можливостей і очікувань з актуальними ресурсними обмеженнями. Далі розробляються детальні специфікації для системи, що включають в себе вимоги до програмного забезпечення, апаратних компонентів, інтерфейсів користувача, інтеграції з іншими системами тощо.

На наступному етапі відбувається безпосередня розробка системи діагностування. Це включає програмування, налаштування обладнання, інтеграцію систем і тестування модулів. Після цього система проходить ретельне тестування, яке може включати юніт-тести, інтеграційні тести, тести безпеки та випробування на кінцевих користувачах (клінічні випробування). Мета тестування – забезпечити відповідність системи всім специфікаціям і вимогам.

Після успішного тестування та налагодження систему впроваджують в експлуатацію, здійснюється моніторинг її роботи, збирання зворотного зв'язку від користувачів для подальших покращень.

На основі досвіду експлуатації та зворотного зв'язку можуть бути внесені зміни в систему для покращення її ефективності або адаптації до змінених умов експлуатації чи нових вимог.

Створення оптимізаційної моделі для розробки системи діагностування

Фокус на розробці системи передбачає, що модель допомагає визначити оптимальний набір ресурсів та інструментів, необхідних для створення системи, яка здатна ефективно вирішувати поставлені діагностичні задачі. Вона враховує не лише безпосередні витрати на ресурси та розробку, але й потенційну вартість засобів вимірювання, а також значущість вимог експертів до системи. Це дозволяє балансувати між витратами, якістю та ефективністю системи, що є ключовим для успішної розробки сучасних інтелектуальних систем діагностики.

Створення оптимізаційної моделі для розробки системи діагностування вимагає визначення ключових змінних, обмежень та цільової функції, яка має бути оптимізована.

Оптимізаційна модель повинна врахувати наступне:

1. Існує багато вимог до системи діагностування, та різні вимоги мають різні рівні значущості.
2. Існує багато ресурсів різних типів, які потрібні для розробки системи діагностування. Потрібно знайти баланс між вимогами та ресурсами.
3. Система діагностування повинна мати множину діагностичних параметрів та множину засобів для вимірювання цих параметрів.

Представимо комплексну оптимізаційну модель системи діагностування, яка враховує динамічність вимог, різноманітність ресурсів та необхідність адаптації до змінних умов. Модель інтегрує основні елементи для ефективного розподілу ресурсів і задоволення вимог експертів наступним чином:

$$M = \langle P, V, F, L \rangle, \tag{1}$$

де P – параметри моделі;

V – змінні рішення;

F – функція цілі;

L – обмеження.

Розглянемо детальніше складові моделі M .

Параметри моделі P визначаються як:

$$P^M = \langle Req, Res, Dgn, Meas \rangle, \tag{2}$$

де $Req = \{req_1, req_2, \dots, req_n\}$ – множина вимог до діагностичної системи. Кожна вимога req_i має певний рівень значущості (важливості) s_i , що відображає вагомість вимоги для системи;

$Res = \{res_1, res_2, \dots, res_m\}$ – множина ресурсів, необхідних для розробки системи. Кожен ресурс r_j має ліміт l_j , що вказує на максимально доступну кількість або час використання цього ресурсу;

$Dgn = \{dgn_1, dgn_2, \dots, dgn_k\}$ – множина діагностичних параметрів, які система повинна вимірювати;

$Meas = \{meas_1, meas_2, \dots, meas_i\}$ – множина засобів вимірювання, де кожен засіб може вимірювати один або декілька діагностичних параметрів.

Розглянемо змінні рішення V :

x_{ij} – бінарна змінна, що вказує, чи задовольняється вимога req_i за допомогою ресурсу r_j ;

y_{zk} – бінарна змінна, що вказує, чи використовується засіб m_z для вимірювання діагностичного параметра d_k .

Функція цілі F дозволяє мінімізувати загальну вартість ресурсів, враховуючи вагомість вимог експертів:

$$F^M = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} - \sum_{i=1}^n s_i \sum_{j=1}^m x_{ij},$$

де c_{ij} відображає вартість задоволення вимоги req_i за допомогою ресурсу r_j , а s_i – значущість, або вагомість вимоги.

Обмеження L^M включають:

1. Обмеження на ресурси

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq l_j, \quad \forall j \in \{1, \dots, m\}.$$

2. Обмеження на вимірювання діагностичних параметрів:

$$\sum_{z=1}^l y_{zk} \geq 1, \quad \forall k \in \{1, \dots, k\}.$$

3. Співвідношення між засобами вимірювання і діагностичними параметрами:

$$y_{zk} \leq A_{zk}, \quad \forall z \in \{1, \dots, l\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, k\},$$

де A_{zk} – бінарний параметр, що дорівнює 1, якщо засіб $meas_z$ може вимірювати діагностичний параметр dgn_k , і 0 – в іншому випадку.

Адаптація моделі для розробки інтелектуальних систем діагностики

Виконаємо адаптацію моделі для врахування інтелектуальної компоненти системи діагностики, фокусуючись на інтеграцію в неї алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту для вирішення діагностичних завдань з максимальною точністю.

Додатковий параметр $A = \{a_1, a_2, \dots, a_o\}$ – це множина алгоритмів машинного навчання або штучного інтелекту, які можуть бути використані для аналізу даних і вирішення задач діагностики.

Додаткова змінна рішення v_{ik} – бінарна змінна, що вказує, чи алгоритм a_k застосовується для задоволення вимоги req_i .

Оновлена функція цілі F' забезпечує мінімізацію загальної вартості ресурсів, алгоритмів та вартості застосування засобів вимірювання, одночасно максимізуючи відповідність системи заданим вимогам та ефективність діагностичних процедур:

$$F' = \min \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^o c_{ik} v_{ik} + \sum_{z=1}^l \sum_{h=1}^k c_{zh} y_{zh} \right) - \sum_{i=1}^n s_i * \left(\sum_{j=1}^m x_{ij} + \sum_{h=1}^o y_{ih} \right),$$

c_{ij} – вартість використання ресурсу res_j для вимоги req_i ;

c_{ik} – вартість використання алгоритму a_k для вимоги req_i ;

c_{zh} – вартість використання засобу вимірювання m_z для діагностичного параметра d_h . Відображає витрати, необхідні для проведення вимірювань або тестів, асоційованих з певним діагностичним параметром за допомогою конкретного засобу вимірювання;

y_{zh} – бінарна змінна, що вказує, чи засіб вимірювання m_z використовується для діагностичного параметра d_h ;

s_i – значущість вимоги req_i .

Інтелектуальні системи діагностики можуть включати різноманітні алгоритми машинного навчання або штучного інтелекту, отже для моделі розробки системи інтелектуального діагностування потрібно врахувати специфічні характеристики та ефективність кожного алгоритму для конкретних задач діагностики.

Визначимо модель МА для оптимального вибору алгоритму машинного навчання:

$$MA = \langle A, E, C \rangle,$$

де $A = \{a_1, a_2, \dots, a_o\}$ – множина алгоритмів машинного навчання, кожен з яких має свої специфічні характеристики;

E_{ik} – матриця ефективності, яка відображає ефективність алгоритму a_i у вирішенні задач, пов'язаних з діагностичним параметром d_k ;

C_{ia} – вартість застосування алгоритму a_i , що може включати витрати обчислювальні ресурси, розробку та налаштування.

Функція цілі мінімізує загальні витрати на алгоритми при одночасній максимізації загальної ефективності системи:

$$F^{MA} = \min \sum_{i=1}^o C_{ia} x_{ia} - \lambda \sum_{i=1}^o \sum_{h=1}^k E_{ih} x_{ia},$$

де x_{ia} – бінарна змінна, що вказує чи використовується алгоритм a_i у розробці системи;

λ – коефіцієнт який дозволяє керувати балансом між вартістю та ефективністю.

Обмеження моделі МА:

1. Обмеження на повне покриття діагностичних параметрів забезпечує, що для кожного діагностичного параметра d_k обирається хоча б один алгоритм.

2. Обмеження на ліміт ресурсів враховує кількість алгоритмів, які можуть бути використані одночасно, через обмежені обчислювальні ресурси або бюджет:

$$\sum_{i=1}^o x_{ia} \leq L,$$

де L – максимальна кількість алгоритмів, які можуть бути одночасно використані.

Значення коефіцієнту λ визначається експертним чином та від пріоритетів проекту, вимог до ефективності та економічних обмежень.

Якщо пріоритетом проекту є мінімізація витрат, λ може бути встановлено нижчим, що надає більшої ваги загальним витратам над ефективністю. Якщо ж головним завданням є досягнення максимальної ефективності без суттєвого обмеження бюджету, то λ може бути вищим, що підсилює значимість ефективності алгоритмів.

У випадках, коли необхідно дотримуватись строгих стандартів ефективності (наприклад, в медичних діагностичних системах), значення λ встановлюється на високому рівні для забезпечення прийнятної точності та надійності системи.

У ситуаціях з обмеженим бюджетом важливо знайти баланс між вартістю і ефективністю, що може призвести до середнього значення λ , яке оптимізує обидва параметри.

Часто оптимальне значення λ знаходять емпірично, використовуючи методи проб і помилок.

Матриця ефективності служить критично важливим компонентом для вибору оптимального набору алгоритмів, які будуть інтегровані в систему інтелектуального діагностування. Вона допомагає визначити, як добре кожен алгоритм справляється з конкретними діагностичними параметрами або цілями.

Нехай в нас є N алгоритмів та K діагностичних параметрів. Тоді матриця ефективності E буде мати розмір $N \times K$, де кожен елемент E_{ik} представляє ефективність i -го алгоритму щодо k -го діагностичного параметра:

$$E = \begin{pmatrix} E_{11} & \dots & E_{1K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{N1} & \dots & E_{NK} \end{pmatrix}.$$

Значення ефективності i -го алгоритму в контексті k -го діагностичного параметра є кількісною оцінкою, в залежності від вирішуваної задачі, точністю, чутливістю, специфічністю або будь-якою іншою метрикою, що відображає, наскільки добре алгоритм вирішує задачу.

Визначення оцінок ефективності може спиратись на використання тестових наборів даних або симуляцій, опублікованих досліджень, думок експертів у галузі машинного навчання для оцінки потенційної ефективності алгоритмів на основі їх знань і досвіду.

Формально ефективність алгоритму E_{ijk} для діагностичного параметра d_j під умовою c_k може бути визначена як взважена сума цих метрик:

$$E_{ijk} = \alpha * Precision_{ijk} + \beta * Recall_{ijk} + \gamma * Specificity_{ijk},$$

де α , β , та γ – вагові коефіцієнти, що відображають важливість кожної метрики залежно від специфіки діагностичної задачі.

На рисунку 2 наведена технологія моделювання інтелектуальних діагностичних систем, яка враховує всі вищенаведені аспекти.

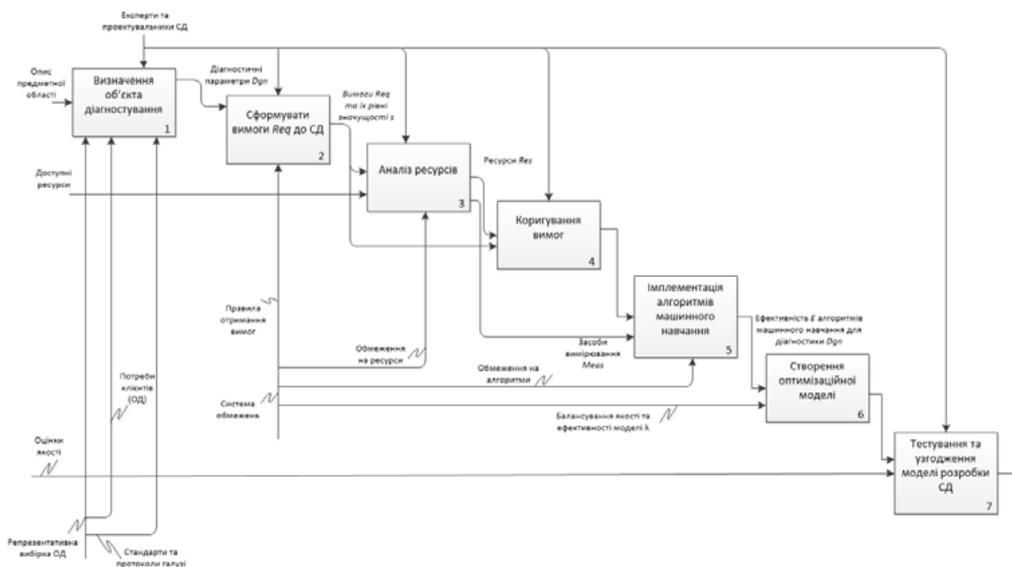


Рис. 2. Технологія моделювання інтелектуальних діагностичних систем

Після створення технології моделювання інтелектуальних діагностичних систем, наступним кроком є її впровадження та оптимізація для забезпечення тривалої та ефективної експлуатації. Це може містити технічну інтеграцію з іншими системами, налаштування необхідних інтерфейсів та забезпечення сумісності. Важливо також провести навчання персоналу, який буде використовувати цю систему, для забезпечення її ефективного використання.

Постійний моніторинг системи допомагає виявляти та вирішувати будь-які технічні проблеми, які можуть виникнути. Система повинна постійно збирати дані, які можуть бути аналізовані для вдосконалення діагностичних алгоритмів. Аналіз цих даних допоможе виявити патерни, які можуть вдосконалити точність та ефективність діагностичних процедур.

Апробація розроблених моделей

У якості практичного прикладу проведемо дослідження розробки системи медичного пульмонологічного діагностування.

Для створення відповідної оптимізаційної моделі розглянемо вимоги, ресурси, діагностичні параметри, засоби вимірювання, і включимо алгоритми машинного навчання для аналізу даних.

Вимоги до моделі повинні включати високу точність діагностики, швидкий час відгуку (отримання результатів) та мінімізацію витрат на діагностичні процедури. До ресурсів слід віднести медичне обладнання, витратні матеріали та людські ресурси – медичний персонал. Діагностичними параметрами є функція легенів, рівень оксигенації крові та зображення легенів для визначення уражень, запалення та інших патологій. До засобів вимірювання віднесено спірометр, пульсоксиметр та комп'ютерний томограф.

Визначимо змінні рішення для моделі оптимізації:

x_{ij} – кількість процедур, виконаних за допомогою обладнання i та алгоритму машинного навчання j ;

y_i – кількість годин роботи обладнання типу i ;

z_j – вибір алгоритму машинного навчання j , де $z_j = 1$ якщо алгоритм вибрано, інакше $z_j = 0$.

Функція цілі:

$$\min Z = \alpha \sum_{ij} c_{ij} x_{ij} + \beta \sum_i m_i y_i + \gamma \sum_i (\max_j x_{ij} - \min_j x_{ij}),$$

де c_{ij} – вартість однієї процедури на обладнанні i з використанням алгоритму j ;

m_i – вартість експлуатації обладнання i за годину;

α, β, γ – вагові коефіцієнти для вартості процедур, вартості часу і балансу навантаження відповідно.

Обмеження:

1. Обмеження на кількість процедур на обладнанні:

$$x_{ij} \leq k_{ij} y_i z_j \quad \forall i, j,$$

де k_{ij} – максимальна кількість процедур, яку може виконати обладнання i за годину з алгоритмом j .

2. Бюджетні обмеження:

$$\sum_{ij} (c_{ij} x_{ij} + m_i y_i) \leq B,$$

де B – загальний бюджет на діагностику.

3. Забезпечення достатньої точності Acc :

$$Acc_{ij} z_j \geq 95\% \quad \forall i, j,$$

де Acc_{ij} – точність алгоритму j на обладнанні i .

4. Вибір алгоритму машинного навчання, яке гарантує, що кожного разу обирається певний алгоритм:

$$\sum_j z_j = 1 \quad \forall j.$$

Для роботи з моделлю та візуалізації результатів її роботи мовою Python створено програмний інструмент «Optimization modeling of medical diagnosis». Програма містить форму, у якій вводяться параметри та обмеження моделі (рис. 3).

Для наочності результатів побудуємо лепесткові діаграми для кожної з трьох категорій обладнання: Спірометрія, Пульсоксиметрія та КТ. На діаграмах відображаються відсотки використання обладнання, точності діагностики, доступності обладнання, вартості обслуговування та часу, необхідного на процедуру. Це допоможе наглядно оцінити ефективність використання кожного виду обладнання і зробити висновки про оптимізацію використання ресурсів.

Розглянемо 2 сценарії використання оптимізаційної моделі для системи медичного пульмонологічного діагностування:

Сценарій 1: Оптимізація роботи пульмонологічної лабораторії в умовах підвищеного попиту за відомою технологією діагностики (рис. 4).

Сценарій 2: Впровадження нової технології діагностики з підвищенням точності та мінімізацією витрат (рис. 5).

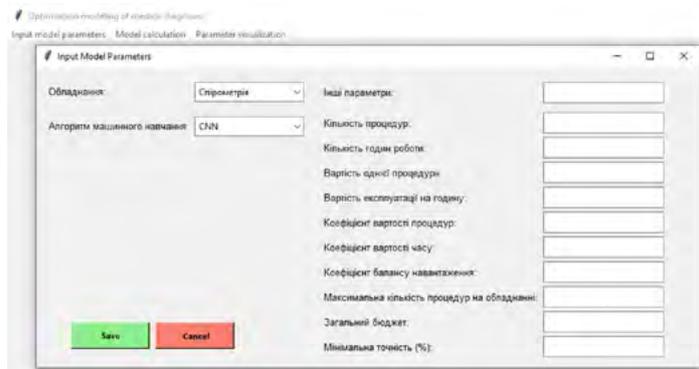


Рис. 3. Ввід користувачем параметрів та обмежень моделі

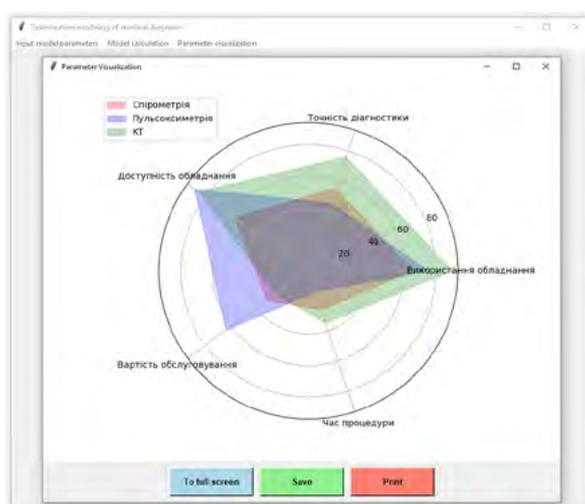


Рис. 4. Візуалізація результатів для Сценарію 1

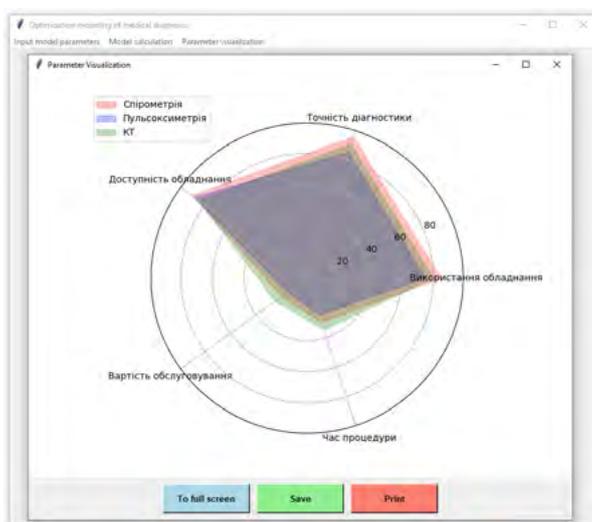


Рис. 5. Візуалізація результатів для Сценарію 2

Як можна побачити, значення точності та вартості обслуговування для Сценарію 2 є кращими, ніж для Сценарію 1.

Висновки

За результатами проведених досліджень встановлено, що:

1. Вивчення та аналіз сучасних методів математичного моделювання та інтелектуального аналізу даних показали їх значимість у широкому спектрі застосувань, включаючи медичну діагностику. Адаптація цих методів під конкретні вимоги і обмеження в системах інтелектуального діагностування дозволяє підвищити якість отриманих рішень.

2. Створені оптимізаційні моделі ефективно враховують параметри та обмеження ресурсів, необхідних для функціонування систем діагностики. Ці моделі забезпечують збалансований розподіл ресурсів, що сприяє оптимальному використанню кожного компоненту системи.

3. Розроблена технологія моделювання забезпечує комплексний підхід до створення інтелектуальних систем діагностики, інтегруючи всі етапи від збору вимог до впровадження системи в експлуатацію. Технологія дозволяє адаптуватися до динамічних умов і змінювати систему з урахуванням ключових змінних, обмежень та цільової функції оптимізаційної моделі.

4. Використання розробленого програмного інструменту «Optimization modeling of medical diagnosis» у реальних умовах показало його можливість обчислювати параметри моделей, візуалізувати їх у зручному вигляді, а також проводити їх швидке коригування в залежності від специфіки задачі.

Список використаної літератури

1. Teo K.L., Li B., Yu C., Rehbock V. (2021). Elements of Optimal Control Theory. In: Applied and Computational Optimal Control. Springer Optimization and Its Applications, vol. 171. Springer, Cham. Pp. 173-216. DOI10.1007/978-3-030-69913-0_6

2. Zouggar S.T., Adla A. Optimization techniques for machine learning. In: Kulkarni A.J., Satapathy S.C. (eds.) Optimization in Machine Learning and Applications. AIS. 2020. Pp. 31–50. Springer, Singapore.

3. Liu S., Wang L., Wang X., Wiktorsson M. A Framework of Data-Driven Dynamic Optimisation for Smart Production Logistics. IFIP WG 5.7 International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS). Advances in production management systems: towards smart and digital manufacturing, P. 2, Vol. 592. 2020. Pp. 213-221. DOI 10.1007/978-3-030-57997-5_25

4. Salas-Navarro K., Serrano-Pájaro P., Ospina-Mateus H., Zamora-Musa R. Inventory Models in a Sustainable Supply Chain: A Bibliometric Analysis. Sustainability. Vol. 14, Is. 10, Article Number 6003. 2022. DOI 10.3390/su14106003

5. Magnanini M., Melnychuk O., Yemane A., Strandberg H., Ricondo I., Borzi G., Colledani M. A Digital Twin-based approach for multi-objective optimization of short-term production planning. IFAC Papersonline. Vol. 54, Is. 1. 2021. Pp. 140-145. DOI 10.1016/j.ifacol.2021.08.077

6. Shalko M., Lavruk A., Babiak O., Khanina O., Zinchenko V., Melnyk D. Digital decision-making tools in the field of public administration of healthcare. Financial and credit activity-problems of theory and practice. Vol. 6, Is. 53. 2023. Pp. 528-540. DOI 10.55643/fcapter.6.53.2023.4211

7. Datta S., Kapoor R., Mehta P. A multi-objective optimization model for outpatient care delivery with service fairness. Business process management journal. Vol. 29, Is. 3. 2023. Pp. 630-652. DOI 10.1108/BPMJ-07-2022-0335

8. Arabzadeh E., Ghomi F., Karimi B. Multi-period home health care routing and scheduling problem with the medical grouping of patients. Scientia Iranica. Vol. 30, Is. 5. 2023. Pp. 1781-1795. DOI 10.24200/SCI.2021.55625.4318

9. Komlevoi O., Komleva N., Liubchenko V., Zinovatna S. Biological Data Mining and Its Applications in Pulmonology. Proceedings of the 4th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine. Valencia, Spain, November 19 - 21, 2021. Vol.3038. P. 44-53.

10. Ma L., Yabg T. Construction and evaluation of intelligent medical diagnosis Model Based on Integrated Deep Neural Network. Computational intelligence and neuroscience. Vol. 2021, Article № 7171816. 2021. DOI 10.1155/2021/7171816

11. Karthik K., Kamath, S. Deep neural models for automated multi-task diagnostic scan management-quality enhancement, view classification and report generation. Biomedical Physics & Engineering Express. Vol. 8, Is.1, Article № 015011. 2022. DOI 10.1088/2057-1976/ac3add

References

1. Teo, K. L., Li, B., Yu, C., & Rehbock, V. (2021). Elements of optimal control theory. In Applied and Computational Optimal Control. Vol. 171, pp. 173-216. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69913-0_6

2. Zouggar, S. T., & Adla, A. (2020). Optimization techniques for machine learning. In A. J. Kulkarni & S. C. Satapathy (Eds.), Optimization in Machine Learning and Applications, pp. 31-50. Springer, Singapore.

3. Liu, S., Wang, L., Wang, X., & Wiktorsson, M. (2020). A framework of data-driven dynamic optimisation for smart production logistics. In Advances in Production Management Systems: Towards Smart and Digital Manufacturing.

Vol. 592, pp. 213-221. IFIP WG 5.7 International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS). https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5_25

4. Salas-Navarro, K., Serrano-Pájaro, P., Ospina-Mateus, H., & Zamora-Musa, R. (2022). Inventory models in a sustainable supply chain: A bibliometric analysis. *Sustainability*, 14(10), Article 6003. <https://doi.org/10.3390/su14106003>

5. Magnanini, M., Melnychuk, O., Yemane, A., Strandberg, H., Ricondo, I., Borzi, G., & Colledani, M. (2021). A digital twin-based approach for multi-objective optimization of short-term production planning. *IFAC Papersonline*, 54(1), pp. 140-145. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.077>

6. Shalko, M., Lavruk, A., Babiak, O., Khanina, O., Zinchenko, V., & Melnyk, D. (2023). Digital decision-making tools in the field of public administration of healthcare. *Financial and Credit Activity-Problems of Theory and Practice*, 6(53), pp. 528-540. <https://doi.org/10.55643/fcaptop.6.53.2023.4211>

7. Datta, S., Kapoor, R., & Mehta, P. (2023). A multi-objective optimization model for outpatient care delivery with service fairness. *Business Process Management Journal*, 29(3), pp. 630-652. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-07-2022-0335>

8. Arabzadeh, E., Ghomi, F., & Karimi, B. (2023). Multi-period home health care routing and scheduling problem with the medical grouping of patients. *Scientia Iranica*, 30(5), pp. 1781-1795. <https://doi.org/10.24200/SCI.2021.55625.4318>

9. Komlevoi, O., Komleva, N., Liubchenko, V., & Zinovatna, S. (2021). Biological data mining and its applications in pulmonology. In *Proceedings of the 4th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine*. Vol. 3038, pp. 44-53. Valencia, Spain, November 19 - 21, 2021.

10. Ma, L., & Yabg, T. (2021). Construction and evaluation of intelligent medical diagnosis model based on integrated deep neural network. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021, Article 7171816. <https://doi.org/10.1155/2021/7171816>

11. Karthik, K., & Kamath, S. (2022). Deep neural models for automated multi-task diagnostic scan management-quality enhancement, view classification, and report generation. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 8(1), Article 015011. <https://doi.org/10.1088/2057-1976/ac3add>

Д. Я. БЕЙРАК

аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0009-0006-5089-3603

Т. А. ВАКАЛЮК

доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0000-0001-6825-4697

ПІДХОДИ ДО МІЖПРОЦЕСНОЇ КОМУНІКАЦІЇ У ПОБУДОВІ МІКРОСЕРВІСНИХ СИСТЕМ В НАУКОВІЙ ЛІТЕРАТУРІ

Сьогодні продовжує актуалізовуватися питання побудови архітектури мікросервісів, що дозволяє проектувати системи з низькою зв'язністю, які мають низку переваг перед монолітами: можливість горизонтального масштабування, краще розділення системи на складові частини (сервіси), кожен окремий з яких простіше розвинути та підтримувати, можливість більш ефективного використання ресурсів тощо. Зазначені вище та низка інших причин призводять до зростання популярності такого типу архітектури в індустрії, що позначається на виборі архітекторів та інженерів програмного забезпечення стосовно впровадження мікросервісної архітектури як при побудові нових систем, так і у якості вектору розвитку успадкованих монолітних систем, які все частіше переводяться на мікросервіси. Проблематика, що стосується питань проектування мікросервісних систем містить в собі велику кількість різноманітних аспектів, і одним з таких аспектів є вибір типу міжпроцесної комунікації разом із низкою супутніх патернів, технологій та інструментів. Вплив такого вибору неможливо переоцінити: здатність сервісів ефективно обмінюватися даними є основою організації функціональності системи, що водночас має значний вплив і на такі нефункціональні характеристики, як масштабованість, надійність, складність розробки та підтримки тощо. В даній статті розглядаються методи, принципи та інструменти, призначені для організації міжпроцесної комунікації у мікросервісних системах, висвітлюються патерни, що дозволяють зменшувати вплив обмежень та недоліків тих чи інших методів та інструментів, наводяться як усталені в індустрії, так і відомі здебільшого в академічній спільноті принципи та підходи. Зазначені вище аспекти розглядаються в контексті як синхронної, так і асинхронної комунікації, в межах яких присутня власна субкласифікація за типами протоколів, інструментами, супутніми патернами, типом організації розподіленої транзакційності.

Ключові слова: мікросервісна архітектура, міжпроцесна комунікація, моделювання, віддалений виклик процедур, обмін повідомленнями, брокер повідомлень, сага, патерни.

D. YA. BEIRAK

Postgraduate Student at the Department of Software Engineering
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0009-0006-5089-3603

T. A. VAKALIUK

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Head of the Department of Software Engineering
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0000-0001-6825-4697

APPROACHES TO INTER-PROCESS COMMUNICATION IN MICROSERVICE SYSTEMS IN THE SCIENTIFIC LITERATURE

Today, the problem of designing a microservice architecture is becoming more and more relevant. Microservices, which allow building loosely coupled systems, have a number of advantages over monoliths: the possibility of horizontal scaling, better separation of the system into its constituent parts (services), each of which is easier to develop and maintain, the possibility of more efficient use of resources, etc. These and a number of other reasons lead to the growing popularity of this type of architecture in the industry, which influences the choice of architects and software engineers regarding the implementation of microservice architecture both when building new systems and as a vector of development of legacy monolithic systems, which are increasingly transferred to microservices. The issues related to the design of microservice systems contain a large number of different aspects, and one of them is the choice of the type of inter-process communication along with a number of accompanying patterns, technologies, and tools. The impact of such

a choice cannot be overstated: the ability of services to exchange data effectively forms the foundation of business logic organization, which at the same time has a significant impact on such non-functional characteristics as scalability, reliability, and complexity of development and maintenance. This article examines the methods, principles, and tools intended for the organization of inter-process communication in microservice systems, highlights the patterns that allow of reducing the influence of limitations and shortcomings of certain methods and tools, provides principles and approaches both established in the industry and known mostly in the academia. The abovementioned aspects are considered in the context of both synchronous and asynchronous communication, within which there are their own subclasses of the types of protocols, tools, accompanying patterns, and distributed transactions.

Key words: *microservice architecture, inter-process communication, modeling, remote procedure invocation, remote procedure call, messaging, message broker, saga, patterns.*

Постановка проблеми

На сьогоднішній день все більше нових проектів створюється на основі мікросервісної архітектури, а також все більше успадкованих систем переводяться на даний тип архітектури. Серйозного значення набуває питання організації міжпроцесної комунікації, тобто комунікації між окремими сервісами, від якого в значній мірі залежить архітектура системи, її продуктивність, надійність, масштабованість, а також низка інших нефункціональних параметрів, таких як затримка, пропускна здатність, складність розробки та підтримки, можливості моніторингу та тестування тощо. Дані фактори роблять актуальними дослідження наявних підходів та інструментів реалізації міжпроцесної комунікації у контексті побудови мікросервісної архітектури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання міжпроцесної комунікації у контексті мікросервісної архітектури розглядалися в науковій літературі багатьма вченими. Загальні проблеми, а також велику кількість вузьких питань розглядали Кріс Річардсон (Chris Richardson) [1], Сем Ньюман (Sam Newman) [2], Ендрю Таненбаум (Andrew Tanenbaum), Мартен ван Стін (Maarten van Steen) [3], Мартін Клеппман (Martin Kleppmann) [4]. Питання, пов'язані з синхронною комунікацією розглядали Рой Філдінг (Roy T. Fielding) [5], Мартін Фаулер (Martin Fowler) [6], Карл Мастранджело (Carl Mastrangelo) [7], Хуан Крус Віотті (Juan Cruz Viotti), Мітал Кіндерхедія (Mital Kinderkhedya) [8], Лей Чжан (Lei Zhang) [9] та інші. Питання, пов'язані з усуненням перебоїв при синхронній комунікації розглядали Фалаха (Falahah), Кріданто Сурендرو (Kridanto Surendro), Вікан Данар Саніндіо (Wikan Danar Sunindyo) [10], Набор К. Мендонка (Nabor C. Mendonça) [11], Мухаммед Міраж (Muhammad Miraj), Ахмад Нурул Фаджар (Ahmad Nurul Fajar) [12] та інші. Патерни, пов'язані з виявленням сервісів розглядали Баасанджаргал Ерденебат (Baasanjargal Erdenebat), Тамаш Козшік (Tamás Kozsik), Баяржаргал Бад (Bayarjargal Bud) [13], Фікрет Сіврікая (Fikret Sivrikaya) та інші. Питання, пов'язані із асинхронною комунікацією розглядали Джон Мур (John Moore) [14], Омкар Касарлевар (Onkar Kasarlewar), П. С. Десаї (P. S. Desai) [15], Рупалі Арун Джайрандж (Rupali Arun Jairange), А. К. Гупта (A. K. Gupta) [16], Філіп Молл (Philipp Moll) [17], Номаун Ратор (Nomaun Rathore), Шрі Кант (Shri Kant) [18] та інші. Роботи, присвячені порівняльному аналізу брокерів повідомлень, виконували Рокін Махарджан (Rokin Maharjan) [19], Гуо Фу (Guo Fu), Янфен Чжан (Yanfeng Zhang), Же Ю (Ge Yu) [20], Ранджит Хегд (Ranjith Hegde) [21], Шоукат Хоссейн Чай (Showkat Hossain Chy) [22] та інші. Питання, пов'язані з сагами, розглядали Репана Редді Секхар (Repana Reddy Sekhar), Віна Гадад (Veena Gadad) [23], Мустафа Гордслі (Mustafa Gordesli), Ахад Насаб (Ahad Nasab), Асаф Варол (Asaf Varol) [24], Еман Дарагмі (Eman Daraghmi), Ченг-Пу Чжан (Cheng-Pu Zhang), Шیان-Мінг Юань (Shyan-Ming Yuan) [25], Каролін Дюрр (Karolin Dürr), Робін Ліхтенталер (Robin Lichtenthaler), Гвідо Віртц (Guido Wirtz) [26], Мартін Стефанко (Martin Štefanko), Ондрей Чалупка (Ondřej Chaloupka), Бруно Россі (Bruno Rossi) [27] та інші.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є детальний огляд інструментів та підходів до реалізації міжпроцесної комунікації у контексті побудови мікросервісної архітектури.

Викладення основного матеріалу дослідження

Мікросервісні системи є розподіленими за своєю природою, а тому взаємодія між їх складовими частинами (сервісами) відбувається через мережу. Цей факт обумовлює виникнення двох типів комунікації: синхронної та асинхронної. Використання кожного з них тягне за собою застосування найбільш прийнятних патернів, що дозволяють зменшити вплив негативних факторів, які має кожен із даних підходів. Варто також зауважити, що інженери та науковці здебільшого надають перевагу асинхронному підходу, так як він дозволяє досягнути найнижчої зв'язності частин мікросервісної системи, хоча й є архітектурно складнішим, ніж синхронний.

Синхронна комунікація реалізується за допомогою патерну, що має назву «віддалений виклик процедур» (remote procedure invocation, RPI; remote procedure call, PRC). Клієнт, щоб викликати певний функціонал на серверній стороні, повинен зробити мережевий запит та дочекатися відповіді. Хоча очікування відповіді на стороні клієнта може бути як блокуючим, так і неблокуючим, незалежно від цього такий спосіб комунікації є саме синхронним, бо клієнт активно очікує на відповідь [1]. З технічної точки зору, віддалені виклики можуть бути реалізовані суто з використанням протоколу HTTP, проте існує ряд технологій, які дозволяють робити це більш ефективно.

На сьогоднішній день, однією із найпопулярніших технологій реалізації міжпроцесної комунікації залишається REST (representational state transfer – передача репрезентативного стану). В основі даної концепції лежить поняття ресурсу, що зазвичай представляє собою певний об'єкт предметної області, яким можна керувати за допомогою API. Найчастіше така комунікація відбувається через протокол HTTP з використанням його дієслів для диференціації операцій, а у якості відповіді надходить об'єкт JSON або XML, хоча можуть бути застосовані і інші, в тому числі, бінарні формати [1]. На сьогодні запропоновано багато варіацій REST, а також існує багато поглядів та різночитань щодо найбільш правильного визначення даного архітектурного стилю [5]. Леонард Річардсон (Leonard Richardson) запропонував модель зрілості REST [6], яка має важливе значення з точки зору практичного застосування. Дана модель складається з чотирьох рівнів: рівень 0 – клієнти викликають сервіс за допомогою HTTP-запитів POST, а кожен запит вказує на дію, яка має бути виконана над певною зазначеною ціллю (об'єктом, сутністю) з урахуванням певних параметрів; рівень 1 – сервіс реалізує підтримку ресурсів, а клієнт, виконуючи запит POST, вказує лише виконувану дію та параметри; рівень 2 – сервіс використовує методи HTTP для здійснення операцій (GET для отримання, POST для створення, PUT для оновлення, PATCH для часткового оновлення, DELETE для видалення), при цьому параметри передаються через рядок запиту або у тілі запиту; рівень 3 – організація API будується навколо принципу HATEOAS (hypertext as the engine of application state – гіпермедіа як рушій стану додатку), основна ідея якого полягає в тому, що запит GET повертає посилання з операціями, які можуть бути виконані над даним ресурсом [1]. У якості набору правил закріпилося також поняття RESTful-архітектури (тобто архітектури, яка повністю відповідає ідеї REST), які запропонував Чезаре Паутассо (Cesare Pautasso) [3]. До даних правил входять наступні: 1) ресурси повинні ідентифікуватися за допомогою єдиної схеми найменування; 2) усі сервіси мають однаковий інтерфейс, що складається з не більше ніж чотирьох операцій (GET, POST, PUT та DELETE); 3) повідомлення, що надсилаються сервісам або сервісами мають бути повністю самоописаними; 4) після виконання операцій, сервіс забуває про того, хто його викликав.

Альтернативою REST є протокол gRPC, що будується на основі HTTP/2. На відміну від REST, цей протокол є бінарним, підтримує потокову передачу даних та не є обмеженим з позиції кількості доступних HTTP-дієслів. У якості формату повідомлень в gRPC зазвичай використовується мова опису інтерфейсів Protocol Buffers. Робота з Protocol Buffers відбувається таким чином, що на перший план постає опис API, на основі якого генеруються моделі цільовою мовою програмування для серверної та клієнтської частин. Не дивлячись на те, що gRPC підтримує двонаправлену потокову передачу даних, цей протокол залишається синхронним, а тому, як і у випадку REST, такий тип комунікації передбачає використання допоміжних патернів, що дозволяють обробляти випадки часткової невдачі при передачі даних (partial failure), а також вирішувати проблеми виявлення одних сервісів іншими [1].

Протокол gRPC також підтримує інші варіанти серіалізації: протоколи Apache Thrift, Apache Avro, Flatbuffers, Cap'n Proto, а також JSON, або відсутність серіалізації взагалі [7]. Формати Thrift та Protocol Buffers мають схожу внутрішню структуру, хоча, у порівнянні з Thrift, Protocol Buffers не має окремого типу даних для позначення масиви (це виконується за допомогою маркеру «repeated»). Особливістю Apache Avro, у порівнянні з Protocol Buffers та Apache Thrift, є відсутність нумерації полів, що дозволяє використовувати цей протокол серіалізації для генерування динамічних схем [4]. До переваг Flatbuffers та Cap'n Proto відносяться ефективний процес десеріалізації та читання даних, а також невеликий розмір самої бібліотеки з мінімальною кількістю залежностей [8].

Група науковців (Лей Чжан (Lei Zhang) та ін.) запропонувала механізм комунікації – RPCX [9]. В ньому використовуються технології динамічного проксування віддаленого сервісу та конфігурації анотацій, що спрощує API та робить його більш захищеним. Мережева модель комунікації заснована на асинхронній архітектурі фреймворку Netty, а в якості формату передачі даних використовується Protocol Buffers. Такий підхід продемонстрував кращі результати у порівнянні з протоколом gRPC за такими параметрами, як середній час виконання коду та кількість транзакцій в секунду [9].

У розподілених системах також розповсюдженою є проблема коротких мережевих перебоїв, коли недоступний при певному запиті сервіс може стати доступним при наступному зверненні. Для адекватного вирішення таких ситуацій використовують патерн «getuget», який дозволяє надсилати певну кількість повторних запитів з перервами, розраховуючи на те, що проблема, що унеможливила доступ до сервісу, не є систематичною та зникне, якщо повторити запит через невеликий час [2]. Проте, даний патерн не вирішує проблеми в тому випадку, коли низхідний ресурс є недоступним протягом значної кількості часу. У клієнта даного ресурсу накопичуються власні запити, які призводять до неможливості їх виконання, так як потребують звернення до ресурсу, що не відповідає. В такому випадку можливе виникнення каскадного збою, коли непрацездатність одного сервісу спричиняє відмову всієї системи, або значної її частини. Для запобігання такого сценарію застосовується патерн «автоматичний вимикач» (circuit breaker), що спрацьовує після певного періоду часу, який характеризує системну відмову в роботі низхідного ресурсу, та відразу надсилає клієнтам відповідь про помилку впродовж деякого часу [1, 2]. Варто зауважити, що існують варіації реалізації «автоматичного вимикача»: на клієнтській стороні, на серверній стороні, та на стороні проксі (тобто такий, що розгортається окремо) [10].

Хоча розглянуті патерни дуже часто зустрічаються в науковій літературі, існують і інші варіанти забезпечення стійкості до мережевих відмов. Так, патерн «timeout» дозволяє реалізувати механізм відмови очікування будь-якої відповіді взагалі, якщо час очікування перевищує задане значення. Патерн «fallback» дозволяє повернути клієнту запасний, заздалегідь підготовлений, результат, якщо отримати справжній не вдалося. Патерн «hedging» дозволяє виконати деякі додаткові дії, якщо виконання основного запиту займає більший час, ніж очікується: наприклад, запустити ідентичний паралельний запит, виходячи з розрахунку, що один з них виконається раніше, а інший можна буде відкинути [28]. Патерн «bulkhead» дозволяє виділяти частину потоків певного мікросервісу для конкретних «важких» операцій, тим самим забезпечуючи працездатність системи для більш «легких» у випадку, коли на «важкі» прийдеться неочікувано велика кількість запитів [2]. Також широкого вжитку мають такі патерни як «throttling» та «обмеження швидкості» (rate limiting), що обмежують кількість запитів до певного сервісу [29].

Існують дослідження (Набор Мендонка (Nabor S. Mendonça) та ін. [11], Мухаммед Міраж (Muhammad Miraj), Ахмад Нурул Фаджар (Ahmad Nurul Fajar) [12]), які показують, що правильно застосовані патерни, що забезпечують стійкість до відмов, істотно зменшують змагання за володіння ресурсами на клієнтській стороні у порівнянні з більш примітивною реалізацією повторення запитів, а також зменшують час відповіді.

При синхронній комунікації у мікросервісних додатках важливу роль відіграють патерни, пов'язані з виявленням сервісів. Так як дуже незручно, навіть використовуючи протокол DNS, статично задавати або визначати поточні IP-адреси екземплярів сервісів, враховуючи розгортання у хмарному середовищі, необхідність масштабування тощо, використовуються спеціальні механізми динамічного виявлення сервісів. Один із способів це зробити полягає у самореєстрації кожного сервісу на початку його роботи у спеціальному централізованому «реєстрі сервісів» (service registry). Клієнти, перед тим, як надіслати запит тому чи іншому сервісу, роблять запит до реєстру, щоб отримати список екземплярів сервісів, та обирають один з екземплярів за допомогою певного алгоритму балансування навантаження. Такий підхід поєднує в собі, відповідно, патерни «самореєстрація» (self registration) та «виявлення на клієнтській стороні» (client-side discovery).

Інший підхід передбачає реєстрацію сервісів при їх розгортанні на стороні хмарного провайдера реєстратором (registrar), який є частиною інфраструктури. Сервіси-клієнти, при цьому, відразу роблять запити використовуючи DNS-ім'я, яке розв'язується маршрутизатором запитів, який, в свою чергу, опитує реєстр сервісів та виконує балансування навантаження. Відповідно, такий підхід поєднує патерни «реєстрація третьої сторони» (3rd party registration) та «виявлення на серверній стороні» (server-side discovery) [1].

На сьогоднішній день, в цій сфері науковці працюють над такими задачами, як перехід від виявлення сервісів в архітектурі, побудованій з використанням віртуальних машин, до архітектури, побудованої навколо контейнерів (Баасанджаргал Ерденебат (Baasanjargal Erdenebat), Баяржаргал Бад (Bayarjargal Bud) та Тамаш Козшік (Tamás Kozsik) [15]), виявлення сервісів в контексті архітектури IoT (Internet of things – інтернет речей) (Фікрет Сіврикая (Fikret Sivrikeya) та ін. [30]) тощо.

Асинхронна комунікація реалізується у мікросервісних системах за допомогою механізму передачі повідомлень між сервісами. Зазвичай, такі системи використовують брокер повідомлень, який виступає посередником при передачі повідомлення від одного сервісу до іншого, проте існують і варіанти безброкерних архітектур. Концепція повідомлення передбачає наявність заголовку та тіла, а також середовища передачі – каналу, що являє собою абстракцію над інфраструктурою доставки повідомлень. Розрізняють декілька типів повідомлень: документ – загальний тип повідомлень, які приймальна сторона інтерпретує на власний розсуд; команда – еквівалент RPC-запиту, що вказує операцію, яку необхідно виконати, та її параметри; подія – повідомлення, що сповіщає зацікавлені сторони про те, що відбулося дещо визначне (зазвичай це доменні події, які характеризують зміну стану об'єкту предметної області). Щодо каналів, вони поділяються на канали типу «точка-точка» (point-to-point), який доставляє повідомлення до виключно одного споживача, та канали типу «публікація-підписка» (publish-subscribe), які доставляють повідомлення до всіх споживачів, що прослуховують даний канал [1].

Архітектура, що базується на обміні повідомленнями, відкриває можливість асинхронної комунікації, хоча і дає змогу за потреби реалізувати синхронну. Вона дозволяє імплементувати такі способи комунікації, як «асинхронні запит/відповідь» без необхідності блокування клієнта під час очікування відповіді, «односпрямовану комунікацію», що дозволяє надіслати повідомлення одній стороні (тип каналу «точка-точка»), «публікацію-підписку», що дозволяє доставляти повідомлення багатьом споживачам, «публікацію-асинхронну відповідь», що є поєднанням «публікації-підписки» з «асинхронними запитом/відповіддю», а також «pipeline», що дозволяє доставляти повідомлення одному із багатьох потенційних споживачів [1, 3].

Безброкерний варіант асинхронної комунікації дозволяє сервісам виконувати обмін повідомленнями напряму. Однією з популярних технологій такого обміну є ZeroMQ, що водночас є і специфікацією, і бібліотекою, побудованою поверх протоколу TCP [1, 3], на основі якої, в тому числі, створено нові технології, такі як Zest, що використовується для абстрагування ідей протоколу CoAP (Constrained Application Protocol – протокол обмежених додатків), що застосовується в контексті IoT (Джон Мур (John Moore) та ін. [14]). Інші розробки в цьому напрямку стосуються підвищення захищеності безброкерної комунікації типу «публікація-підписка».

Так, в роботі Омкара Касарлевара (Onkar Kasarlewara) та П. С. Десаї (P. S. Desai) [18] був запропонований підхід на основі криптографії на еліптичних кривих та сервера ключів, що збирає їх від видавця та підписника. В роботі науковців Рупалі Арун Джайрандж (Rupali Arun Jairange) та А. К. Гупта (A. K. Gupta) [16] запропоновано варіант з використанням алгоритму шифрування зворотного кола. Також існують розробки даної проблематики в контексті NDN-мереж (Named Data Networking – мережі іменованих даних) (Філіп Молл (Philipp Moll) та ін. [17]) та в контексті блокчейну (Номаун Ратор (Nomaun Rathore) та Шрі Кант (Shri Kant) [21]).

Хоча безброкерна архітектура має свої переваги, такі як менші витрати мережевого трафіку, виключення можливості єдиної точки збою або вузького місця та менша операційна складність, її недоліком є необхідність застосування механізмів виявлення сервісів (як при синхронній архітектурі), зниження доступності системи через те, що як передавач, так і приймач повідомлень мають бути активними в даний момент часу, більша складність в реалізації механізмів гарантованої доставки тощо. Через це широкого використання набули системи, побудовані на основі передачі повідомлень через той чи інший брокер повідомлень. У якості переваг такої комунікації виділяють низьку зв'язність частин системи, гнучкість у виборі певного стилю комунікації та явну для розробника відмінність (яка не створює помилкове відчуття безпеки) від абстрагованого стилю RPC-комунікації, що здебільшого приховує той факт, що виклик відбувається через мережу. У якості недоліків комунікації за допомогою брокера зазначаються додаткові операційні витрати та потенційна наявність єдиної точки відмови або вузького місця [1].

На сьогоднішній день існує велика кількість брокерів повідомлень з низкою акцентів на різні архітектурні та інші характеристики. Серед найбільш розповсюджених можна виділити RabbitMQ (який є імплементацією протоколу AMQP), Apache Kafka, Apache RocketMQ, ActiveMQ Artemis, Apache Pulsar, а також, як варіант реалізації брокера, розглядають відповідні можливості Redis. Крім того, існують хмарні рішення, такі як Amazon SQS, Amazon EventBridge, Azure Storage Queues та Azure Service Bus.

У роботі Рокін Махарджана (Rokin Maharjan) та ін. [19] проведено аналіз чотирьох рішень брокерів повідомлень з наступними результатами. Apache Kafka показав найкращу пропускну здатність (throughput). Redis продемонстрував найнижчий показник затримки (latency). За необхідності забезпечення низької затримки, у випадках, коли можна знехтувати пропускну здатністю, варто звернути увагу на ActiveMQ Artemis або RabbitMQ. В ситуаціях, коли важлива як низька затримка, так і висока пропускну здатність, варто звернути увагу на Apache Kafka, так як за показником затримки цей брокер наближається до Redis [19].

Враховуючи результати порівняльних досліджень інших вчених (Гуо Фу (Guo Fu) та ін. [20], Ранджит Г. Хегде (Ranjith G. Hegde), Нагараджа Г. С. (Nagaraja G. S.) [21], Шоукат Хоссейн Чай (Showkat Hossain Chy) та ін. [22]), можна резюмувати наступне. Apache Kafka, маючи високу пропускну здатність завдяки технології zero-copy, добре підходить для систем реального часу, обробки великих даних (big data), потокової передачі даних, передачі відеоданих, широкомасштабних банківських систем. Проте, так як Apache Kafka завжди використовує запис на диск журналів реального часу та сторінок, зі збільшенням розміру повідомлення в ньому зростає затримка, а зі збільшенням тем (topic) та розділів (partition) ще й споживання ресурсів. RabbitMQ вважається брокером повідомлень загального вжитку. Не будучи таким швидким як Apache Kafka, він має дуже широкий функціонал (пріоритетні черги, черги недоставлених повідомлень (dead-letter queue), час життя повідомлень та черг тощо), який може бути розширеним за допомогою плагінів, а також застосовується у сферах, критичних до відсутності втрати даних. Брокер повідомлень на основі Redis можна використовувати в тих випадках, коли стовідсотковою гарантією доставки можна знехтувати на користь швидкості, тому таке рішення також підходить для сервісів передачі відео, наповнення стрічок соціальних мереж тощо. Також Redis підходить для вбудованих (embedded) систем, які можуть передавати великі об'єми дрібних порцій даних.

Перевагою RocketMQ перед Apache Kafka є те, що зі збільшенням тем не знижується продуктивність його роботи, проте RocketMQ не підходить для сценаріїв обробки великих за об'ємом повідомлень з високою швидкістю надходження без більш тонкого налаштування та використання таких засобів як зворотний тиск (backpressure). ActiveMQ Artemis демонструє найнижчий показник затримки у сценаріях з невеликим навантаженням, проте є вимогливим до ресурсів. Apache Pulsar є найбільш збалансованим інструментом з точки зору динаміки споживання ресурсів (як процесорних потужностей, так і оперативної пам'яті), але платою за це є можливий у ряді сценаріїв використання компроміс за продуктивністю на великих повідомленнях, що пояснюється активною роботою garbage collector, а також підвищена затримка, яка, як і у випадку Apache Kafka, пояснюється постійним записом журналів реального часу та сторінок на диск.

Наступна серія патернів, що розглядається в контексті комунікації в розподілених системах з асинхронною архітектурою, стосується поняття транзакційності. Деякі автори [1, 2] заперечують проти використання механізму розподілених транзакцій, тому що вони здатні принести у проект більше проблем ніж користі, так як їх використання змушує блокувати дані кожного сервісу на час, поки триває транзакція, який є доволі довгим у розподілених системах, а тому це відразу знижує швидкість роботи та доступність системи. Крім того, вони часто не підтримуються сучасними інструментами (сховищами NoSQL та брокерами повідомлень). Проте питання консистентності для операцій, що охоплюють декілька сервісів одночасно все одно має бути певним чином вирішено, тому замість розподілених транзакцій використовують патерн «сага» (saga).

Сага – це набір локальних транзакцій, що разом утворюють велику розподілену транзакцію, та запобігають довготривалим блокуванням даних, яке притаманне розподіленим транзакціям. Також використання саг змушує архітекторів та розробників у явному вигляді моделювати бізнес-процеси, що є їх додатковою перевагою. Питання, що викликає певні труднощі під час використання саг стосується ізоляваності транзакцій. Хоча локальні транзакції цілком можуть бути ACID-транзакціями, вся сага є лише ACD-транзакцією. Це проявляється в тому, що у випадках, коли під час виконання локальної транзакції стається помилка, сага має застосовувати компенсаційні транзакції (compensating transactions), що дозволяють відмінити попередні зміни кожної окремої локальної транзакції. Крім того, локальні транзакції саги мають певним чином координуватися, для чого використовується один з двох механізмів: хореографія (choreography) або оркестрація (orchestration) [1, 2].

Використання хореографії передбачає відсутність координатора, який керував би процесом: учасники саги виконують обмін повідомленнями, підписуються на необхідні та певним чином на них реагують. Фактично, це зводиться до приймання сервісом деякого повідомлення, виконання необхідних операцій, оновлення даних цього сервісу та відправки наступного повідомлення, яке можуть підхопити інші сервіси [1, 2]. Через таку конфігурацію обміну повідомленнями, у літературі зустрічається опис саг, що базуються на хореографії, як таких, що працюють за принципом «довіряй, але перевіряй» (trust-but-verify) [2].

Так як для хореографічних саг важливим є атомарне оновлення бази даних та публікація подій, вони мають використовувати механізми транзакційної відправки повідомлень (transactional messaging), до яких відносяться «публікація подій» (transactional outbox), «видавець опитувань» (polling publisher) та «відслідковування транзакційного журналу» (transaction log tailing). Патерн «публікація подій» передбачає використання бази даних, що підтримує повноцінні ACID-транзакції у якості тимчасової черги повідомлень. Для кожної сутності у базі даних створюється поле, куди потрапляють усі повідомлення, що чекають публікації. Після цього виникає питання вибирання та відправлення даних повідомлень їх споживачам. «Видавець опитувань» є проміжною ланкою між базою даних з повідомленнями та брокером повідомлень, та працює методом опитування (polling): він виконує запит щодо відповідних полів, знаходить повідомлення, які чекають відправки, та видаляє їх після того, як вони були успішно надіслані [1]. Даний підхід є простим у реалізації та добре працює в системах, що не потребують великої масштабованості. З іншого боку, є важчим тестування функціональності, що задіяна в хореографії [1, 23]. Ще одним негативним фактором є потенційна необхідність частого опитування бази даних, яке може виявитися ресурсозатратним. Більш складним, але ефективним рішенням в даному випадку, може виявитися відслідковування журналу транзакцій бази даних, що реалізується відповідним патерном: аналізатор журналу транзакцій читає журнал транзакцій бази даних, аналізує його та перетворює релевантні записи на повідомлення, які публікує у брокер повідомлень [1].

Використання оркестрації передбачає наявність оркестратора – класу, що керує сагою шляхом контролювання процесу її проходження. Сага складається з необхідної кількості кроків, на кожному з яких оркестратор надсилає команду відповідному сервісу, який потім асинхронним чином надсилає відповідь. Базуючись на відповіді, оркестратор приймає рішення про виконання подальших операцій [1, 2]. Така конфігурація обміну повідомленнями характеризується принципом «командуй та контролюй» (command-and-control) [2]. У якості апарату моделювання процесу оркестрації використовують кінцеві автомати, які також можуть бути ефективно протестовані [1].

Оркестровані саги мають перед хореографічними ряд переваг: нижча зв'язність через те, що оркестратор бере на себе частину знань щодо форматів повідомлень, які очікують сервіси (проте з точки зору сервісів системи в цілому, підхід з використанням хореографії не має залежності на оркестратор, що, з цієї позиції, навпаки додає зв'язності оркестрації); покращення розділення обов'язків та спрощення бізнес-логіки завдяки локалізації координуючої логіки в оркестраторі; відсутність можливості виникнення циклічних залежностей. До недоліків можна віднести надмірну централізацію процесу виконання саги, що може стати причиною концентрації значної частини бізнес-логіки в оркестраторі, а також потенційно більшу інфраструктурну складність через наявність додатково сервісу [1, 23]. Однією із рекомендацій, яку можна знайти в науковій літературі є комбінований підхід: написання саг з оркестраторами для складніших випадків, та використання хореографії у простіших сагах [1, 2]. У якості способу позбавлення надмірної централізації рекомендується застосування в ролі оркестратора різних сервісів для різних функціональних сценаріїв [2].

Через те, що транзакційна модель саги, через її розподілену природу, позбавлена ізоляції, перебої у виконанні саги можуть призводити до виникнення аномалій. До них відносяться:

- втрачені оновлення (lost updates) – одна сага перезаписує зміни іншої, не вичитуючи їх при цьому;
- dirty reads – сага читає незавершені оновлення іншої саги;
- нечітке читання (fuzzy reads) – два різних кроки саги читають однакові дані, але отримують різні результати, тому що якась інша сага внесла в них зміни [1].

Задля запобігання або мінімізації зазначених небажаних ефектів, використовують контрзаходи, які можуть виконуватися на певних кроках саги у якості компенсаційних транзакцій, що відмінюють попередні локальні транзакції. До контрзаходів відносяться:

- семантичне блокування (semantic lock) – блокування на рівні додатку за допомогою «прапорців», які про- ставляють у відповідних записих під час створення чи оновлення;
- комутативні оновлення (commutative updates) – проектування операцій оновлення так, щоб їх можна було виконувати у будь-якому порядку;
- pessimistic view – реорганізація кроків саги таким чином, щоб зменшити ризики dirty reads;
- повторне читання (reread value) – впровадження повторного читання записів бази даних перед оновленням для запобігання втрачених оновлень;
- файл версій (version file) – спосіб перетворення оновлень на комутативні: операції над записами у базі даних окремо фіксуються задля того, щоб їх можна було переставити місцями;
- за значенням (by value) – вибір механізму виконання операції (сага або розподілена транзакція) в залежності від контексту запиту, бізнес-ризиків тощо [1].

Часто при реалізації саг використовується відразу декілька контрзаходів, які доповнюють один одного [1].

Науковці Мустафа Гордслі (Mustafa Gördesli), Ахад Насаб (Ahad Nasab) та Асаф Варол (Asaf Varol) пропо- нують у своїй роботі варіацію реалізації механізму відміни локальних транзакцій саги з використанням сервісу контролю відповідей (response control service) [24]. На відміну від хореографічного підходу, в якому сервіси самі відповідають за відміну власних локальних транзакцій при отриманні відповідного повідомлення, та оркестра- ційного підходу, де цим процесом керує оркестратор, автори пропонують винести цей функціонал в окремий сервіс. Цей сервіс підписується на всі повідомлення всіх мікросервісів системи та надсилає результуючі відпо- віді у разі успіху всіх етапів саги; якщо ж під час її виконання виникає помилка, він відповідає за запуск дій, що скасовують зміни на стороні всіх сервісів, які цього потребують, а клієнту відправляє повідомлення з помилкою. Керування транзакціями відбувається за рахунок їх унікальної ідентифікації [24].

Інший варіант боротьби з наслідками відсутності ізоляції транзакцій запропонували Еман Дарагмі (Eman Daraghmi), Ченг-Пу Жанг (Cheng-Pu Zhang) та Шуан-Мінг Юань (Shuan-Ming Yuan) [25]. Вони запропонували застосування кешування даних для усунення проблем з ізоляцією читання даних та уникнення накладних витрат на відміну саги: CRUD-операції спершу виконуються через кеш, а лише потім, після остаточного валідування, фіксуються в локальних базах даних; компенсуючі транзакції, відповідно, теж будуть виконуватися лише на рівні кешу. Остаточна фіксація даних відбувається завдяки сервісу синхронної кінцевої фіксації (eventual commit sync service), який і запускає процес запису в локальні бази даних, коли всі етапи саги пройшли успішно [25].

Наостанок варто зауважити, що вибір одного з наявних фреймворків для реалізації саг може виявитися нетри- віальним. Так, окрім аналізу таких показників, як підтримувані мови програмування, продуктивність та зручність синтаксису, варто врахувати, що не всі фреймворки підтримують реалізацію обох типів саг (наприклад, Netflix Conductor, Samunda та MicroProfile LRA не підтримують хореографічні саги [26]), а інші можуть накладати спе- цифічні умови використання (наприклад, Axon та Eventuate ES вимагають в системі реалізацію патерну CQRS (command and query responsibility segregation – розділення відповідальності командних запитів) [27]).

Висновки

Проаналізувавши наявні на сьогоднішній день підходи до реалізації міжпроцесної комунікації у мікросервіс- ній архітектурі, можна відзначити, що і індустрії існує широкий вибір інструментарію та підходів, які стосуються цієї тематики. Не дивлячись на велику кількість усталених підходів, академічна спільнота працює над їх удо- сконаленням та розвитком, що може виявитися перспективним у майбутньому. Виконуються також дослідження, пов'язані з застосуванням інструментів у різних сценаріях використання, що дозволяє робити більш точний вибір для розв'язання конкретних задач, а також надає зворотний зв'язок розробникам. Таким чином, до перспектив подальших досліджень відносимо подальшу апробацію розглянутих підходів та інструментів, виявлення в них вузьких місць та обмежень, а також отримання зворотного зв'язку від архітекторів та інженерів.

Список використаної літератури

1. Richardson C. *Microservices patterns: with examples in Java*. Shelter Island, New York: Manning Publications, 2019. 490 p.
2. Newman S. *Building microservices: designing fine-grained systems*. Second Edition. Beijing: O'Reilly Media, 2021. 586 p.
3. Steen M. van, Tanenbaum A.S. *Distributed systems*. 4th edition, Version 01 (January 2023). Maarten van Steen, 2023. 669 p.
4. Kleppmann M. *Designing Data-Intensive Applications*. O'Reilly Media, 2017. 611 p.
5. Fielding R.T. et al. Reflections on the REST architectural style and “principled design of the modern web architecture” (impact paper award) // *Proceedings of the 2017 11th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*. Paderborn Germany: ACM, 2017. P. 4–14.
6. Fowler M. Richardson Maturity Model [Electronic resource]. 2010. URL: <https://martinfowler.com/articles/richardsonMaturityModel.html>.

7. Mastrangelo C. gRPC + JSON [Electronic resource]. 2018. URL: <https://grpc.io/blog/grpc-with-json/>.
8. Viotti J.C., Kinderkhedha M. A Survey of JSON-compatible Binary Serialization Specifications: arXiv:2201.02089. arXiv, 2022.
9. Zhang L. et al. High performance microservice communication technology based on modified remote procedure call // *Sci Rep*. 2023. Vol. 13, № 1. P. 12141.
10. Falahah, Surendro K., Sunindyo W.D. Circuit Breaker in Microservices: State of the Art and Future Prospects // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2021. Vol. 1077, № 1. P. 012065.
11. Mendonca N.C. et al. Model-Based Analysis of Microservice Resiliency Patterns // 2020 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA). Salvador, Brazil: IEEE, 2020. P. 114–124.
12. Miraj M., Fajar A.N. Model-Based Resilience Pattern Analysis For Fault Tolerance In Reactive Microservice. Vol. 2022. № 9.
13. Erdenebat B., Bud B., Kozsik T. Challenges in service discovery for microservices deployed in a Kubernetes cluster – a case study // *Infocommunications journal*. 2023. Vol. 15, № Special Issue. P. 69–75.
14. Moore J. et al. Zest: REST over ZeroMQ: arXiv:1902.07009. arXiv, 2019.
15. Kasarlewar O., Desai P.S. Secure Broker-less Publish/Subscribe System using ECC. 2015. Vol. 6.
16. Jairange R.A., Gupta A.K. Secure Brokerless System for Publisher/Subscriber Relationship in Distributed Network. 2016. Vol. 6, № 7.
17. Moll P. et al. Resilient Brokerless Publish-Subscribe over NDN // MILCOM 2021–2021 IEEE Military Communications Conference (MILCOM). San Diego, CA, USA: IEEE, 2021. P. 438–444.
18. Rathore N., Kant S. Enhanced Blockchain Application for Pub-Sub Model // *Advances in Electromechanical Technologies* / ed. Pandey V.C., Pandey P.M., Garg S.K. Singapore: Springer Singapore, 2021. P. 299–311.
19. Maharjan R. et al. Benchmarking Message Queues // *Telecom*. 2023. Vol. 4, № 2. P. 298–312.
20. Fu G., Zhang Y., Yu G. A Fair Comparison of Message Queuing Systems // *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 421–432.
21. Hegde R.G. Low Latency Message Brokers. 2020. Vol. 07, № 05.
22. Chy M.S.H. et al. Comparative Evaluation of Java Virtual Machine-Based Message Queue Services: A Study on Kafka, Artemis, Pulsar, and RocketMQ // *Electronics*. 2023. Vol. 12, № 23. P. 4792.
23. Sekhar R.R., Gadad V. Microservices, Saga Pattern and Event Sourcing: A Survey. 2020. Vol. 07, № 05.
24. Gordesli M., Nasab A., Varol A. Handling Rollbacks with Separated Response Control Service for Microservice Architecture // 2022 3rd International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC). Ankara, Turkey: IEEE, 2022. P. 1–4.
25. Daraghmi E., Zhang C.-P., Yuan S.-M. Enhancing Saga Pattern for Distributed Transactions within a Microservices Architecture // *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, № 12. P. 6242.
26. Dürr K., Lichtenthäler R., Wirtz G. Saga Pattern Technologies: A Criteria-based Evaluation: // *Proceedings of the 12th International Conference on Cloud Computing and Services Science*. Science and Technology Publications, 2022. P. 141–148.
27. Štefanko M., Chaloupka O., Rossi B. The Saga Pattern in a Reactive Microservices Environment: // *Proceedings of the 14th International Conference on Software Technologies*. Prague, Czech Republic: SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 2019. P. 483–490.
28. Resilience strategies [Electronic resource]. URL: <https://www.pollydocs.org/strategies/index.html>.
29. Cloud Design Patterns [Electronic resource]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/>.
30. Sivrikaya F. et al. Internet of Smart City Objects: A Distributed Framework for Service Discovery and Composition // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 14434–14454.

References

1. Richardson C. *Microservices patterns: with examples in Java*. Shelter Island, New York: Manning Publications, 2019. 490 p.
2. Newman S. *Building microservices: designing fine-grained systems*. Second Edition. Beijing: O'Reilly Media, 2021. 586 p.
3. Steen M. van, Tanenbaum A.S. *Distributed systems*. 4th edition, Version 01 (January 2023). Maarten van Steen, 2023. 669 p.
4. Kleppmann M. *Designing Data-Intensive Applications*. O'Reilly Media, 2017. 611 p.
5. Fielding R.T. et al. Reflections on the REST architectural style and “principled design of the modern web architecture” (impact paper award) // *Proceedings of the 2017 11th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*. Paderborn Germany: ACM, 2017. P. 4–14.
6. Fowler M. Richardson Maturity Model [Electronic resource]. 2010. URL: <https://martinfowler.com/articles/richardsonMaturityModel.html>.
7. Mastrangelo C. gRPC + JSON [Electronic resource]. 2018. URL: <https://grpc.io/blog/grpc-with-json/>.

8. Viotti J.C., Kinderkhedha M. A Survey of JSON-compatible Binary Serialization Specifications: arXiv:2201.02089. arXiv, 2022.
9. Zhang L. et al. High performance microservice communication technology based on modified remote procedure call // *Sci Rep.* 2023. Vol. 13, № 1. P. 12141.
10. Falahah, Surendro K., Sunindyo W.D. Circuit Breaker in Microservices: State of the Art and Future Prospects // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2021. Vol. 1077, № 1. P. 012065.
11. Mendonca N.C. et al. Model-Based Analysis of Microservice Resiliency Patterns // 2020 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA). Salvador, Brazil: IEEE, 2020. P. 114–124.
12. Miraj M., Fajar A.N. Model-Based Resilience Pattern Analysis For Fault Tolerance In Reactive Microservice. Vol. 2022. № 9.
13. Erdenebat B., Bud B., Kozsik T. Challenges in service discovery for microservices deployed in a Kubernetes cluster – a case study // *Infocommunications journal.* 2023. Vol. 15, № Special Issue. P. 69–75.
14. Moore J. et al. Zest: REST over ZeroMQ: arXiv:1902.07009. arXiv, 2019.
15. Kasarlewar O., Desai P.S. Secure Broker-less Publish/Subscribe System using ECC. 2015. Vol. 6.
16. Jairange R.A., Gupta A.K. Secure Brokerless System for Publisher/Subscriber Relationship in Distributed Network. 2016. Vol. 6, № 7.
17. Moll P. et al. Resilient Brokerless Publish-Subscribe over NDN // MILCOM 2021 - 2021 IEEE Military Communications Conference (MILCOM). San Diego, CA, USA: IEEE, 2021. P. 438–444.
18. Rathore N., Kant S. Enhanced Blockchain Application for Pub-Sub Model // *Advances in Electromechanical Technologies* / ed. Pandey V.C., Pandey P.M., Garg S.K. Singapore: Springer Singapore, 2021. P. 299–311.
19. Maharjan R. et al. Benchmarking Message Queues // *Telecom.* 2023. Vol. 4, № 2. P. 298–312.
20. Fu G., Zhang Y., Yu G. A Fair Comparison of Message Queuing Systems // *IEEE Access.* 2021. Vol. 9. P. 421–432.
21. Hegde R.G. Low Latency Message Brokers. 2020. Vol. 07, № 05.
22. Chy M.S.H. et al. Comparative Evaluation of Java Virtual Machine-Based Message Queue Services: A Study on Kafka, Artemis, Pulsar, and RocketMQ // *Electronics.* 2023. Vol. 12, № 23. P. 4792.
23. Sekhar R.R., Gadad V. Microservices, Saga Pattern and Event Sourcing: A Survey. 2020. Vol. 07, № 05.
24. Gordesli M., Nasab A., Varol A. Handling Rollbacks with Separated Response Control Service for Microservice Architecture // 2022 3rd International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC). Ankara, Turkey: IEEE, 2022. P. 1–4.
25. Daraghmi E., Zhang C.-P., Yuan S.-M. Enhancing Saga Pattern for Distributed Transactions within a Microservices Architecture // *Applied Sciences.* 2022. Vol. 12, № 12. P. 6242.
26. Dürr K., Lichtenthäler R., Wirtz G. Saga Pattern Technologies: A Criteria-based Evaluation: // *Proceedings of the 12th International Conference on Cloud Computing and Services Science.* Science and Technology Publications, 2022. P. 141–148.
27. Štefanko M., Chaloupka O., Rossi B. The Saga Pattern in a Reactive Microservices Environment: // *Proceedings of the 14th International Conference on Software Technologies.* Prague, Czech Republic: SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 2019. P. 483–490.
28. Resilience strategies [Electronic resource]. URL: <https://www.pollydocs.org/strategies/index.html>.
29. Cloud Design Patterns [Electronic resource]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/>.
30. Sivrikaya F. et al. Internet of Smart City Objects: A Distributed Framework for Service Discovery and Composition // *IEEE Access.* 2019. Vol. 7. P. 14434–14454.

В. О. БУРЕНКО

аспірант кафедри управління проектами
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ORCID: 0000-0002-0862-5879

ГРУПОВІ ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ «РОЗУМНОГО МІСТА»

У даній роботі розглянута проблема вибору транспортних засобів для логістичного забезпечення мультимодальних перевезень пасажирів як така, що має вирішуватися в умовах невизначеності та нечіткості вихідних даних. У виконаних дослідженнях набули подальшого розвитку теоретичні положення групових експертних оцінок на основі метрик з використанням математичного апарату теорії свідочств Демстера-Шефера та кластерного аналізу. Проведено розрахунки значень різних метрик (відстаней Тессема, Джоссельме, Евкліда, Бхаттарія, Ванга), що характеризують міру відмінності між виділеними групами експертних свідочств. На основі розрахунків показано, що вибір метрики є одним з основних факторів, які впливають на результати розбиття вихідної сукупності експертних свідочств і формування підгруп експертів з досить близькими оцінками. Доведено, що у разі використання у якості експертів представників декількох адмінрайонів міста (диспетчерів) та/або компаній-перевізників можуть бути використані додаткові процедури для зближення думок різних підгруп. Або, за умови, що свідочства експертів стійкі та остаточні, можливе проведення агрегування експертних свідочств для кожної підгрупи окремо. В результаті досліджень виконано синтез математичної моделі управління невизначеностями та розробка інноваційної інформаційно-комп'ютерної технології (ІКТ) підтримки прийняття рішень для автоматизованої подачі міського автотранспорту на зупинки. Метод реалізовано на основі підрахунку кількості пасажирів на зупинках за даними ІР-відеоспостереження комп'ютерної системи «Розумне місто».

Ключові слова: обробка інформації в комп'ютерних системах, «Розумне місто», ІР-відеоспостереження, автоматизація подачі міського пасажирського транспорту, групові експертні оцінки, теорія свідочств, метрики, кластеризація, невизначеність.

V. O. BURENKO

Postgraduate Student at the Department of Project Management
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
ORCID: 0000-0002-0862-5879

GROUP EXPERT JUDGMENTS OF INFORMATION PROCESSING IN COMPUTER SYSTEMS OF THE SMART CITY

In this article, the problem of choosing vehicles for logistical support of multimodal transportation of passengers is considered as such, which must be solved in conditions of uncertainty and vagueness of the initial data. In the conducted studies, the theoretical propositions of group expert evaluations based on metrics using the mathematical apparatus of Dempster-Shafer's evidence theory and cluster analysis were further developed. The values of various metrics (Tessema, Josselme, Euclid, Bhattacharya, Wang distances) characterizing the degree of difference between selected groups of expert certificates were calculated. On the basis of calculations, it is shown that the choice of metric is one of the main factors that affect the results of dividing the original set of expert certificates and forming subgroups of experts with fairly close assessments. It has been proven that if representatives of several administrative districts of the city (dispatchers) and/or transport companies are used as experts, additional procedures can be used to bring together the opinions of different subgroups. Or, provided that expert testimony is stable and final, it is possible to aggregate expert testimony for each subgroup separately. As a result of the research, the synthesis of a mathematical model of uncertainty management and the development of innovative information and computer technology (ICT) decision support for the automated submission of city vehicles to stops were performed. The method is implemented on the basis of counting the number of passengers at bus stops based on IP video surveillance data of the "Smart City" computer system.

Key words: information processing in computer systems, "Smart City", IP video surveillance, automatization of city passenger transportation, group expert judgments, evidence theory, metrics, clustering, uncertainty.

Постановка проблеми

При здійсненні обробки інформації в комп'ютерних системах, призначених для автоматизації подачі міського транспорту на основі аналізу наповненості зупинок пасажирами, однією з основних проблем є визначення номерів маршрутів автотранспорту. В такому разі рішення задачі вибору транспортних засобів для логістичного забезпечення мультимодальних перевезень пасажирів виконується в умовах невизначеності та нечіткості вихідних даних. Це пояснюється тим, що на підставі підрахунку кількості пасажирів на зупинках за допомогою зображень

з IP-камер системи «Розумне місто» не можна визначити, за яким саме маршрутом бажають переміщуватись пасажирів на кожній зупинці, і яка кількість людей потребує кожного з номерів маршрутів, що обслуговують аналізуемому зупинку [1].

До того ж в умовах невизначеності та нечіткості вихідних даних мають бути визначені номери маршруток для подачі таким чином, щоб розвантаження зупинок здійснювалося рівномірно на протязі всього маршруту певного номеру. Ситуація ускладнюється тим, що:

- по-перше, довжина маршрутів міського автотранспорту суттєво різняться – від 15 км до 30 км [2];
- по-друге, не на всіх зупинках на теперішній час встановлено IP-камери, оскільки навіть в обласних центрах України системи «Розумне місто» тальки набувають свого розвитку [3; 4];
- по-третє, зупинки міського автотранспорту знаходяться у різних адмінрайонах міста та обслуговуються різними транспортними компаніями. Тобто, рішення про місткість та номер маршруту автотранспорту буде прийматися диспетчерами різних районів та/або різних перевізників.

Таким чином, поставлену задачу можна класифікувати як таку, що може бути вирішена із використанням математичного апарату групових експертних оцінок (ЕО) на основі метрик теорії свідочств [5–7].

Аналіз групових ЕО спрямований, перш за все, на визначення ступеня їх узгодженості, за результатами якої формуються колективні рішення між диспетчерами різних адмінрайонів міста та компаній-перевізників щодо подачі автотранспорту на зупинки в залежності від наповненості їх пасажирями. Проте, досить часто в складі групи експертів присутні такі, чиї оцінки за величиною можуть відрізнятися від оцінок основної групи. Присутність таких оцінок в загальній сукупності групових ЕО порушує її однорідність (узгодженість).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Експертні опитування можуть привести до різних результатів, зважаючи на те, що одні експерти легко висувають нові ідеї, інші схильніші критично аналізувати ідеї інших. У звичайних дискусіях обидві категорії експертів виступають разом і, як правило, заважають одна одній.

В результаті різниці оцінок в загальній сукупності групових ЕО порушує її однорідність (узгодженість). Внаслідок цього виникає задача розбиття експертної групи на кілька підгруп експертів з близькими (узгодженими) оцінками, для подальшого їх аналізу та пошуку агрегованої оцінки [8].

При вирішенні вказаної задачі та вибору відповідних методів її рішення слід враховувати наступні чинники [9]:

- вид шкали експертних вимірювань (номінальна, порядкова, абсолютна, інтервальна та ін.);
- обмеженість кількості експертів n ($n \leq 30$) в групах; різні види НЕ-факторів (неповнота, невизначеність, нечіткість, недостовірність, неоднозначність та ін.), під впливом яких формуються і обробляються експертні свідочства.

Аналіз методів, які можуть бути застосовані для вирішення задачі структуризації (розбиття) групових ЕО на підгрупи, що містять однорідні в певному сенсі ЕО, показав, що їх ефективна реалізація не завжди можлива. Наприклад, при аналізі ЕО, сформованих в рамках числових шкал (абсолютної, бальної), широкого застосування набули:

- методи кластер-аналізу, в основу яких покладено визначення функцій відстані, наприклад, відстань Евкліда, Манхеттенська відстань, відстань Чебишева та ін.;
- кластеризація на основі методів математичного програмування (динамічного, цілочисельного);
- кластеризація на основі оцінювання функцій щільності розподілу ймовірностей.

Для аналізу ЕО, сформованих в шкалах відношень або порядку, можуть бути використані методи кластеризації нечислових даних, наприклад, метод медіани Кемені [10]. Обґрунтований вибір і використання розглянутих методів рішення задачі розбиття групових ЕО з метою пошуку однорідних підгруп, може бути здійснений за умови коректного врахування різних видів НЕ-факторів, що виникають в процесі отримання та обробки експертної інформації [6]. Також необхідно брати до уваги можливу структуру експертних свідочств (узгоджені, сумісні, довільні та ін.), враховувати можливі способи їх взаємодії (перетин, об'єднання, поглинання). Для вирішення зазначеної проблеми ефективні результати можуть бути отримані при використанні метрик теорії свідочств Демпстера-Шефера [11; 12]. Для покращення вимірювання конфліктів у межах системи Демпстера-Шефера необхідно вдосконалювати існуючі та розроблювати нові алгоритми кількісної оцінки міжекспертної схожості та встановлення порогів консенсусу [13]. Безумовно, при існуванні великих множин групових ЕО обчислення заходів довіри може виявитися громіздким [14]. Але слід враховувати, що правило Демпстера використовує суб'єктивні ймовірності на відміну від об'єктивних ймовірностей при застосуванні теореми Байеса, тому обчислювальні витрати будуть значно меншими.

Метою дослідження є синтез математичної моделі управління невизначеностями шляхом подальшого розвитку методу групових ЕО з використанням метрик теорії свідочств та розробка інноваційної інформаційно-комп'ютерної технології (ІКТ) підтримки прийняття рішень з реалізацією зазначеного методу у складі автоматизованої системи подачі міського автотранспорту на основі підрахунку кількості пасажирів на зупинках за даними IP-відеоспостереження комп'ютерної системи «Розумне місто».

Викладення основного матеріалу дослідження

Припустимо, задана множина альтернатив $A = \{A_i \mid i = \overline{1, n}\}$ та група експертів $E = \{E_j \mid j = \overline{1, t}\}$, що здійснюють експертизу. Тоді, за результатами експертного опитування, буде сформована система підмножин $B = \{B_j \mid j = \overline{1, t}\}$, де B_j являє собою 2^A -вимірний вектор, що відображає переваги (вибір) експерта E_j , кожний елемент x_j якого побудовано на основі системи правил виду:

$$\begin{cases} x_j = \{\emptyset\}; \\ x_j = \{\omega_i\} - \text{експертом обрано (оцінено) один елемент } \omega_i \in \Omega; \\ x_j = \{\omega_i \mid i = \overline{1, k}\}, k < n - \text{експертом виділено } k \text{ елементів } \omega_i \in \Omega; \\ x_j = \Omega = \{\omega_i \mid i = \overline{1, n}\} - \text{у експерта виникли труднощі із оцінюванням} \\ \text{вибором (всі елементи множини } \Omega \text{ рівнозначні)}, \end{cases} \quad (1)$$

де \emptyset – порожня множина; Ω – сукупність всіх можливих підмножин; ω_i – підмножина множини Ω .

Необхідно виділити в загальній сукупності ЕО такі підгрупи експертів $E \Rightarrow \{G_1, \{G_2\}, \dots, \{G_j\}, \dots, \{G_t - 1\}\}$ ($G_p \subseteq E, \{G_p\} = \{E_1, \dots, E_r\}, t \geq r \geq 1$), що мають схожу думку (експертні свідчення) та визначити таких E_j , які не належатимуть жодній з таких підгруп, тобто $E_j \not\subseteq G_k, E_j \subseteq G_k$, за умови, що $|G_k| = 1$ (якщо такі мають місце). Будемо вважати, що експертні свідчення, які потрапили до однієї групи $E_j \subseteq G_p, t \geq j \geq 2$ є узгодженими; експертні свідчення $E_j \subseteq G_k, |G_k| = 1$ є нетиповими, тобто такими, що відрізняються (конфлікують) від решти оцінок експертів. Якщо виникає ситуація, при якій утворюється t підгруп, таких, що $\forall G_j : |G_j| = 1 (i = \overline{1, n})$, то немає сенсу проводити подальшу обробку (аналіз) оцінок експертів.

Для вирішення поставленої задачі, застосуємо підхід, що полягає в наступному. Поділ експертної комісії на підгрупи, всередині яких думки експертів можуть бути признані узгодженими відбувається в два послідовних етапи. На першому етапі оцінюється ступінь схожості експертних свідчень. Оскільки експертні свідчення не можна виразити числовим показником, то встановити приналежність вихідних об'єктів (експертів) до будь-яких груп (класів) можна тільки на основі їх подібності між собою. В роботі оцінюється ступінь схожості експертних свідчень на основі метрик теорії свідчень. Таким чином для кожної пари $\langle m_i, m_j \rangle; i, j = \overline{1, t}; i \neq j$ визначаються оцінки однієї з метрик (2)–(7), в яких відстань $d(m_1, m_2) \in [0; 1]$ є мірою відмінності між двома групами свідчень:

а) відстань Тессема (Tessera's distance) [15]:

$$d_T(m_1, m_2) = \max_{A_i \in A} \{|BetP_1(A_i) - BetP_2(A_i)|\}, \quad (2)$$

де пігністична ймовірність $BetP_m(A_i) = \sum_{\substack{B \subseteq A \\ A_i \in B}} \frac{1}{|B|} \frac{m(B)}{(1-m(\emptyset))}$ [16];

б) відстань Джоссельме (Jousselme distance) [16–18]:

$$d_J(m_1, m_2) = \sqrt{\frac{1}{2}(m_1 - m_2)^T D(m_1 - m_2)}, \quad (3)$$

де $(m_1 - m_2)$ – різниця векторів; D – матриця $2^{|\Omega|} \times 2^{|\Omega|}$, елементи якої визначаються як

$$D(B_i, B_j) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } B_i = B_j; \\ S(B_i, B_j), & \forall B_i, B_j \in A \end{cases} \quad (4)$$

в) Евклідова відстань (Euclidean distance) [19]:

$$d_E(m_1, m_2) = \sqrt{\sum_{B \subseteq A} [(m_i(B) - m_j(B))]^2}; \quad (5)$$

г) відстань Бхаттачарія (Bhattacharyya distance) [18; 20]:

$$d_B(m_1, m_2) = \left[1 - \sum_{B \subseteq A} \sqrt{m_i(B) \times m_j(B)} \right]^k, k > 0; \quad (6)$$

д) відстань Ванга (Wang distance) [21]:

$$d_W(m_1, m_2) = \sum_{B \subseteq A} \frac{|m_i(B) - m_j(B)|}{2}. \quad (7)$$

Результати зберігаються у формі матриці парних відстаней, яка є симетричною відносно головної діагоналі виду:

$$\begin{bmatrix} - & d(m_1, m_2) & \dots & d(m_1, m_t) \\ d(m_1, m_2) & - & \dots & d(m_2, m_t) \\ \dots & \dots & - & \dots \\ d(m_2, m_t) & d(m_2, m_t) & \dots & - \end{bmatrix}, \tag{8}$$

де $d(m_i, m_j) = d(m_j, m_i); \forall i, j = \overline{1, t}; i \neq j; t$ – кількість порівнюваних елементів (об’єктів); $d(m_i, m_j)$ – відповідні значення однієї з метрик (2)–(7).

Вибір метрики є одним з основних факторів, що впливають на результати розбиття вихідної сукупності експертних свідочств і формування підгруп експертів з досить близькими оцінками. Як правило, вибір метрики, в достатній мірі є суб’єктивним і визначається експертом (аналітиком) самостійно на основі власного досвіду.

На другому етапі формуються підгрупи експертів $G_p \subseteq E; p = \overline{1, t}$, де $[\cdot]$ відповідає цілій частині. Результуючі підгрупи експертів формуються таким чином, що $E_j \subseteq G_p; j = \overline{1, r}; t \geq r \geq 1$ виконується умова $\forall i, j = \overline{1, t}; i \neq j; l_{p-1} < d(m_i, m_j) \leq l_p$, де l_{p-1}, l_p – деякі заздалегідь відомі порогові значення, які відповідають за приналежність експерта E_j до підгрупи G_r .

Розглянемо приклад практичного застосування запропонованого підходу. Припустимо задана множина вихідних даних (альтернатив) $A = \{A_i | i = \overline{1, n}\}; n = 4$ і група експертів $E = \{E_i | j = \overline{1, t}\}; t = 10$. За результатами проведення експертного опитування сформувалась система підмножин $X_j = \{B_i | i = \overline{1, s}\}; s = 2^{|A|}$, що відображає вибір експертів (експертні переваги, свідочства). Розглянемо ситуацію при якій експертні свідочства задовольняють умові

$$X_1 = X_2 = \dots X_j = \dots = X_m; X_j = 1; \forall j = \overline{1, m}, \tag{9}$$

тобто, всі експерти обрали одну й ту саму альтернативу, як кращий вибір, і признані еквівалентними $B_1 = \{a_1\}, B_2 = \{a_2\}, B_3 = \{a_3\}, B_4 = \{a_4\}$. Результати експертного опитування наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні маси ймовірності виділених підмножин $m_j(A_i)$

Експерт E_j	$m_j(A_1)$	$m_j(A_2)$	$m_j(A_3)$	$m_j(A_4)$
E_1	0,1	0,5	0,3	0,1
E_2	0,2	0,3	0,4	0,1
E_3	0,3	0,2	0,2	0,3
E_4	0,5	0,1	0,1	0,3
E_5	0,1	0,1	0,6	0,2
E_6	0,1	0,3	0,2	0,4
E_7	0,3	0,1	0,4	0,2
E_8	0,3	0,3	0,3	0,1
E_9	0,1	0,2	0,1	0,6
E_{10}	0,1	0,6	0,2	0,1

Сформуємо набір метрик $Q = \{Q_i | i = \overline{1, k}\}; k = 5$, на основі якого дослідимо ступінь відмінності експертних свідочств, та чутливість показника ступеню відмінності (близькості) між групами експертних свідочств m_1 та m_2 до застосованої метрики. Дослідимо можливість застосування наступних метрик: k_1 – відстань Джоссельме; k_2 – відстань Евкліда; k_3 – відстань Ванга; k_4 – відстань Бхаттачарія; k_5 – відстань Тессема. Для визначення порядку їх групування скористаємося методом дальнього сусіда.

Розрахуємо значення метрик (2)–(7), що характеризують міру відмінності між виділеними групами експертних свідочств.

Квадратна матриця (порядку 10) попарних відстаней, отриманих на основі метрики (6), для системи підмножин B , сформованих групою експертів на множині A , наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Попарне представлення значень метрики $d_B(m_k, m_j)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	–	0,158	0,304	0,454	0,333	0,260	0,340	0,199	0,407	0,086
2	0,158	–	0,232	0,371	0,232	0,275	0,201	0,093	0,411	0,227
3	0,304	0,232	–	0,173	0,307	0,188	0,175	0,192	0,247	0,327
4	0,454	0,371	0,173	–	0,432	0,340	0,260	0,305	0,333	0,466
5	0,333	0,232	0,307	0,432	–	0,312	0,192	0,296	0,409	0,409

Продовження таблиці 2

6	0,260	0,275	0,188	0,340	0,312	–	0,296	0,286	0,154	0,275
7	0,340	0,201	0,175	0,260	0,192	0,296	–	0,197	0,373	0,397
8	0,199	0,093	0,192	0,305	0,296	0,286	0,197	–	0,405	0,240
9	0,407	0,411	0,247	0,333	0,409	0,154	0,373	0,405	–	0,409
10	0,086	0,227	0,327	0,466	0,409	0,275	0,397	0,240	0,409	–

Розрахуємо значення міри (10), що відображає ступінь конфлікту між експертом E_j та рештою $(t - 1)$ експертів $E \setminus E_j$ [22]:

$$Conf(i, E) = \frac{1}{t-1} \sum_{i=1; i \neq j}^t Conf(i, j), \tag{10}$$

де $E = \{E_j \mid j = \overline{1, t}\}$ – група експертів, які залучені в конфлікт з експертом E_i .
Результати розрахунків наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Попарне представлення значень метрики $d_B(m_k, m_j)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	0.158	0.304	0.454	0.333	0.26	0.34	0.199	0.407	0.086
2	0.158	-	0.232	0.371	0.232	0.275	0.201	0.093	0.411	0.227
3	0.304	0.232	-	0.173	0.307	0.188	0.175	0.192	0.247	0.327
4	0.454	0.371	0.173	-	0.432	0.34	0.26	0.305	0.333	0.466
5	0.333	0.232	0.307	0.432	-	0.312	0.192	0.296	0.409	0.409
6	0.26	0.275	0.188	0.34	0.312	-	0.296	0.286	0.154	0.275
7	0.34	0.201	0.175	0.26	0.192	0.296	-	0.197	0.373	0.397
8	0.199	0.093	0.192	0.305	0.296	0.286	0.197	-	0.405	0.24
9	0.407	0.411	0.247	0.333	0.409	0.154	0.373	0.405	-	0.409
10	0.086	0.227	0.327	0.466	0.409	0.275	0.397	0.24	0.409	-

Аналізуючи дані табл. 4 можна дійти до висновку, про те, що незалежно від обраної метрики свідощтва експерта E_9 є самими конфліктними по відношенню до свідощтв решти експертної групи (рівень конфлікту між експертом E_9 та рештою експертної групи коливається в діапазоні [0,35; 0,53], в залежності від застосованої метрики, та його значення є суттєвим).

Метрика (7) – відстань Ванга – виділяє експерта E_4 з таким самим показником рівня конфлікту як і у E_9 . Найменш конфліктними по відношенню до решти групи експертів признані оцінки експерта E_3 , рівень конфлікту коливається в діапазоні [0,238; 0,339] (окрім метрики (2) – відстані Тессема). Метрика (7) виділяє експертів E_3 , E_8 з найменшим рівнем конфлікту; метрика (2) – експертів E_2 та E_8 .

Таблиця 4

Значення міри $Conf(E_j, E)$

$Conf(E_j, E)$	Відстань Джоссельме	Відстань Евкліда	Відстань Ванга	Відстань Бхатгачарія	Відстань Тессема
$Conf(E_1, E)$	0,290	0,411	0,344	0,282	0,311
$Conf(E_2, E)$	0,245	0,347	0,300	0,244	0,256
$Conf(E_3, E)$	0,240	0,339	0,289	0,238	0,267
$Conf(E_4, E)$	0,350	0,496	0,433	0,348	0,356
$Conf(E_5, E)$	0,349	0,493	0,378	0,325	0,378
$Conf(E_6, E)$	0,267	0,377	0,311	0,265	0,289
$Conf(E_7, E)$	0,266	0,377	0,322	0,270	0,289
$Conf(E_8, E)$	0,241	0,341	0,289	0,246	0,256
$Conf(E_9, E)$	0,375	0,530	0,433	0,350	0,422
$Conf(E_{10}, E)$	0,343	0,485	0,367	0,315	0,378

Результуючі підгрупи експертів формувалися за умови, що $0 < d(m_k, m_j) \leq 0,3$, що передбачає низький рівень відмінності між групами свідощтв m_k та m_j , і дозволяє зробити припущення про те, що всередині виділених підгруп оцінки експертів є узгодженими.

За результатами сформованого розбиття вихідної сукупності оцінок групи експертів $E = \{E_i \mid i = \overline{1, t}\}$ виділені наступні підгрупи експертів:

1) відстань Джоссельме:

$G_1 = \{E_2, E_5, E_7, E_8\}$ – при формуванні групи максимальний ступінь відмінності досягається при об'єднанні підгруп $\{E_2, E_7, E_8\}$ та $\{E_5\}$, та сягає значення $d_J(m_k, m_j) = 0,3$; мінімальний ступінь відмінності досягається при об'єднанні підгруп $\{E_2\}$ та $\{E_8\}$ при $d_J(m_i, m_j) = 0,1$.

$G_2 = \{E_1, E_{10}\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_J(m_k, m_j) = 0,1$.

$G_3 = \{E_3, E_4\}$ та $G_4 = \{E_6, E_9\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_J(m_k, m_j) = 0,173$;

2) відстань Евкліда:

$G_1 = \{E_2, E_7, E_8\}$ – при формуванні групи максимальний ступінь відмінності досягається при об'єднанні підгруп $\{E_2, E_8\}$ та $\{E_7\}$, та сягає значення $d_E(m_k, m_j) = 0,245$.

$G_2 = \{E_1, E_{10}\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_E(m_k, m_j) = 0,141$.

$G_3 = \{E_3, E_4\}$ та $G_4 = \{E_6, E_9\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_E(m_k, m_j) = 0,245$.

$G_5 = \{E_5\}$ – найближчою підгрупою є $\{E_2, E_7, E_8\}$, $d_E(m_{G1}, m_{G5}) = 0,424$;

3) відстань Ванга:

$G_1 = \{E_2, E_7, E_8\}$ – при формуванні групи максимальний ступінь відмінності досягається при об'єднанні підгруп $\{E_7\}$ та $\{E_2, E_8\}$, та сягає значення $d_W(m_k, m_j) = 0,2$.

$G_2 = \{E_1, E_{10}\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_W(m_k, m_j) = 0,1$.

$G_3 = \{E_3, E_4\}$ та $G_4 = \{E_6, E_9\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_W(m_k, m_j) = 0,2$; об'єднання цих підгруп може бути здійснено при $d_W(m_k, m_j) = 0,4$.

$G_5 = \{E_5\}$ – найближчою підгрупою є підгрупа $\{E_1, E_{10}\}$, $d_E(m_{G2}, m_{G5}) = 0,4$;

4) відстань Бхаттачарія:

$G_1 = \{E_1, E_2, E_8, E_{10}\}$ – при формуванні групи максимальний ступінь відмінності досягається при об'єднанні підгруп $\{E_1, E_{10}\}$ та $\{E_2, E_8\}$, та сягає значення $d_B(m_i, m_j) = 0,24$; мінімальний ступінь відмінності досягається при об'єднанні підгруп $\{E_2\}$ та $\{E_8\}$ при $d_B(m_i, m_j) = 0,086$.

$G_2 = \{E_5, E_7\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_B(m_i, m_j) = 0,192$.

$G_3 = \{E_3, E_4\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_B(m_i, m_j) = 0,173$.

$G_4 = \{E_6, E_9\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_B(m_i, m_j) = 0,154$;

5) відстань Тессема:

$G_1 = \{E_2, E_3, E_4, E_7, E_8\}$ – при формуванні групи максимальний ступінь відмінності досягається при об'єднанні підгруп $\{E_2, E_3, E_7, E_8\}$ та $\{E_4\}$, та сягає значення $d_T(m_i, m_j) = 0,3$; мінімальний ступінь відмінності досягається при об'єднанні підгруп $\{E_2\}$ та $\{E_8\}$ при $d_T(m_i, m_j) = 0,1$.

$G_2 = \{E_1, E_{10}\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_T(m_i, m_j) = 0,1$.

$G_3 = \{E_6, E_9\}$ – ступінь відмінності сягає значення $d_T(m_i, m_j) = 0,2$.

$G_4 = \{E_5\}$ – ступінь відмінності між $\{E_5\}$ та $\{E_1, E_2, E_3, E_4, E_6, E_7, E_8\}$ сягає значення $d_T(m_i, m_j) = 0,5$.

За результатами отриманих даних можна дійти до висновку, що незалежно від застосованої метрики, відокремлюється підгрупа $\{E_6, E_9\}$ зі значенням ступеню відмінності, який коливається у межах від 0,154 до 0,245 (в залежності від обраної метрики). Результати, отримані за метриками (5) – відстань Евкліда – та (7) – відстань Ванга, – співпадають. Відмінність полягає у кількісних значеннях показника $d(m_i, m_j)$ для цих метрик.

Метрики (3), (5), (6) та (7) виділяють підгрупу $\{E_3, E_4\}$ зі значенням ступеню відмінності, який коливається в межах від 0,173 до 0,245 (в залежності від обраної метрики). Метрика (2) відносить цю підгрупу до підгрупи $\{E_2, E_3, E_4, E_7, E_8\}$:

– $\{E_4\}$ об'єднується із $\{E_2, E_3, E_7, E_8\}$ при $d_T(m_i, m_j) = 0,3$;

– $\{E_3\}$ об'єднується із $\{E_2, E_7, E_8\}$ при $d_T(m_i, m_j) = 0,2$.

Метрики (2), (3), (5) та (7) виділяють підгрупу $\{E_1, E_{10}\}$ зі значенням ступеню відмінності, який коливається в межах від 0,1 до 0,141 (в залежності від обраної метрики). Метрика (5) відносить підгрупу $\{E_1, E_{10}\}$ до підгрупи $\{E_1, E_2, E_8, E_{10}\}$: $\{E_1, E_{10}\}$ та $\{E_2, E_8\}$ об'єднуються при $d_B(m_i, m_j) = 0,24$.

Метрики (2), (5) та (7) виділяють підгрупу $\{E_5\}$ зі значенням ступеню відмінності, який коливається в межах від 0,4 до 0,5 (в залежності від обраної метрики).

Таким чином, при встановлених граничних значеннях $d(m_k, m_j)$, експертна комісія була розбита на ряд підгруп $E \Rightarrow \{G_1, G_2, G_3, G_4, G_5\}$, які містять близькі, в певному сенсі, значення, де $G_1 = \{E_2, E_7, E_8\}$; $G_2 = \{E_1, E_{10}\}$; $G_3 = \{E_3, E_4\}$; $G_4 = \{E_6, E_9\}$; $G_5 = \{E_5\}$. В аналізованому прикладі граничне значення, що відповідає за оптимальну кількість підгруп, $d(m_k, m_j)$ було прийнятим 0,3, що, в свою чергу, передбачає низький рівень відмінності між групами експертних свідств m_k та m_j , всередині виділеної групи G_i .

Висновки

Розглянута у роботі проблема вибору транспортних засобів для логістичного забезпечення мультимодальних перевезень пасажирів є задачею, що вирішується в умовах невизначеності та нечіткості вихідних даних.

У виконаних дослідженнях набули подальшого розвитку теоретичні положення групових експертних оцінок на основі метрик з використанням математичного апарату теорії свідочств та кластерного аналізу. Доведено, що у разі використання у якості експертів представників (диспетчерів подачі міського транспорту) декількох адмінрайонів міста та/або компаній-перевізників можуть бути використані додаткові процедури для зближення думок різних підгруп. Якщо свідочства експертів стійкі і остаточні – тобто, сформовані з урахуванням позицій всіх учасників процесу, – можливе проведення агрегування експертних свідочств для кожної підгрупи окремо.

Робота виконана за підтримки Міносвіти та науки України в межах держбюджетної науково-дослідної роботи № держ. реєстрації 0117U007144.

Список використаної літератури

1. Буренко В. О. Аналіз наповненості зупинок пасажирського транспорту за допомогою алгоритмів обробки зображень з IP-камер «розумного міста». *Вісник Хмельн. нац. ун-ту*. 2023. Т. 1, № 5. С. 47–52. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-325-5>.
2. Актуальна інформація про громадський транспорт України. *EasyWay*: вебсайт. URL: <https://www.eway.in.ua/ua/cities/mykolaiv/routes> (дата звернення: 14.04.2024).
3. Маркевич К., Сіденко В. Smart-інфраструктура у сталому розвитку міст: Світовий досвід та перспективи України. Київ: Центр Разумкова; Заповіт, 2021. 400 с. URL: <https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTI-SITE.pdf> (дата звернення: 14.04.2024).
4. Мураєв С. В. Український досвід впровадження концепції смарт-міст: основні досягнення та проблеми. *Вісник Хмельн. нац. ун-ту*. 2020. № 2. С. 91–96. DOI: 10.31891/2307-5740-2020-280-2-17.
5. Kovalenko I. I., Shved A. V. Clustering of group expert estimates based on measures in the theory of evidence. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016, № 4. С. 71–77.
6. Kovalenko I., Shved A. Development of a technology of structuring group expert judgments under various types of uncertainty. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. 2018. № 3/4 (93). С. 60–68. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133299.
7. Davydenko Ye. O., Shved A. V., Honcharova N. V. Development of technique for structuring of group expert assessments under uncertainty and inconcistency. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2023. № 4. P. 30–38. DOI: 10.15588/1607-3274-2023-4-3.
8. Рудень В. В., Гутор Т. Г. Методика проведення та оцінки результатів експертних оцінок. *Український медичний часопис*. 2011. № 2 (82)–III/IV. С. 31–34.
9. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень. Київ: Маклаут, 2008. 444 с.
10. Soltanifar M., Sharafi H., Lotfi F. H., Pedrycz W., Allahviranloo T. Preferential voting and applications: Approaches based on data envelopment analysis. Springer, 2023. 185 p.
11. Снитюк В. Є., Гнатієнко Г. М. Оптимізація процесу оцінювання в умовах невизначеності на основі структуризації предметної області та аксіоми незміщеності. *Штучний інтелект*. 2008. № 3. С. 217–223.
12. Shafer G. A. A mathematical theory of evidence. Princeton, NJ, United States: Princeton University, Dec. 1976. DOI:10.1515/9780691214696.
13. Liu Qia., Liu Qin., Wang M. Sustainable decision-making enhancement: trust and linguistic-enhanced conflict measurement in evidence theory. *Sustainability*. Mar. 2024. Vol. 16 (6):2288. DOI: 10.3390/su16062288.
14. Wang X., Qin J. Multimodal recommendation algorithm based on Dempster-Shafer evidence theory. *Multimedia Tools and Applications*. Sept. 2023. Vol. 83, Is. 10. P. 1–16. DOI:10.1007/s11042-023-15262-8.
15. Zhang Z., Xiao F. An information-volume-based distance measure for decision-making. *Chinese Journal of Aeronautics*. May 2023. Vol. 36, Is. 5. P. 392–405. DOI: 10.1016/j.cja.2022.11.007.
16. Топольницький М. В., Шишацький А. В. Метод комплексування об'єктивних та суб'єктивних даних на основі теорії свідчень Демпстера–Шейфера. *Сучасні аспекти модернізації науки: стан, проблеми, тенденції розвитку*: матеріали XXI-ої Міжнародної наук.-практ. конф., Дебрецен, Угорщина, 07 червня 2022 р. С. 107–112.
17. Jousselme A.-L., Maupin P. Distances in evidence theory: Comprehensive survey and generalizations. *International Journal of Approximate Reasoning*. Feb. 2012. Vol. 53, Is. 2. P. 118–145.
18. Jie Z., Rui X., Zhenning D., Deyu T., Wenhong W. Evaluating the reliability of sources of evidence with a two-perspective approach in classification problems based on evidence theory. *Information Sciences*. 2020. Vol. 507. P. 313–338. DOI: 10.1016/j.ins.2019.08.033.
19. Han D. Q., Deng Y., Han C. Z., Yang Yi. Some notes on betting commitment distance in evidence theory. *Science China. Information Sciences*. 2012. Vol. 55. P. 558–565. DOI: 10.1007/s11432-011-4541-z.
20. Xiahou T., Zeng Z., Liu Yu, Huang H.-Z. Measuring conflicts of multisource imprecise information in multistate system reliability assessment. *IEEE Transactions on Reliability*. July 2021. Vol. 99. P. 1–18. DOI: 10.1109/TR.2021.3087531.
21. Zhu Jin., Luo Yu., Zhou Jia. Sensor reliability evaluation scheme for target classification using belief function theory. *Sensors*. 2013. Vol. 13. P. 17193–17221. DOI: 10.3390/s131217193.
22. Martin A., Jousselme A. L., Osswald C. Conflict measure for the discounting operation on belief functions. Proc. of the 11th Internat. Conf. on Information Fusion (*FUSION 2008*). Cologne, Germany, 30 June–3 July 2008. P. 1–8.

References

1. Burenko V. O. (2023) Analiz napovnenosti zupynok pasazhyrskoho transportu za dopomohoiu alhorytmiv obrobky zobrazen z IP-camer «rozumnoho mista» [Analysis of the occupancy of passenger transport stops using image processing algorithms from IP cameras of the "Smart city"]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, vol. 1, no. 5, pp. 47–52. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-325-5>. (in Ukrainian)
2. EasyWay Team (2024) Aktualna informacia pro hromadskyj transport Ukrainy [Actual information about public transport of Ukraine]. *EasyWay* : web site. Retrieved from: <https://www.eway.in.ua/ua/cities/mykolaiv/routes> (accessed 14 April 2024).
3. Markevych K., Sidenko V. (2021) *Smart-infrastruktura u stalomu rozvytku mist: Svitovi dosvid ta perspektyvy Ukrainy* [Smart infrastructure in the sustainable development of cities: World experience and prospects of Ukraine]. Kyiv: Razumkov Center; Zapovit, 2021. (in Ukrainian)
4. Muraiev Ye. V. (2020) Ukrainyskyi dosvid vprovadzhennia kontsepcii smart-mist: osnovni dosiahnennia ta problemy [Ukrainian experience of implementing the concept of Smart cities: main achievements and problems]. *Herald of Khmelnytskyi National University*, no. 2, pp. 91–96. DOI: 10.31891/2307-5740-2020-280-2-17. (in Ukrainian)
5. Kovalenko I. I., Shved A. V. (2016) Clustering of group expert estimates based on measures in the theory of evidence. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 4, pp. 71–77.
6. Kovalenko I., Shved A. (2018) Development of a technology of structuring GE judgments under various types of uncertainty. *East. European Jnl of Adv. Technol.*, no. 3/4 (93), pp. 60–68. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133299.
7. Davydenko Ye. O., Shved A. V., Honcharova N. V. (2023) Development of technique for structuring of group expert assessments under uncertainty and inconsistency. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, no. 4. pp. 30–38. DOI: 10.15588/1607-3274-2023-4-3.
8. Ruden V. V., Hutor T. H. (2011) Metodyka provedennia ta otsinky rezultativ ekspertnykh otsinok [Methods of conducting and evaluating the results of expert evaluations]. *Ukr. Med. Jnl*, no. 2 (82)–III/IV, pp. 31–34. (in Ukrainian)
9. Hnatiienko H. M., Snytiuk V. Ye. (2008) *Ekspertni tekhnologii pryiniattia rishen* [Expert decision-making technologies]. Kyiv: McLaut. (in Ukrainian)
10. Soltanifar M., Sharafi H., Lotfi F. H., Pedrycz W., Allahviranloo T. (2023) *Preferential voting and applications: Approaches based on data envelopment analysis*. Berlin, Germany: Springer.
11. Snytiuk V. Ye., Hnatiienko H. M. (2008) Optymizatsiia protsesu otsiniuvannia v umovakh nevyznachenosti na osnovi strukturyzatsii predmetnoi oblasti ta aksiomy nezmishchenosti [Optimization of the evaluation process under conditions of uncertainty based on the structuring of the subject area and the axiom of immutability]. *Artificial Intelligence*, no. 3, pp. 217–223. (in Ukrainian)
12. Shafer G. A. (Dec. 1976) *A mathematical theory of evidence*. Princeton, NJ, United States: Princeton University. DOI:10.1515/9780691214696.
13. Liu Qia., Liu Qin., Wang M. (Mar. 2024) Sustainable decision-making enhancement: trust and linguistic-enhanced conflict measurement in evidence theory. *Sustainability*, vol. 16 (6):2288. DOI: 10.3390/su16062288.
14. Wang X., Qin J. (Sept. 2023) Multimodal recommendation algorithm based on Dempster-Shafer evidence theory. *Multimedia Tools and Applications*, vol. 83, no. 10, pp. 1–16. DOI:10.1007/s11042-023-15262-8.
15. Zhang Z., Xiao F. (May 2023) An information-volume-based distance measure for decision-making. *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 36, no. 5, pp. 392–405. DOI: 10.1016/j.cja.2022.11.007.
16. Topolnytskyi M. B., Shyshatskyi A. B. Metod kompleksuvannia obiektyvnykh ta subiektyvnykh danykh na osnovi teorii svidchen Dempstera–Sheifera [The method of combining objective and subjective data based on the Dempster-Shafer theory of evidence]. *Modern aspects of the modernization of science: state, problems, development trends* : Proc. of the XXI Internat. Sci.-Pract. Conf., Debrecen, Hungary, 07 June 2022, pp. 107–112. (in Ukrainian)
17. Jousselme A.-L., Maupin P. (Feb. 2012) Distances in evidence theory: Comprehensive survey and generalizations. *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 53, no. 2, pp. 118–145.
18. Jie Z., Rui X., Zhenning D., Deyu T., Wenhong W. (2020) Evaluating the reliability of sources of evidence with a two-perspective approach in classification problems based on evidence theory. *Information Sciences*, vol. 507, pp. 313–338. DOI: 10.1016/j.ins.2019.08.033.
19. Han D. Q., Deng Y., Han C. Z., Yang Yi. (2012) Some notes on betting commitment distance in evidence theory. *Science China. Information Sciences*, vol. 55, pp. 558–565. DOI: 10.1007/s11432-011-4541-z.
20. Xiahou T., Zeng Z., Liu Yu, Huang H.-Z. (July 2021) Measuring conflicts of multisource imprecise information in multistate system reliability assessment. *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 99, pp. 1–18. DOI: 10.1109/TR.2021.3087531.
21. Zhu Jin., Luo Yu., Zhou Jia. (2013) Sensor reliability evaluation scheme for target classification using belief function theory. *Sensors*, vol. 13, pp. 17193–17221. DOI: 10.3390/s131217193.
22. Martin A., Jousselme A. L., Osswald C. (2008) Conflict measure for the discounting operation on belief functions. Proc. of the 11th Internat. Conf. on Information Fusion (*FUSION 2008*), Cologne, Germany, 30 June–3 July 2008, pp. 1–8.

A. V. VASHCHENKO

Student

Kherson National Technical University

ORCID: 0009-0007-9941-7947

ІЕ. А. ДРОЗДОВА

Senior Lecturer at the Department of Computer Systems and Networks

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0003-0276-6387

О. О. ПРЯКОДКО

Senior Lecturer at the Department of Specialized Translation

and Foreign Languages

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-8732-3659

DETERMINING OPTIMAL COMPRESSION ALGORITHM FOR FILES OF DIFFERENT FORMATS

The aim of the article is to highlight possible areas of the use of compression algorithms in various fields. The article investigates the efficiency of the compression of files of different formats and provides recommendations on the optimal compression algorithms for specific scenarios.

The research was carried out empirically: compression algorithms were implemented at the software level, the programs were used to compress files of various formats, the size of the resulting files was determined, and a comparison of the efficiency of the methods was made.

Research results. The article presents a table of file sizes after compression using different compression algorithms, calculates compression ratios for each case, determines the average compression ratios for each compression algorithm, analyses the efficiency of compression algorithms, and identifies the optimal compression algorithms for files of different formats.

The scientific novelty of this work is an integrated approach to comparing compression algorithms by compression ratios on different file formats and the study of the combination of Huffman and LZ78 algorithms, which has not been widely studied before. This allows us to gain a deeper understanding of the process of compressing files of different formats and identify effective algorithms for specific data types. The analysis can contribute to the development and improvement of file compression methods and have practical applications in various fields, such as data storage and transmission, file compression, and improving the performance of information processing systems.

The practical significance of the work lies in its potential usefulness for various fields. It provides recommendations and conclusions on the selection of efficient file compression algorithms for different file formats. This can have a positive impact on data storage and transmission, data processing speed, software development, and multimedia data. Using optimal compression algorithms helps reduce file size, saves resources, and improves user experience.

Key words: algorithm, compression, encoding, Shannon-Fano, Huffman, RLE, LZ78.

А. В. ВАЩЕНКО

студент

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0009-0007-9941-7947

С. А. ДРОЗДОВА

старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0003-0276-6387

О. О. ПРИХОДЬКО

старший викладач кафедри галузевого перекладу та іноземних мов

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-8732-3659

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМУ СТИСНЕННЯ ДЛЯ ФАЙЛІВ РІЗНОГО ФОРМАТУ

Метою статті є висвітлення можливих напрямків використання алгоритмів стиснення у різних сферах. У статті описується дослідження ефективності стиснення файлів різного формату та надаються рекомендації щодо оптимальних алгоритмів стиснення для конкретних сценаріїв.

Дослідження проводилися емпіричним методом: було на програмному рівні реалізовано алгоритми стиснення, стиснуто файли, визначено розмір отриманих файлів і зроблено порівняння щодо ефективності методів.

Основні результати досліджень: у статті представлено таблицю розмірів файлів після стиснення за різними алгоритмами стиснення, підраховано коефіцієнти стиснення для кожного випадку, було визначено середні коефіцієнти стиснення для кожного алгоритму стиснення, проведено аналіз ефективності алгоритмів стиснення та визначено оптимальні алгоритми стиснення для файлів різного формату.

Наукова новизна даної роботи полягає у комплексному підході до порівняння алгоритмів стиснення за коефіцієнтами стиснення на різних форматах файлів та дослідження поєднання алгоритмів Хаффмана та LZ78, що раніше не було широко досліджено. Це дозволяє отримати більш глибоке розуміння процесу стиснення файлів різного формату та виявити ефективні алгоритми для конкретних типів даних. Наукова робота може сприяти розвитку та вдосконаленню методів стиснення файлів і мати практичне застосування у різних областях, таких як зберігання та передача даних, стиснення файлів і покращення продуктивності систем обробки інформації.

Практична значимість цієї роботи полягає у її потенційній користі для різних сфер. Вона надає рекомендації та висновки щодо вибору ефективних алгоритмів стиснення файлів різного формату. Це може мати позитивний вплив на зберігання та передачу даних, швидкість обробки даних, розробку програмного забезпечення та роботу з мультимедійними даними. Застосування оптимальних алгоритмів стиснення допомагає зменшити обсяг файлів, економить ресурси та поліпшує користувацький досвід.

Ключові слова: алгоритми, стиснення, кодування, Шеннон-Фано, Хаффман, RLE, LZ78.

Problem statement

Every year, the amount of digital information generated and processed is growing. This leads to the need to increase the capacity of data storage and increase the bandwidth in computer networks.

Although the modernization of computer networks and storage systems is inevitable, it is possible to use these systems rationally to avoid unnecessary modernization costs.

One solution to this problem is data compression. Data compression is the process of converting input data into a smaller volume that can be more conveniently stored and transmitted.

Data compression is an important element in the storage and transmission of information in the modern world. By compressing data, you can reduce the amount of information that needs to be stored or transmitted, thereby reducing storage costs and increasing data transfer speeds. Data compression is essential in industries where data processing, storage, and transmission are important. It helps to reduce the amount of data, save disk space, and reduce the cost of data storage and transmission. Today, data compression is used in all industries and in everyday life, although the end user may not think about it.

Existing data compression methods can be divided into two groups: lossless compression methods and lossy compression methods [1].

Lossless compression methods are compression methods where the encoded data can be recovered with bit accuracy. These methods can be used to compress any kind of data: video, audio, text, programs, etc.

Lossless compression methods are versatile because they allow you to compress both important documents that must be identical to the original version after decompression and multimedia. Although complex methods that combine lossy and lossless compression are usually used to compress multimedia data, lossless compression alone guarantees the maximum quality of this data after decompression, so this approach is also common and used.

The peculiarity of lossy compression methods is the impossibility of full data recovery. These methods are used when it is acceptable to have a difference between the data before compression and after decompression. Usually, the scope of lossy compression methods is limited to the compression of photo, video, and audio data.

It should be noted that it is impossible to compress data indefinitely. In the case of using lossy compression methods, information will be lost and its amount will tend to be zero. When using lossless compression methods, in the best-case scenario, the average code length can reach the value of the source entropy. But in practice, after several iterations of compression, the file may start to "grow", because, for example, in the case of Shannon-Fano encoding, the file must store not only the encoded sequence but also the data for reconstructing the binary tree that will be needed for decoding, as well as additional bits that are not used at all. Since the smallest unit of addressing is a byte, the sequence must be supplemented with bits to write to disk so that the total number of bits is a multiple of 8 and can be written as bytes.

Research publications

The analysis of research and publications comparing the efficiency of Shannon-Fano, Huffman, RLE, and LZ78 compression methods gives us important conclusions about their properties and applications.

Data compression is an important stage in the processing and transmission of information, especially in conditions of limited resources or limited bandwidth. The optimal data compression method depends on the specific context, such as the type of data, its properties, and size [2].

Studies show that the Huffman method is effective for compressing text data with uneven character distribution. It uses variable length codes, where frequent characters are represented by shortcodes and rare characters by long codes [3].

The Shannon-Fano method also uses variable-length codes but is based on recursively dividing characters in a set into subsets with close probabilities. This method shows good results but may be less efficient than the Huffman method.

RLE is a simple compression method that is based on replacing repeated sequences of characters with a single character followed by the number of repetitions. This method is well suited for data with a large number of repetitions, such as images with rich geometric structures. It can achieve high compression efficiency for such data types but has limited suitability for compressing other data types that do not have repeating sequences.

LZ78 is a compression method that is based on building a dictionary of repeated phrases during compression. It uses a combination of character code and references to previous phrases to create new phrases. LZ78 performs well for data with many repetitions and repeated phrases, such as text data and some types of images.

To summarise, studies show that the effectiveness of Shannon-Fano, Huffman, RLE, and LZ78 compression methods depends on the type of data to be compressed. Each of these methods has its own advantages and limitations. The optimal choice of compression method depends on the specific context and data compression requirements.

The purpose of the study is to investigate compression algorithms, and their software implementation, compare the efficiency of compressing files of different formats, and determine the feasibility and uses.

The main material

The Shannon-Fano algorithm is one of the earliest data compression algorithms developed by Claude Shannon and Robert Fano in 1948.

The Shannon-Fano algorithm counts the number of symbols in the original text to determine their frequency of occurrence and then builds a binary tree. This encoding method is prefix-based. This means that there is no code for which another code would be a prefix, which allows for decoding the encoded text without error. However, the disadvantage of the Shannon-Fano algorithm is that it does not always provide optimal text compression [4].

The Shannon-Fano algorithm is based on the idea of dividing the lists of symbols in the original text into two groups with a minimum difference in their total weight, which is then encoded with different prefixes. This process is repeated recursively for each group of symbols until each symbol is assigned its own code [5].

The Shannon-Fano coding algorithm:

Step 1: calculating the frequency of symbol occurrence;

Step 2: sorting the list of symbols according to frequency;

Step 3: divide the list of symbols into two parts, with the total frequency counts of the symbols included in them being as close to each other as possible. Add 1 to the code of one part and 0 to the other;

Step 4: consider each part separately. If there is more than one element in the resulting sublist, then perform Step 3.

It should be noted that many works mention sorting the list of symbols by descending frequency, but this does not matter. Also, when creating programs, the absolute frequency is counted, because counting the relative frequency requires additional calculations that are unreasonable in this context.

If the message was previously encoded by the ASCII encoding table, which encodes each symbol with one byte, the size of the message itself will be significantly reduced. but there is a need to store the information that will be necessary to restore the original message.

Since the bit length of a coded message is usually not a multiple of 8, it is necessary to supplement the message with bits to enable the last part of the message to be recorded on a storage device or transmitted over a computer network.

Since, for technical reasons, the message is supplemented with bits at the end, it is necessary to determine where the created message has ended. If this is not done, nothing will prevent the program from reading a few more bits and writing a couple more bytes to the file that is being restored after compression. This is unacceptable. In the proposed implementation, a special code sequence is created to indicate the end of the file. It is encoded along with all bytes, so it meets the prefix requirement and is the last to be written to the file.

The main problem with Shannon-Fano coding is that there is no guarantee of optimal coding, so the Huffman algorithm is used.

The Huffman algorithm was patented in 1952 by David Huffman. It is similar to the Shannon-Fano algorithm, but ensures optimal encoding of the message by guaranteeing that frequently occurring symbols will not have a code length longer than symbols occurring less frequently [6].

The algorithm builds a binary tree where the leaves are the nodes that represent the symbols. The tree is built from the leaves to the root.

Huffman coding algorithm:

Step 1: calculating the frequency of occurrence of symbols;

Step 2: finding the two nodes with the lowest frequency of occurrence;

Step 3: creating a new node with a frequency equal to the total frequencies of the found nodes. The resulting node is the parent of the found nodes. Adding 1 to the code of one of the nodes and 0 to the code of the other. Removing the found nodes from the search area;

Step 4: as long as there is more than one node, step 3.

The main difference between the Huffman algorithm and the Shannon-Fano algorithm is that in the Shannon-Fano algorithm, the encoding is from the root to the leaf, while in the Huffman algorithm, it is from the leaf to the root.

The sequence of bits in the codes in both cases is determined from the root to the leaves.

Similarly, as in the case of Shannon-Fano encoding, the encoded message will be a sequence of bits that is formed by writing the corresponding codes instead of symbols.

As with Shannon-Fano file compression, Huffman file compression requires writing to the file the data that will be needed to reconstruct the binary tree, adding an additional node during encoding, and, if necessary, writing additional bits at the end of the file.

The data for binary tree recovery is implementation-specific, so it may differ in different formats [7].

Another feature of the algorithm is that the codes and their lengths generated by the algorithm may also vary depending on the implementation but always have the same average codeword length and the same message length.

The Huffman algorithm provides an average codeword length close to the source entropy and a fairly high encoding/decoding rate, so it is still used, but usually in combination with other algorithms. In lossless compression methods, it is usually used in combination with sequence compression algorithms. For example, the Deflate algorithm is a combination of the LZ77 and Huffman algorithms. In lossy compression methods, it is used with lossy compression algorithms. For example, in JPEG, lossy compression is performed first, and then the blocks resulting from lossy coding are encoded with the Huffman algorithm.

The RLE algorithm was formulated in 1967 by an engineer and programmer Ivan Sutton. The idea of RLE encoding is to encode series lengths and write a symbol and a number to the output file, which indicates the number of consecutive repetitions of that symbol [8].

The RLE encoding algorithm:

Step 1: read the symbol, and identify it as a base symbol;

Step 2: set the iterator to 1;

Step 3: read the symbol. If it is identical to the base symbol, step 4, otherwise, step 5;

Step 4: increment the iterator, step 3;

Step 5: write the base symbol and counter;

Step 6: write the new c symbol as the base symbol, step 2.

This method is fast and uses minimal RAM, but it can only compress files where byte duplication is common. If bytes are not repeated in a row, the method can increase the file at least twice, depending on the size of the counter [9].

LZ78 is a data compression algorithm proposed by Abraham Lempel and Jakob Ziv in 1978 [10].

This algorithm works on replacing repeated text fragments with pointers to previous text fragments that have already been encountered.

The main idea of the algorithm is to create a dictionary from unique text fragments and their indexes in the dictionary. As you go through the text, the algorithm builds new dictionary elements by adding new unique fragments and also remembers each new text fragment and its index in the dictionary [11].

For data compression, the LZ78 algorithm uses index-symbol pairs, which can be encoded in fewer bits than individual symbols. Thus, during compression, repetitive text fragments can be encoded using replacement with the previous fragments with a pointer to their index in the dictionary.

Encoding algorithm using the LZ78 method:

Step 1: creating an empty dictionary;

Step 2: setting the index to zero;

Step 3: reading the symbol;

Step 4: creating an index-symbol pair;

Step 5: search for the index- symbols pair in the dictionary. If it is found, step 6, otherwise, step 7;

Step 6: set the index equal to the index of the found pair in the dictionary, step 3;

Step 7: if the dictionary is not full, add the index-symbol pair to the dictionary and save it to a file. Step 2.

An important nuance is that the size of the decoder dictionary must be at least as large as the encoder dictionary. If you encounter a reference to a dictionary item that exceeds the size of the dictionary, the behavior of the program may be unpredictable [12].

It is also important to note that the size of the dictionary should be limited to a specific value. In the case of using the list of symbols with automatic expansion, the program can quickly occupy RAM in large quantities. You should also consider the size of variables that store indexes because the size of the block that is written to the file greatly affects the file size and the variable should not overflow during operation [13].

To determine the compression efficiency, we selected 3 files of different sizes with the formats bmp, avi, exe, svg, txt, docx, wav, and mp3, which were compressed using the created programs. The results are shown in Table 1.

Table 1

Compression results

File type	Size, b	Size after compression, b			
		Shannon-Fano's	Huffman's	RLE	LZ78
bmp	66614	21279	21251	24326	15483
	224878	128175	127892	86338	63282
	2305078	1603667	1601713	2498194	1590789
avi	742478	349530	348123	437722	206271
	1480958	1191936	1186316	1908096	1073700
	2279794	2050837	2041972	3496664	1990515
exe	58188	37602	36323	77650	34476
	90624	69197	69017	154496	63831
	3422558	2337648	2304403	4807708	2553375
svg	22491	10972	10972	43468	15882
	31150	16426	16292	59122	22857
	1315818	652497	648407	2461306	720525
txt	429364	266866	265570	851266	241755
	959175	516991	515434	1911692	397134
	4205781	2545690	2540770	8343772	2216709
docx	15372	14974	14923	26330	19335
	75409	73919	73741	145008	89175
	812853	814900	812969	1608446	936618
wav	1073218	1017328	1015185	2137522	1152963
	5226766	4958190	4946632	10412130	5673471
	10406738	9835206	9822602	20730756	11207190
mp3	764176	767031	764660	1511636	880290
	2113939	2119861	2113266	4185290	2403408
	5289384	5300723	5285340	10477126	5980500

Based on the table of compression results, the average compression ratios were calculated for each compression method and a table was created based on this data (Table 2).

As can be seen from Tables 1 and 2, the LZ78 method is better suited for compressing bmp, avi, exe, and txt data formats, but when used with data formats that are already compressed, such as docx, wav, and mp3, the resulting file is larger than the original one.

At the same time, the Huffman algorithm proved to be better for compressing svg files and, when compressing previously compressed files, does not increase the resulting file by more than 0.1%.

Table 2

Table of average compression ratios

File type	Average compression ratio			
	Shannon-Fano's	Huffman's	RLE	LZ78
bmp	2.11	2.11	2.09	3.10
avi	1.49	1.50	1.04	2.04
exe	1.44	1.47	0.68	1.48
svg	1.99	2.00	0.53	1.54
txt	1.71	1.71	0.50	2.03
docx	1.01	1.02	0.54	0.84
wav	1.06	1.06	0.50	0.93
mp3	1.00	1.00	0.51	0.88

Taking into account the efficiency of LZ78 and the fact that the files do not become significantly larger when compressed with the Huffman algorithm, we compressed the files first with the LZ78 algorithm and then compressed the result with the Huffman method. The results are shown in Table 3.

Table 3

Results of compression by the LZ78 and Huffman algorithms

File type	Size, b	LZ78 + Huffman's	Compression ratio	Average compression ratio
bmp	66614	13806	4.83	3.39
	224878	59970	3.75	
	2305078	1437104	1.60	
avi	742478	193076	3.85	2.15
	1480958	1036176	1.43	
	2279794	1930033	1.18	
exe	58188	31153	1.87	1.62
	90624	59276	1.53	
	3422558	2334263	1.47	
svg	22491	13771	1.63	1.73
	31150	20037	1.55	
	1315818	654688	2.01	
txt	429364	229818	1.87	2.14
	959175	374366	2.56	
	4205781	2113515	1.99	
docx	15372	16902	0.91	0.92
	75409	79635	0.95	
	812853	894140	0.91	
wav	1073218	1123355	0.96	0.95
	5226766	5535567	0.94	
	10406738	10949817	0.95	
mp3	764176	841273	0.91	0.91
	2113939	2311717	0.91	
	5289384	5767211	0.92	

As can be seen from Table 3, data compression first by the LZ78 algorithm and then by the Huffman method gives a positive result – the average compression ratio has increased for all compressed files compared to compression by the LZ78 algorithm alone.

This means that it is appropriate to use the Huffman algorithm in combination with other data compression methods, and in this case, with sequence compression algorithms.

It is worth noting that when encoding with the Huffman algorithm after LZ78 encoding, the index-symbol pair was divided into 3 parts: two parts of the index and the symbol. If the index was encoded separately and the symbol separately, or if the indexes were read in full and encoded together with the symbols, the compression results would be different.

Also, the size of the dictionary and the size of the variable that stores the index when encoding with the LZ78 method are of great importance. In the proposed implementation, we used a dictionary of 65535 index-symbol pairs and a variable that takes up two bytes and can take values from 0 to 65535.

Increasing the size of the dictionary may result in fewer index-character pairs in the resulting file since the encoded sequences can be longer, but the indexes will require more memory.

Conclusions

RLE often leads to larger files and has compression rates that are significantly lower than those of LZ78, so its use is not advisable.

The Shannon-Fano algorithm has the same complexity but lower performance than the Huffman algorithm, so its use is also inappropriate.

LZ78 is more appropriate to use in combination with the Huffman algorithm to compress a lot of uncompressed data.

The Huffman algorithm compresses .svg files better than LZ78, does not lead to a significant increase in the resulting file size when compressing encoded or encrypted data, and provides opportunities for creating methods based on combining other algorithms.

Bibliography

1. Ващенко А. В., Дроздова Є. А. Вирішення проблеми зберігання даних за допомогою програми стиснення файлів. *Інформаційні системи та комп'ютерно-інтегровані технології: ідеї, проблеми, рішення – 2021*. 2021. С. 13–15.
2. Prudvi C., Muchahary D., Raghuvanshi A. S. Analysis of image compression techniques for iot applications. *2022 international conference on intelligent technologies (CONIT)*, м. Hubli, India, 24–26 черв. 2022 р. 2022. DOI:10.1109/conit55038.2022.9848206
3. Image compression using huffman coding scheme with partial/piecewise color selection / A. H. M. Z. Karim та ін. *2021 IEEE 4th international conference on computing, power and communication technologies (GUCON)*, м. Kuala Lumpur, Malaysia, 24–26 верес. 2021 р. 2021. DOI:10.1109/gucon50781.2021.9573863
4. Dharma Walidaniy W., Yuliana M., Briantoro H. Improvement of PSNR by Using Shannon-Fano Compression Technique in AES-LSB StegoCrypto. *2022 international electronics symposium (IES)*, м. Surabaya, Indonesia, 9–11 серп. 2022 р. 2022. DOI:10.1109/ies55876.2022.9888656
5. Pic X., Antonini M. A constrained Shannon-Fano entropy coder for image storage in synthetic DNA. *2022 30th european signal processing conference (EUSIPCO)*, м. Belgrade, Serbia, 29 серп. – 2 верес. 2022 р. 2022. DOI:10.23919/eusipco55093.2022.9909833
6. Gupta M. Alternatives to huffman coding by comparison to other algorithms. *2021 innovations in power and advanced computing technologies (i-pact)*, м. Kuala Lumpur, Malaysia, 27–29 листоп. 2021 р. 2021. DOI:10.1109/i-pact52855.2021.9696497
7. Compressed DNA coding using minimum variance huffman tree / P. Mishra та ін. *IEEE communications letters*. 2020. Т. 24, № 8. С. 1602–1606. DOI:10.1109/lcomm.2020.2991461
8. Image compression using run length encoding and its optimisation / A. Birajdar та ін. *2019 global conference for advancement in technology (GCAT)*, м. BANGALURU, India, 18–20 жовт. 2019 р. 2019. DOI:10.1109/gcat47503.2019.8978464
9. Saidani A., Xiang J., Mansouri D. A new lossless compression scheme for wsns using RLE algorithm. *2019 20th asia-pacific network operations and management symposium (APNOMS)*, м. Matsue, Japan, 18–20 верес. 2019 р. 2019. DOI:10.23919/apnoms.2019.8893093
10. Koppl D., Navarro G., Prezza N. HOLZ: high-order entropy encoding of lempel-ziv factor distances. *2022 data compression conference (DCC)*, м. Snowbird, UT, USA, 22–25 берез. 2022 р. 2022. DOI:10.1109/dcc52660.2022.00016
11. Puglisi S. J., Rossi M. On lempel-ziv decompression in small space. *2019 data compression conference (DCC)*, м. Snowbird, UT, USA, 26–29 берез. 2019 р. 2019. DOI:10.1109/dcc.2019.00030
12. Muller R. Linear computation coding inspired by the lempel-ziv algorithm. *2022 IEEE information theory workshop (ITW)*, м. Mumbai, India, 1–9 листоп. 2022 р. 2022. DOI:10.1109/itw54588.2022.9965875
13. Decompressing lempel-ziv compressed text / P. Bille та ін. *2020 data compression conference (DCC)*, м. Snowbird, UT, USA, 24–27 берез. 2020 р. 2020. DOI:10.1109/dcc47342.2020.00022

References

1. Vashchenko, A. V., & Drozdova, Ie. A. (2021). Vyrishennia problemy zberihannia danykh za dopomohoiu prohramy stysnennia failiv [Solving data storage problems with a file compression program]. *1st International Scientific and Practical Conference of IS and ICT – 2021, Information systems and computer-integrated technologies: ideas, problems, solutions*, 13–15 (in Ukr.).
2. Prudvi, C., Muchahary, D., & Raghuvanshi, A. S. (2022). Analysis of image compression techniques for iot applications. *Y 2022 international conference on intelligent technologies (CONIT)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/conit55038.2022.9848206>
3. Karim, A. H. M. Z., Miah, M. S., Al Mahmud, M. A., & Rahman, M. T. (2021). Image compression using huffman coding scheme with partial/piecewise color selection. *Y 2021 IEEE 4th international conference on computing, power and communication technologies (GUCON)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/gucon50781.2021.9573863>
4. Dharma Walidaniy, W., Yuliana, M., & Briantoro, H. (2022). Improvement of PSNR by Using Shannon-Fano Compression Technique in AES-LSB StegoCrypto. *Y 2022 international electronics symposium (IES)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ies55876.2022.9888656>
5. Pic, X., & Antonini, M. (2022). A constrained Shannon-Fano entropy coder for image storage in synthetic DNA. *Y 2022 30th european signal processing conference (EUSIPCO)*. IEEE. <https://doi.org/10.23919/eusipco55093.2022.9909833>
6. Gupta, M. (2021). Alternatives to huffman coding by comparison to other algorithms. *Y 2021 innovations in power and advanced computing technologies (i-pact)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/i-pact52855.2021.9696497>
7. Mishra, P., Bhaya, C., Pal, A. K., & Singh, A. K. (2020). Compressed DNA coding using minimum variance huffman tree. *IEEE Communications Letters*, 24(8), 1602–1606. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2020.2991461>
8. Birajdar, A., Agarwal, H., Bolia, M., & Gupte, V. (2019). Image compression using run length encoding and its optimisation. *Y 2019 global conference for advancement in technology (GCAT)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/gcat47503.2019.8978464>
9. Saidani, A., Xiang, J., & Mansouri, D. (2019). A new lossless compression scheme for wsns using RLE algorithm. *Y 2019 20th asia-pacific network operations and management symposium (APNOMS)*. IEEE. <https://doi.org/10.23919/apnoms.2019.8893093>
10. Koppl, D., Navarro, G., & Prezza, N. (2022). HOLZ: High-order entropy encoding of lempel-ziv factor distances. *Y 2022 data compression conference (DCC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/dcc52660.2022.00016>
11. Puglisi, S. J., & Rossi, M. (2019). On lempel-ziv decompression in small space. *Y 2019 data compression conference (DCC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/dcc.2019.00030>
12. Muller, R. (2022). Linear computation coding inspired by the lempel-ziv algorithm. *Y 2022 IEEE information theory workshop (ITW)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/itw54588.2022.9965875>
13. Bille, P., Berggren Etienne, M., Gagie, T., Li Gortz, I., & Prezza, N. (2020). Decompressing lempel-ziv compressed text. *Y 2020 data compression conference (DCC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/dcc47342.2020.00022>

M. O. VERNIK

Master in Software Engineering
at the Department of Computer Systems Software
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0009-0008-6156-1051

COMPARISON OF CLASSICAL AND QUANTUM COMPUTING FOR PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

The article explored and delved into the advanced computational strategies of Particle Swarm Optimization (PSO) by contrasting classical and quantum computing paradigms. The advantages of quantum computing lie in its potential to solve computationally complex problems exponentially faster than classical computers. One of the advantages of Particle Swarm Optimization is its ability to find optimal solutions in complex search spaces. The research centers around the performance of PSO algorithms, as a part of the biological swarm optimization algorithms, when applied to a set of single-objective optimization functions, namely the Sphere, Rosenbrock, Booth, and Himmelblau functions. Utilizing a controlled setup of 100 particles, iterating 100 times across various dimensions tailored to each function, our study reveals that quantum Particle Swarm Optimization, implemented via Q# programming language and tested in Azure Quantum Workspace, consistently surpasses classical PSO in precision and convergence to global minima, despite the increased computational demands and error sensitivity inherent to quantum computations. The classical approach facilitated through Python programming language and leveraging deterministic pseudorandom number generators demonstrates robustness and lower computational costs but does not achieve the quantum's level of accuracy. The paper highlights the potential of quantum PSO to achieve superior optimization results in scenarios with smaller datasets and less complex problem spaces, paving the way for future applications where quantum advantages can be fully realized. The analysis goes further to discuss the implications of these findings for the future of optimization in various industries, including logistics, engineering, and finance, where optimization plays a critical role. The potential of quantum Particle Swarm Optimization to achieve superior optimization results in scenarios with smaller datasets and less complex problem spaces is particularly notable. It suggests that quantum computing could soon transform the landscape of computational optimization, providing solutions that are not only quicker but also more accurate.

Key words: quantum computing, PSO, Q#, optimization, metaheuristic, Python programming language.

M. O. ВЕРНІК

магістр з інженерії програмного забезпечення
кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0008-6156-1051

ПОРІВНЯННЯ КЛАСИЧНОГО ТА КВАНТОВОГО ОБЧИСЛЕННЯ ДЛЯ PSO ОПТИМІЗАЦІЇ

У статті досліджено та детально описано передові обчислювальні стратегії оптимізації рою частинок (Particle Swarm Optimization, PSO), порівнюючи їх з класичними та квантовими парадигмами обчислень. Однією з переваг оптимізації рою частинок є її здатність до знаходження оптимальних рішень в складних просторах пошуку. Дослідження зосереджене на перевірці ефективності алгоритмів PSO, як частини біологічних алгоритмів оптимізації рою, застосованих до набору одноцільових функцій оптимізації, а саме функцій Сфера, Розенброка, Бута та Хіммельблау. Використовуючи контрольоване налаштування з 100 частинками, що ітеруються 100 разів по різних вимірах, адаптованих до кожної функції, дослідження показує, що квантовий метод PSO, реалізований за допомогою мови програмування Q# та перевірений в Azure Quantum Workspace, постійно перевершує класичний PSO за точністю та збіжністю до глобальних мінімумів, незважаючи на збільшені обчислювальні витрати та чутливість до помилок, які притаманні квантовим обчисленням. Класичний підхід, реалізований за допомогою мови програмування Python та використання визначених детерміністичних псевдовипадкових генераторів чисел, демонструє стійкість та менші обчислювальні витрати, але не досягає рівня точності квантового підходу. У статті зазначається потенціал квантового методу PSO для досягнення вищих результатів оптимізації в сценаріях з меншими наборами даних та менш складними просторами проблем, відкриваючи шлях для майбутніх застосувань, де переваги квантових обчислень можуть бути повністю реалізовані. Аналіз також розглядає наслідки цих висновків для майбутньої оптимізації у різних галузях, включаючи логістику, інженерію та фінанси, де оптимізація відіграє важливу роль. Особливо важливим є потенціал квантового методу PSO для досягнення вищих результатів оптимізації в сценаріях з меншими наборами даних та менш складними просторами проблем. Це свідчить про те, що квантові обчислення незабаром можуть трансформувати ландшафт обчислювальної оптимізації, надаючи рішення, які не лише швидкі, але й більш точні.

Ключові слова: квантові обчислення, PSO, Q#, оптимізація, метаевристика, мова програмування Python.

Introduction. Problem statement

Nowadays the art of development is constantly searching for new computational capabilities since regular silicon processors are becoming limited to complex computational problems, and for that humanity has created supercomputers [1], which will be working for some time until the rising era of quantum computing, or non-deterministic approaches. Classical metaheuristic algorithms are widely used for solving and improving optimization problems [2] where the deterministic optimization methods are taking a significant amount of time due to the “local traps” and their ability to extend the search space. Quantum data processing is based on the rules of quantum mechanics such as superpositioning and entanglement using a basic unit of information called a qubit, which could be 0 or 1, or both due to the superposition and the scalability by adding more qubits increasing exponentially, but the error in quantum computing diverges significantly due to the fundamental differences in how these systems process and store information.

Classical computers might have:

- hardware failures such as overheating, physical damage, or electronic failures can cause bit flips or crashes;
- software errors, and bugs, in programming can lead to crashes, incorrect outputs, or security vulnerabilities;
- external electromagnetic interference or power surges can disrupt operations or damage components;
- data transmission errors during data transfer, bits might be flipped due to noise or signal degradation, typically addressed using error-detection and error-correction codes like parity bits, checksums, or more complex algorithms like CRC (Cyclic Redundancy Check);

Classical errors can often be deterministically detected and corrected using well-established techniques like redundancy, error correction codes, and rigorous testing frameworks. On the other hand errors in quantum computers include:

- decoherence is the loss of quantum coherence wherein the system's quantum states due to unavoidable interactions with the environment (like thermal noise) lose their quantum behavior, essentially becoming classical. This is the primary source of error in quantum systems and severely limits the time over which quantum information is being processed;
- measurement errors in quantum computing can be error-prone, partly because they can be non-deterministic. A qubit in a superposition of states does not always yield the same measurement result;
- qubits are extremely sensitive to quantum noise and interference. This includes electromagnetic waves, temperature fluctuations, and material imperfections, all of which alter the state of a qubit unpredictably.

This article aims to analyze and compare a basic metaheuristic algorithm called PSO in classical and quantum representation for the test functions for single-objective optimization.

Analysis of recent research and related works

Algorithms were developed using Python and Q# technologies utilizing classical and quantum representations of the PSO. Explanation of the particle swarm optimization algorithm (Fig. 1).

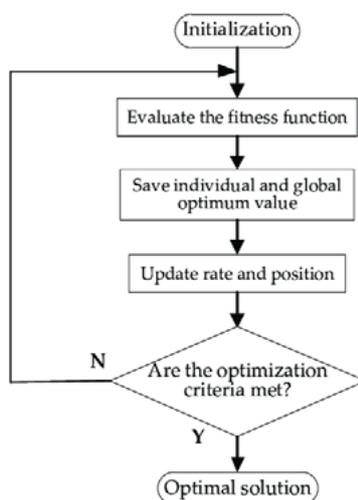


Fig. 1. PSO algorithm [3]

The Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, introduced by Kennedy and Eberhart [4], is a method for finding optimal values of continuous nonlinear functions and is an evolutionary computation technique inspired by natural social behaviors observed in swarms, bird flocking, and fish schooling. In PSO, each solution is conceptualized as a “particle” moving through the search space, where each particle has both a velocity and a position.

This algorithm updates the position and velocity of each particle based on its own experience as well as the experience of its neighbors. Each particle tracks the best position it has found, known as the personal best (p_{best}), and the best position found by the entire swarm is recorded as the global best (g_{best}). Utilizing these values, pbest and gbest, PSO iteratively adjusts the velocities and positions of each particle to search for optimal solutions.

The steps of the algorithm are outlined in detail below.

1. *Initialize the swarm*

Each particle i is initialized with a random position x_i and a random velocity v_i within the search space. The initial positions and velocities can be randomly generated as follows:

$$x_i \sim \text{Uniform}(x_{\min}, x_{\max}), v_i \sim \text{Uniform}(v_{\min}, v_{\max}) \quad (1)$$

2. *Evaluate fitness*

The fitness of each position \vec{x}_i is evaluated based on the objective function $f(\vec{x}_i)$. The objective function is problem-specific and determines the quality of each position.

3. *Update p_{best}*

For each particle, if the fitness of the current position is better than the fitness of its personal best position $\overline{p_{best,i}}$, then update p_{best} :

$$\overline{p_{best,i}} = \begin{cases} \vec{x}_i & \text{if } f(\vec{x}_i) < f(\overline{p_{best}}) \\ \overline{p_{best}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

4. *Update g_{best}*

If the fitness of the current position of any particle is better than the fitness of the global best position $\overline{g_{best}}$, update g_{best} :

$$\overline{g_{best}} = \begin{cases} \vec{x}_i & \text{if } f(\vec{x}_i) < f(\overline{g_{best}}) \\ \overline{g_{best}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

5. *Adjust velocity and position for each particle*

$$\vec{v}_i^{(t+1)} = w\vec{v}_i^t + c_1r_1(\overline{p_{best,i}} - \vec{x}_i^t) + c_2r_2(\overline{g_{best}} - \vec{x}_i^t) \quad (4)$$

$$\vec{x}_i^{(t+1)} = \vec{x}_i^t + \vec{v}_i^{(t+1)} \quad (5)$$

where:

w is the inertia weight that controls the influence of the previous velocity;

c_1 | and c_2 | are the cognitive and social coefficients, respectively;

r_1 | and r_2 | are random numbers uniformly distributed in $[0,1]$, providing stochasticity.

6. *Repeat*

Steps 2–5 are repeated for a predetermined number of iterations or until a convergence criterion is met.

This structured approach enables PSOs to efficiently explore and exploit the search space, leading to the discovery of optimal or near-optimal solutions.

Research data

The selected 4 general testing functions will be executed on the cloud environments using tools Azure Quantum Workspace for the Q# and Jupyter Notebook for the Python implementation.

The main difference in the algorithm implementation will be a randomization function, since in Python will be used a NumPy library random function which works as module which contains two interfaces of pseudorandom number generators (PRNGs):

1. random uses the Mersenne Twister PRNG [5], which is not cryptographically secure;

2. SystemRandom uses either the /dev/urandom file on POSIX systems [6] or the CryptGenRandom() function on Windows NT systems, both are Cryptographically secure PRNGs [7].

On the other hand the Q# random implementation requires the use of qubits with applied Hadamard gate (H) to transform the basis states $|0\rangle$ and $|1\rangle$ into superpositions and forcing a qubit to “choose” one of its basis states.

operation QuantumRandomDouble(min : Double, max : Double, nQBits : Int) : Double {

use qubits = Qubit[nQBits];

ApplyToEach(H, qubits);

let results = MResetEachZ(qubits);

let power = IntAsDouble(1 <<< nQBits);

let decimal = IntAsDouble(ResultArrayAsInt(results)) / power;

return min + (max - min) * decimal;

}

Steps in depth:

1. *Qubit Allocation*

use qubits = Qubit[nBits];

Quantum Principle: in quantum computing, data is represented by qubits instead of classical bits. A qubit is a quantum system that can exist in a superposition of 0 and 1 states, unlike classical bits, which are definitively 0 or 1.

Operation: this line allocates nQBits qubits. Initially, each qubit is in the state $|0\rangle$.

2. *Applying the Hadamard Gate*

ApplyToEach(H, qubits);

Quantum Principle: the Hadamard gate (H) is a fundamental quantum gate that transforms the basis states $|0\rangle$ and $|1\rangle$ into superpositions. Specifically, it maps $|0\rangle$ to $\frac{(|0\rangle + |1\rangle)}{\sqrt{2}}$ and $|1\rangle$ to $\frac{(|0\rangle - |1\rangle)}{\sqrt{2}}$.

Operation: this line applies the Hadamard gate to each qubit. The result is that each qubit is put into a superposition of $|0\rangle$ and $|1\rangle$, effectively randomizing its state. This means each qubit now has a 50% probability of being measured as 0 and a 50% probability of being measured as 1.

3. *Measurement and Reset*

let results = MResetEachZ(qubits);

Quantum Principle: measurement in quantum mechanics forces a qubit to “choose” one of its basis states. According to the Copenhagen interpretation [8], the act of measuring a quantum state causes its wave function to collapse to one of the own states of the observable being measured.

Operation: this function measures each qubit on the computational (Z) basis, where the superposition state collapses to either $|0\rangle$ or $|1\rangle$ based on the probability amplitude of each state. The *MResetEachZ* operation also resets the qubits to $|0\rangle$ after measurement, making them ready for reuse. The results are an array of classical bits reflecting the outcome of each quantum measurement.

Research results

In this study, the computational experiments were designed to evaluate the performance of both classical and quantum Particle Swarm Optimization (PSO) algorithms across a range of benchmark functions. The experiments utilized a consistent setup involving 100 particles, which iterated 100 times to optimize the given objective functions. The dimensionality of the search space varied depending on the function being tested: for the Sphere and Rosenbrock functions, the algorithms operated within a five-dimensional space. This higher dimensionality allowed for a comprehensive assessment of the algorithms' capabilities in handling complex, multi-dimensional landscapes, which are typical in many real-world optimization problems. Conversely, for the Booth and Himmelblau functions, the experiments were conducted in a two-dimensional space. This setup was chosen because these functions are naturally defined in two dimensions and are commonly used to benchmark optimization algorithms' performance in a more visually interpretable manner. This dimension-specific approach ensured that each function was tested under conditions that best reflected its typical use cases, thereby providing insights that are both relevant and applicable to typical scenarios encountered in optimization tasks.

Table 1

Test functions and results

Name	Function	Classical	Quantum	Global minimum
Sphere function	$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	$1.012 \cdot 10^{-16}$	$1.552 \cdot 10^{-17}$	$f(0, \dots, 0) = 0$
Rosenbrock function	$f(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (1 - x_i)^2]$	$2.274 \cdot 10^{-1}$	$4.781 \cdot 10^{-2}$	$f(1, \dots, 1) = 0$
Booth function	$f(x, y) = (x + 2y - 7)^2 + (2x + y - 5)^2$	$1.077 \cdot 10^{-20}$	$2.893 \cdot 10^{-24}$	$f(1, 3) = 0$
Himmelblau's function	$f(x, y) = (x^2 + y - 11)^2 + (x + y^2 - 7)^2$	$2.551 \cdot 10^{-20}$	$3.076 \cdot 10^{-24}$	$f(3, 2) = 0$ $f(-2.805118, 3.131312) = 0$ $f(-3.779310, -3.283186) = 0$ $f(3.584428, -1.848126) = 0$

The comparative analysis of classical and quantum PSO implementations on single-objective functions reveals distinct performance characteristics, particularly when evaluated with a small sample size. In scenarios involving 100 particles, 100 iterations, and 5 dimensions, the quantum approach consistently outperforms its classical counterpart across various benchmark functions.

Performance Summary:

Sphere Function: Quantum PSO achieved a significantly closer approximation to the global minimum, registering a result of $1.552 \cdot 10^{-17}$, compared to $1.012 \cdot 10^{-16}$ by the classical PSO.

Rosenbrock Function: Here too, quantum PSO showed superior performance with $4.781 \cdot 10^{-2}$, versus $2.274 \cdot 10^{-1}$ for the classical method.

Booth Function: Quantum optimization delivered an exceptionally precise result of $2.893 \cdot 10^{-24}$, substantially better than the $1.077 \cdot 10^{-20}$ by classical PSO.

Himmelblau's Function: Quantum PSO achieved $3.076 \cdot 10^{-24}$, improving upon the classical PSO's $2.551 \cdot 10^{-20}$.

Conclusions and further work

While the quantum approach demonstrates enhanced efficacy in locating optimal or near-optimal solutions for small sample sizes, it faces scalability challenges. With larger samples, quantum PSO requires exponentially more time and incurs higher computational costs. In contrast, the classical PSO, though sometimes less accurate, maintains a lower computational cost and exhibits a reduced likelihood of error, making it more scalable and reliable for larger or more complex datasets.

These findings suggest that quantum PSO is particularly advantageous for small-scale or precision-critical optimization tasks where the quality of the solution is paramount and resources are sufficient to support higher computational demands. For broader or more resource-constrained applications, classical PSO remains a viable and effective option.

References

1. Ingrid Y. Bucher (1983). The computational speed of supercomputers. In Proceedings of the 1983 ACM SIGMETRICS conference on Measurement and modeling of computer systems (SIGMETRICS '83). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 151–165. <https://doi.org/10.1145/800040.801403>.
2. Torres-Jimenez, Jose & Pavón, Juan (2014). Applications of metaheuristics in real-life problems. *Progress in Artificial Intelligence*. 2. 175-176. 10.1007/s13748-014-0051-8.
3. Xiao, Yunqi & Wang, Yi & Sun, Yanping (2018). Reactive Power Optimal Control of a Wind Farm for Minimizing Collector System Losses. *Energies*. 11. 3177. 10.3390/en1113177.
4. Kennedy J., Eberhart R. (1995). Particle Swarm Optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. Vol. IV. pp. 1942–1948. doi:10.1109/ICNN.1995.488968.
5. Matsumoto M., Nishimura T. (1998). Mersenne twister: a 623-dimensionally equidistributed uniform pseudo-random number generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*. 8 (1): 3–30. CiteSeerX 10.1.1.215.1141. doi:10.1145/272991.272995. S2CID 3332028.
6. P1003.1 - Standard for Information Technology Portable Operating System Interface (POSIX(TM) Base Specifications, Issue 8. IEEE Standards Association. <https://standards.ieee.org/ieee/1003.1/7700/>
7. Huang Andrew (2003). *Hacking the Xbox: An Introduction to Reverse Engineering*. No Starch Press Series. No Starch Press. p. 111. ISBN 9781593270292.
8. Pearle P., Valentini A. (2006). *Quantum Mechanics: Generalizations*, Editor(s): Jean-Pierre Francoise, Gregory L. Naber, Tsou Sheung Tsun, *Encyclopedia of Mathematical Physics*, Academic Press. Pages 265-276, ISBN 9780125126663, <https://doi.org/10.1016/B0-12-512666-2/00415-6>.

УДК 004.42

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.19>**К. П. ГАЗДЮК**

доктор філософії (спеціальність 121), доцент,
доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
ORCID: 0000-0002-7568-4422

М. Ю. ГОРБАТЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри математичного моделювання
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
ORCID: 0000-0002-1702-8785

К. М. ДМИТРАЩУК

асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
ORCID: 0009-0004-8188-8618

В. Ю. ВОДЯНЧУК

Middle React/React Native developer
Agiliway
ORCID: 0009-0006-0680-7085

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ЗБІРКИ СУЧАСНИХ ВЕБ ДОДАТКІВ

У статті здійснено аналіз двох сучасних найпопулярніших інструментів для збірки проєктів WebPack та Vite, а також досліджено їх швидкодю. Проведено оцінку функцій та їх відповідність потребам користувачів, аналіз зовнішнього вигляду, інтерфейсу та зручності використання для збірки веб-додатків, можливостей збірників у плані відкритості для розширення функціоналу та їх масштабованість при зростанні обсягів даних та користувацької бази; оцінено рівень захищеності додатків від потенційних загроз інформаційній безпеці та приватності користувачів; проаналізовано швидкість та ефективність виконання різних завдань у веб-додатках; оцінено можливості коректної роботи збірників на різних пристроях (комп'ютерах, планшетах, мобільних телефонах) та у різних браузерах.

Аналізуючи їхні функції та характеристики, виявлено, що кожен з них має свої переваги та обмеження.

WebPack вже довгий час є стандартом для збірки веб-проєктів. Він має потужні можливості конфігурації та розширюваності, що дозволяє налаштовувати його під потреби конкретного проєкту. Однак, із зростанням розміру проєкту та складності конфігурації, може виникати проблема зі збереженням продуктивності.

З іншого боку, Vite зосереджений на швидкості розробки та виконання завдань у реальному часі. Він надає швидкий час перезавантаження під час розробки, що полегшує процес розробки та налагодження. Однак, його можливості розширення та конфігурації можуть бути обмеженими порівняно з WebPack.

Виявлено, що обираючи між WebPack та Vite, команди розробників повинні враховувати специфіку свого проєкту та віддавати перевагу тому інструменту, який найбільше відповідає їхнім потребам у швидкості, гнучкості та продуктивності. Крім того, важливо постійно вивчати та оцінювати нові можливості та інструменти, які з'являються на ринку, для того щоб залишатися в актуальному та конкурентоспроможному стані.

Ключові слова: програмний продукт, браузерне розширення, збірник, вебсторінка, WebPack, Vite.

K. P. HAZDIUK

Doctor of Philosophy (specialty 121), Associate Professor,
Associate Professor at the Computer Systems Software Department
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
ORCID: 0000-0002-7568-4422

M. YU. GORBATENKO

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Mathematical Modeling
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
ORCID: 0000-0002-1702-8785

K. M. DMYTRASHCHUK

Assistant at the Computer Systems Software Department
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
ORCID: 0009-0004-8188-8618

V. YU. VODIANCHUK

Middle React/React Native developer
Agiliway
ORCID: 0009-0006-0680-7085

INVESTIGATION OF MODERN WEB APPLICATION BUNDLERS

The article provides an analysis of two of the most popular modern tools for building web projects, WebPack and Vite, as well as examines their performance. An evaluation of their features and their alignment with user needs, an analysis of their appearance, interface, and usability for building web applications, the openness of the tools for functionality expansion, and their scalability with increasing data volumes and user base were conducted. Additionally, the security level of the applications against potential threats to information security and user privacy was assessed, along with an analysis of the speed and efficiency of executing various tasks in web applications. Furthermore, the potential for the correct operation of the tools on different devices (computers, tablets, mobile phones) and in different browsers was evaluated. Analyzing their functions and characteristics revealed that each of them has its own advantages and limitations.

WebPack has long been the standard for building web projects. It offers powerful configuration and extensibility capabilities, allowing it to be tailored to the needs of a specific project. However, as project size and configuration complexity grow, there may be challenges in maintaining productivity.

On the other hand, Vite focuses on rapid development and real-time task execution. It provides quick reloading during development, simplifying the development and debugging process. However, its extensibility and configuration capabilities may be limited compared to WebPack.

It was found that when choosing between WebPack and Vite, development teams should consider the specifics of their project and prefer the tool that best meets their needs in terms of speed, flexibility, and productivity. Additionally, it is important to continuously explore and evaluate new opportunities and tools emerging in the market to remain current and competitive.

Key words: *software product, browser extension, bundler, web page, WebPack, Vite.*

Постановка проблеми

Bundler або збірник, є на сьогодні незамінним інструментом у сучасній веб розробці [1]. Це дозволяє розробникам без проблем працювати з кодом на мовах, які не підтримуються браузером за замовчуванням (TypeScript, SCSS). Також він відповідає, за адаптацію програми для середовища development або production. У випадку створення власного проєкту, bundler не лише допоможе максимально оптимізувати код, а й зробить програму більш ефективною.

На даний момент, найпоширенішим засобом збірки проєктів є Webpack [2], його домінування нерозривно пов'язане із значною популярністю, оскільки при виникненні питань стосовно застосування цього продукту можна з легкістю знайти відповіді в Інтернеті, завдяки потужній спільноті користувачів. Щотижня збірник Webpack завантажується з репозиторію NPM (Node Package Manager) [3] близько двадцяти чотирьох мільйонів разів, що свідчить про його вражаючу популярність. Проте, на ринку існує тенденція до уникнення монополій, і тому поступово відбувається введення нового учасника – Vite [4]. Останній спрямований на вирішення однієї з проблем Webpack, а саме – часу збірки проєкту. Далі буде розглянуто принципи роботи обох інструментів збірки та проаналізовано фактори, які забезпечують Vite його високу швидкодію.

На даний момент постає проблема порівняння двох найпоширеніших засобів збірки проєктів, Webpack і Vite, щоб визначити їхні переваги та недоліки у контексті використання веб-розробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз сучасних досліджень в області розробки веб застосунків показує, що великою перевагою є використання таких інструментів як React, Node.js, TypeScript, Python, Django, Webpack і Docker [5, 6]. Дослідження інструментів збірки таких як Webpack та Vite має важливе значення, оскільки він входить до складу потужного стеку технологій, який дозволяє розробникам створювати програми з високою продуктивністю та ефективністю. Подальше їх вивчення дозволить розширити знання про оптимізацію та організацію коду для розгортання програм, що є важливим аспектом у сучасній веб-розробці.

Перед тим як перейти безпосередньо до порівняння двох найпопулярніших збірників веб дооатків, розглянемо принципи їх роботи. WebPack на даний час, є одним з найбільш часто використовуваних пакетів для вебпроєктів, але він набагато повільніший ніж Vite. Webpack збирає всі файли в проєкті до того, як сервер розробки буде готовий.

Власне, на Рис. 1 можна побачити головну причину такої повільної роботи webpack, особливо у великих проєктах. З кожним розширенням проєкт збільшується та обсяг коду, що має обробити збірник, стає все більшим, власне як і процес збирання проєкту. Коли додаються нові модулі у проєкт, WebPack потребує додаткової обробки, щоб почати з ними працювати.

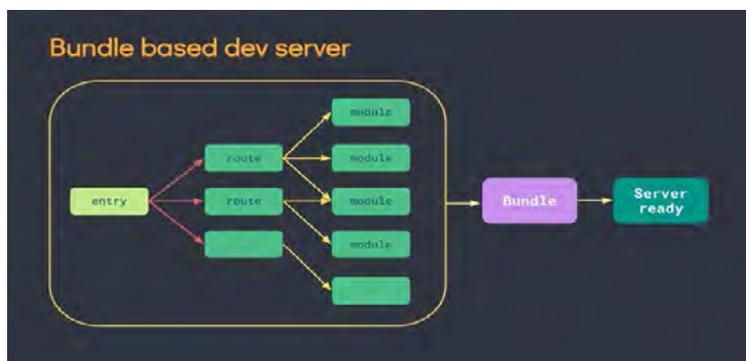


Рис. 1. Принцип роботи Webpack

Після встановлення зазначених пакетів, Webpack потрібно налаштувати. Для цього створюється файл webpack.config.js, що експортує об'єкт, який містить параметри Webpack-у.

Основним завданням Webpack-а є аналіз модулів, їх вибіркоче перетворення та інтелектуальне об'єднання в одну або більше колекцій (bundles), тому Webpack-у потрібно знати три речі:

1. Точка входу програми.
2. Перетворення, які потрібно виконати.
3. Місце, в яке слід помістити сформовану колекцію.

Особливість Vite полягає в тому, що він використовує переваги модулів ES (ECMAScript). У середовищі розробки Vite запускає сервер, який використовується для компіляції та обслуговування на льоту будь-яких необхідних залежностей через модулі ES (Рис. 2). Такий підхід дозволяє Vite обробляти та надавати лише необхідний на цей момент код. Таким чином, Vite потрібно обробляти набагато менше коду під час запуску сервера та оновлення коду.

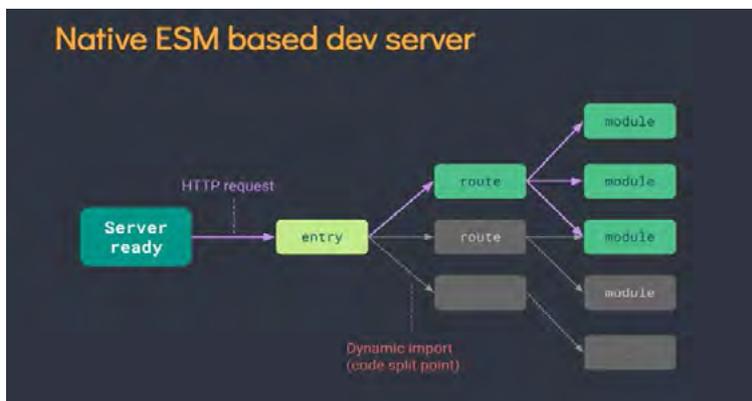


Рис. 2. Принцип роботи Vite

Ще однією особливістю є те, що він використовує Esbuild для попередніх групувань залежностей під час розробки. Esbuild — це надзвичайно швидкий (Рис. 3) bundler JavaScript, написаний мовою Go.

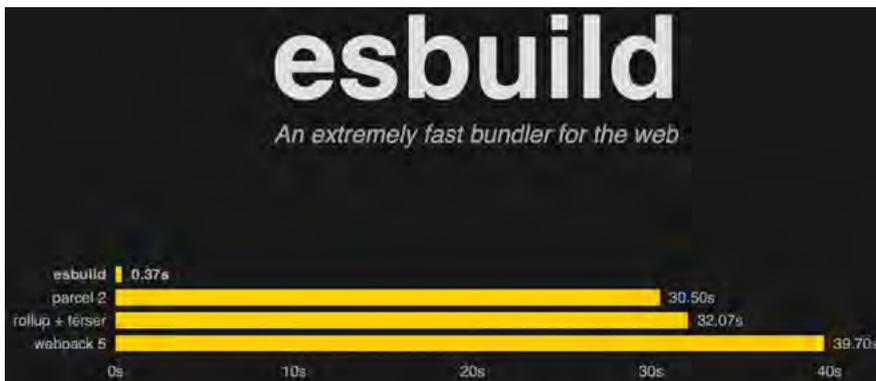


Рис. 3. Швидкість збирання проекту різними збірниками

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є порівняння двох найпопулярніших інструментів збирання веб-проектів, Webpack і Vite, з метою визначення їхніх переваг та недоліків у контексті швидкості збирання, продуктивності розробки та загальної ефективності. Дослідження спрямоване на виявлення потенційних переваг кожного інструменту та визначення оптимального вибору для розробки веб-додатків з урахуванням специфіки проектів та потреб користувачів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Проведемо порівняльну характеристику даних збірників за такими параметрами як кількість скачувань, вбудовані інструменти, система модулів, що використовується ними, підтримка плагінів, доцільність використання, спільнота та розмір вихідного файлу. Варто зазначити, що найважливішим параметром для порівняння є швидкість інструментів, її ми розглянемо в на основі реального проекту.

Всі отримані дані представлено в таблиці 1. Можна зробити висновки, що Webpack популярніший за Vite. Кількість користувачів Webpack перевищує в 3 рази, проте це пояснюється його роком випуску. Даний інструмент був випущений в 2012 році, а Vite тільки в 2020. Останній має вбудовану підтримку TypeScript, style loading, hot reloading, а також пропонує шаблони для збирання проектів на React, Vue, JS, TS та інших технологіях. Це означає, що налаштування не потребує великих зусиль програміста і це автоматизовано в збірнику Vite. Webpack в свою чергу складніший для конфігурації, він вимагає підключень плагінів вручну.

В двох збірників активна спільнота, яка постійно збільшується. Проте, в першого вона більша. Зазвичай Vite використовують для невеликих нових проектів, а Webpack надають перевагу при розробці ентерпрайсних продуктів.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика Vite та Webpack

Характеристика	Vite	Webpack
Кількість скачувань	8,828,073	26,043,383
Вбудовані інструменти	Вбудована підтримка TS, style loading, hot reloading	Додаткова конфігурація плагінів
Система модулів	ES modules	ES modules, Common JS
Підтримка плагінів	Пропонує шаблони для React, Vue, JS, TS, etc.	Налаштовується вручну
Використання	Найкраще підходить для нових невеликих проектів	Використовується як для невеликих так і для масштабних проектів
Спільнота	Зростаюча спільнота	Велика, активна спільнота
Розмір вихідного файлу	Невеликий, оптимізовано під production	Більший розмір, потрібна додаткова оптимізація

Швидкодію збірників вебдодатків було перевірено на основі реального невеликого проекту. Даний проект містить 400+ файлів. Це комплексна система, яка має багато модулів, частину з яких наведено на рис. 4.

Проект було написано за допомогою збірника Webpack та оптимізовано під development та production, підключено плагіни для обробки стилів та підтримки TypeScript. Оскільки Vite опрацьовує це автоматично, нам не потрібно нічого додавати вручну.

На рис. 5 наведено частину конфігураційного коду проекту за допомогою Webpack.

Далі додано файл vite.config.ts, в якому підключено плагін react для роботи збирання проекту на даній технології.

На рис. 6 наведено частину конфігурацій проекту за допомогою Vite.

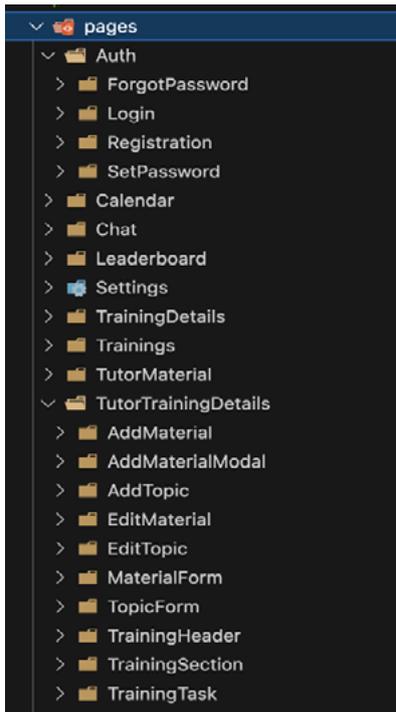


Рис. 4. Зміст модулів проекту

```
module: {
  rules: [
    {
      test: /\.?(ts|js)x?$/i,
      exclude: /node_modules/,
      use: [
        {
          loader: 'babel-loader',
          options: {
            presets: [
              '@babel/preset-env',
              '@babel/preset-react',
              '@babel/preset-typescript'
            ]
          }
        }
      ]
    },
    {
      test: /\.?(css|scss)$/,
      use: ['style-loader', 'css-loader', 'sass-loader']
    }
  ]
}
```

Рис. 5. Конфігурації проекту за допомогою Webpack

```
import { defineConfig } from "vite";
import react from "@vitejs/plugin-react";
import path from "path";

export default defineConfig({
  plugins: [react()],
  resolve: {
    alias: {
      shared: path.resolve(__dirname, "src/shared"),
      pages: path.resolve(__dirname, "src/pages"),
    },
  },
});
```

Рис. 6. Конфігурації проекту за допомогою Vite

Переконавшись, що обидва проєкти працюють однаково, з підгрузкою зображень та стилів, було проведено дослідження на швидкодію згаданих збірників. Запущено код в режимі development та режимі production 20 разів. Взято середнє арифметичне результатів та занесено в табл. 2.

Таблиця 2

Швидкісна характеристика Vite та Webpack

	Vite	Webpack
Development	356ms	31.55s
Production	12.89s	40.30s

Результати дослідження показали, що Vite запустив сервер за 356 мс в режимі development, в той час збірнику Webpack потрібно було 31.55 с. Різниця вражаюча, Vite зробив це швидше у 88 разів. Щодо production, Vite запустив сервер за 12.89 с, а Webpack за 40.30 с.

Висновки

Розглянуто принцип роботи бандлерів Vite та Webpack та проаналізовано їх, а саме Vite запускає сервер, а потім збирає всі файли, але тільки ті, які потрібні користувачу на вебсторінці, яку він проглядає. Webpack в свою чергу спочатку збирає файли всього проєкту, а потім запускає сервер, що робить вихідний файл більш об'ємним і сповільнює запуск проєкту.

Проаналізовано принципи роботи збірників Vite та Webpack. Vite запускає сервер, а потім збирає всі файли, але тільки ті, які потрібні користувачу на вебсторінці, яку він безпосередньо переглядає. Webpack, на відміну від Vite, спочатку збирає файли всього проєкту, а потім запускає сервер, що робить вихідний файл більш об'ємним і сповільнює запуск проєкту.

Проведено дослідження цих інструментів збірки за такими характеристиками: кількість скачувань, вбудовані інструменти, система модулів, що використовується ними, підтримка плагінів, доцільність використання, спільнота та розмір вихідного файлу. З використанням реального проєкту, оцінено швидкодію даних інструментів, результат якої показав, що Vite працює в 88 разів швидше для режиму development, що полегшує процес розробки програмного продукту та економить час програміста.

Варто зазначити, що обираючи між WebPack та Vite, команди розробників повинні враховувати специфіку свого проєкту та віддавати перевагу тому інструменту, який найбільше відповідає їхнім потребам у швидкості, гнучкості та продуктивності. Крім того, важливо постійно вивчати та оцінювати нові можливості та інструменти, які з'являються на ринку, для того щоб залишатися в актуальному та конкурентоспроможному стані.

Список використаної літератури

1. Rack, J., Staicu, C.-A. Jack-in-the-box: An Empirical Study of JavaScript Bundling on the Web and its Security Implications [Електронний ресурс]. Proceedings of the 2023 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. November 2023. Pp. 3198–3212. <https://doi.org/10.1145/3576915.3623140>
2. Webpack. URL: <https://webpack.js.org/>
3. Duldulao, D.B., Cabagnet, R.J.L. Getting Started with the Node Package Manager [Електронний ресурс] // Practical Enterprise React. Apress, Berkeley, CA, 2021. Pp. 11–19. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6975-6_2
4. Vite. Next Generation Frontend Tooling. URL: <https://vitejs.dev/>
5. Zammetti, F. Modern Full-Stack Development: Using TypeScript, React, Node.js, Webpack, and Docker . 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5738-8>
6. Zammetti, F. Tying It Up in a Bow: Webpack. 2022. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8811-5_7
7. Fusco, D. Large Scale Apps with Vue, Vite and TypeScript. 2023. URL: <https://www.damianofusco.com/book-sample-vue-typescript>

References

1. Rack, J., & Staicu, C. A. (2023). Jack-in-the-box: An Empirical Study of JavaScript Bundling on the Web and its Security Implications. In Proceedings of the 2023 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (CCS '23) (pp. 3198–3212). URL: <https://doi.org/10.1145/3576915.3623140>
2. Webpack. (n.d.). Available at: <https://webpack.js.org/>
3. Duldulao, D. B., & Cabagnet, R. J. L. (2021). Getting Started with the Node Package Manager. In F. Zammetti (Ed.), Practical Enterprise React (pp. 11–19). Apress. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6975-6_2
4. Vite | Next Generation Frontend Tooling. (n.d.). Available at: <https://vitejs.dev/>
5. Zammetti, F. (2020). Modern Full-Stack Development: Using TypeScript, React, Node.js, Webpack, and Docker. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5738-8>
6. Zammetti, F. (2022). Tying It Up in a Bow: Webpack. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8811-5_7
7. Fusco, D. (2023). Large Scale Apps with Vue, Vite and TypeScript. Available at: <https://www.damianofusco.com/book-sample-vue-typescript>

І. А. ГЕТЬМАН

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій
Донбаська державна машинобудівна академія
ORCID: 0000-0003-1835-425

Ю. А. СОЛОД

магістр кафедри комп'ютерних інформаційних технологій
Донбаська державна машинобудівна академія
ORCID: 0009-0000-2350-8403

М. А. ДЕРЖЕВЕЦЬКА

кандидат економічних наук,
доцент кафедри цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень
Технічний університет «Метінвест Політехніка»
ORCID: 0000-0002-9952-4992

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Штучні нейронні мережі стають все більш популярним інструментом у дослідженні та прогнозуванні погодних умов. Використання цих мереж для прогнозування температури навколишнього середовища на короткочасний період має великий потенціал у сферах, де точні та швидкі прогнози є критично важливими. Попередження про погоду вважаються ключовими інформаційними продуктами, оскільки вони допомагають захистити життя та майно від небезпек, пов'язаних з екстремальними погодними умовами. Велике значення має не лише сам факт попередження, а й достовірність та своєчасність отриманої інформації. Метою роботи було збільшення точності прогнозування температури та вибір найбільш ефективної моделі нейронної мережі для вирішення задачі прогнозування температури. Погодні параметри для дослідження були зібрані з кліматичного центру даних та поділені на три набори (навчальний, тестувальний та валідаційний). Було проведено навчання та тестування нейронних мереж. Як перспективний підхід для збільшення точності прогнозу було обрано рекурентну нейронну мережу (RNN) та комбінацію нейронних мереж (згорткової та повнозв'язної). З використанням наборів даних за цими моделями було зроблено прогноз майбутньої температури. Перевірка точності цих прогнозів проводилась за допомогою метрик якості, таких як середня абсолютна похибка (MAE), середня квадратична похибка (MSE), середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE). Доведено, що запропоновані моделі мають похибку у 15.46% та 14.22% для прогнозування температури рекурентною нейронною мережею та їх комбінацією. Результати підтверджують, що запропоновані моделі мають потенціал для успішного застосування при прогнозуванні температури.

Ключові слова: прогнозування температури, комбінація нейронних мереж, рекурентні нейронні мережі, метрики якості.

I. A. GETMAN

Ph.D. (Technology),

Lecturer at the Department of Computer Information Technologies

Donbass State Engineering Academy

ORCID: 0000-0003-1835-425

Y. A. SOLOD

Master at the Department of Computer Information Technologies

Donbass State Engineering Academy

ORCID: 0009-0000-2350-8403

M. A. DERZHEVETSKA

Ph.D. (Economics),

Lecturer at the Department of Digital Technologies

and Project-Analytical Solutions

Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC

ORCID: 0000-0002-9952-4992

EXPLORING THE APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR IMPROVED ACCURACY IN ENVIRONMENTAL TEMPERATURE PREDICTION

Artificial neural networks are becoming increasingly popular tools in researching and forecasting weather conditions. The use of these networks for predicting ambient temperature in the short term holds great potential in fields where accurate and rapid forecasts are critically important. Weather warnings are considered key informational products as they help protect lives and property from dangers associated with extreme weather conditions. The reliability and timeliness of the received information are of significant importance, not just the fact of the warning itself. The aim of the research was to increase the accuracy of temperature forecasting and select the most effective neural network model for addressing the temperature prediction task. Weather parameters for the research were collected from the climate data center and divided into three datasets (training, testing, and validation). Neural networks were trained and tested. A recurrent neural network (RNN) and a combination of neural networks (convolutional and fully connected) were chosen as promising approaches to increase forecast accuracy. Using these models with the datasets, forecasts of future temperatures were made. The accuracy of these forecasts was verified using quality metrics such as mean absolute error (MAE), mean squared error (MSE), and mean absolute percentage error (MAPE). It was demonstrated that the proposed models have errors of 15.46% and 14.22% for forecasting temperature with the recurrent neural network and its combination, respectively. The results confirm that proposed models have the potential for successful application in temperature forecasting.

Key words: temperature prediction, neural network combination, recurrent neural networks, quality metrics.

Постановка проблеми

Погода має великий вплив на різні сторони життя людини. Прогнози температури використовуються в багатьох місцях. Наприклад, комунальними компаніями для оцінки попиту на постачання енергії протягом найближчих днів. Також вони важливі для сільського господарства, адже погода прямо впливає на кількість врожаю [1]. Помітний економічний ефект дає використання метеорологічної інформації в авіації, будівництві і багатьох інших сферах. Для виконання прогнозування на початку проводять моніторинг (збір даних про поточний стан атмосфери) [2]. Дані для метеорологічних прогнозів збирають на спеціалізованих метеорологічних станціях. За зміною навколишнього середовища розрізняють глобальний, державний, регіональний, локальний і детальний моніторинг. Різниця між ними в тому, яку територію вони охоплюють. Найбільшу територію охоплює глобальний моніторинг (міждержавна система), найменшу – детальний (система підприємств, родовищ).

Система прогнозування з роками залишається незмінною, а саме використовують чисельні (гідродинамічні) методи. Вони включають в себе вирішення системи гідродинамічних рівнянь [3]. За підсумками відомостей про метеодані створюється комп'ютерна модель атмосфери – програма, в якій з урахуванням систем рівнянь гідротермодинаміки виконуються метеорологічні прогнози. Вирішення цієї системи – складна задача та точність такого прогнозу складає близько 70% для прогнозу на 5–10 днів [4]. Точність таких прогнозів залежить від швидкості розрахунку обчислювальних систем, кількості та якості інформації, що надходить з метеостанцій. Чим більше буде даних, тим точніше буде розрахунок.

Існує й інший метод для отримання прогнозованих даних температури – статистичний. Він дозволяє спрогнозувати різні метеоеlementи на певний період часу, використовуючи дані про стан погоди за минуле і сьогодні. До нього й відносяться нейронні мережі. Основа статистичного методу полягає в узагальненні усіх отриманих даних з вибірки і навчання нейронних мереж. Воно відбувається таким чином, що при отриманні у вихідному шарі початкових метеоданих, нейронна мережа віддавала би результат щодо подальшого значення температури,

заснований на математичній обробці даних. Цей метод прогнозування засновується лише на використанні минулих даних, тому доволі чутливий до можливих «викидів», тож якнайкраще показує тенденцію зміни температури за певний період часу у майбутньому. Для нас це є важливою перевагою, адже в такому випадку ми отримуємо прогнозоване значення, яке майже дорівнює фактичному значенню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує багато варіантів архітектури штучних нейронних мереж, але в залежності від них та заданих налаштувань буде змінюватися точність отриманого нами результату. Питанням комплексного аналізу застосування штучних нейронних мереж (ШНМ) приділяли увагу багато вчених.

Г'янеш Шривастава виявив, що архітектури ШНМ, такі як BPN, RBFN, найкраще створені для прогнозування хаотичної поведінки та достатньо ефективні для прогнозування мусонних дощів, а також інших явищ прогнозування параметрів погоди в меншому географічному регіоні [5]. Дорошенко А.Ю. запропонував власну архітектуру нейронної мережі, яка дозволяє прогнозувати помилки прогнозів чисельної регіональної моделі, з метою подальшого коригування прогнозу неперервних метеорологічних величин [6]. Кайфен Бі займався системою прогнозу погоди за допомогою глибокого навчання та розглядав точне середньострокове глобальне прогнозування погоди за допомогою 3D-нейронних мереж (3D Earth-specific transformer 3DEST) [7]. Ajina розробив додаток, завдяки якому можна як прогнозувати погоду в конкретному місті, так і порівнювати різні погодні умови в різних містах [8]. К. Абгішек, Baboo, Shereef представили дослідження використання мережі прямого зв'язку із зворотним розповсюдженням та розглядали застосовність підходу ШНМ шляхом розробки ефективних і надійних нелінійних прогностичних моделей для аналізу погоди [9; 10]. Зараз найчастіше для прогнозування температури використовуються ШНМ, які пропонував Брайан Сміт [11].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є збільшення точності прогнозування температури та вибір найбільш ефективної моделі нейронної мережі для вирішення задачі прогнозування температури.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для досягнення мети були використані дві основні архітектури нейронних мереж: рекурентна мережа та комбінація мереж (згорткової та повнозв'язної мереж).

Розпочато дослідження з моделі рекурентної мережі, після чого перейшли до комбінації нейронних мереж. Основною метою є створення та навчання мережі, яка може передбачати температуру на найближчий час для конкретної станції та конкретного дня, враховуючи погоду за попередній дні (вхідні дані). У дослідженні розглядалися чотири погодні змінні: температуру, вологість, швидкість вітру та атмосферний тиск.

Вхідний набір даних складається з 248 зразків, що відповідають 31 дню місяця, розташованих у стовпцях на аркуші Excel, який пізніше імпортується в програму. Кожен рядок таблиці містить інформацію яка збиралася на метеостанції впродовж місяця. Спостереження проводились кожні 3 години: о 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 і 21:00 по Гринвічу. Для використання нейронними мережами всі зібрані дані було розбито на три групи: тренувальні (60% зразків), тестувальні (20%) та валідаційні (20%).

Для дослідження було зібрано 248 зразків вхідних даних, але відомо, що навчання нейронної мережі краще з більшим обсягом вибірки. Тому існуючий набір даних було збільшено в 3 рази (744 зразки).

Рекурентні нейронні мережі уявляють собою нейронні мережі із зворотним зв'язком між різними шарами нейронів. Наявність в ній зворотного зв'язку дозволяє передавати інформацію від одного кроку навчання мережі до іншого. Для нормалізації вхідних даних рекурентної нейронної мережі була використана функція активації виду гіперболічного тангенса. Це дозволило стабілізувати та нормалізувати вхідні дані перед подальшим їхнім аналізом мережею. Процес навчання RNN включав обчислення значень прихованого шару на кожному кроці навчання. Він здійснювався за допомогою алгоритму Backpropagation Through Time (BPTT), що розширює стандартний алгоритм зворотного поширення помилок (backpropagation) на випадок часових послідовностей. Тривалість навчання та розмір пакету оптимізували експериментально.

Відповідний вибір кількості шарів і кількості нейронів в кожному з них потребують експериментів. У початковому експерименті було два рекурентні шари. Після чого збільшували їх кількість та змінювали кількість нейронів в них до отримання більш точних результатів прогнозу. На кожному кроці навчання значення прихованого шару нейронної мережі $k_t \in IR^m$ обчислювали за формулою:

$$k_t = f(Wx_t + Uk_{t-1} + b_k) \quad (1)$$

де: $x_t \in IR^m$ – вхідний вектор в момент часу t ; $W \in IR^{m \times n}$, $U \in IR^{m \times n}$ та $b_k \in IR^{m \times n}$ – параметри нейронної мережі, які обчислюються при навчанні; f – функція активації.

Результат на виході, тобто значення прогнозованої температури було розраховано за формулою:

$$y_t = f(Wk_t + b_y) \quad (2)$$

Початково у кожному шарі встановили кількість у 50 нейронів. Після чого змінювали їх значення для досягнення кращого результату. Результат записується, щоб побачити, наскільки добре мережа здатна передбачити результат, використовуючи скориговані ваги мережі.

Інша архітектура, за якою було виконано прогнозування, – це комбінація нейронних мереж. У ній використовувались шари двох видів нейронних мереж, а саме повнозв'язної та згорткової. Повнозв'язані шари дозволяють агрегувати ознаки, отримані з попередніх шарів, і створюють зв'язок між ними для фінального прогнозу. А згорткові шари можуть ефективно обробляти різні типи вхідних даних, такі як зображення чи послідовності числових значень та виявляти локальні шаблони та ознаки. В нашому випадку вони виявляли локальні залежності між температурою, швидкістю вітру, атмосферним тиском та вологістю. Для цієї архітектури використовували функцію активації ReLU (Rectified Linear Unit) для нелінійності.

З огляду на те, що повнозв'язні шари допомагають агрегувати ознаки, тому першим шаром було обрано саме його. Повнозв'язний шар у нейронній мережі складався з n нейронів, а саме з 64. Кожен нейрон повністю з'єднаний з кожним вхідним значенням. Якщо приймати x_1, x_2, \dots, x_n вхідні значення, а w_1, w_2, \dots, w_n – ваги, то вихід у обчислюється за формулою:

$$y = f(w_1 * x_1 + w_2 * x_2 + \dots + w_n * x_n + b) \quad (3)$$

де: w_1, w_2, \dots, w_n – ваги, присвоєні кожному вхідному з'єднанню; x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні значення; b – зсув або bias; $f()$ – функція активації, яка введе нелінійність в модель.

Після чого передавали інформацію на згортковий шар. Це дозволяє визначити кількість внутрішніх представлень (feature maps), що відображаються в моделі. Для початку встановлювали 32 фільтри та розмір 4×4 .

Загортковий шар розраховували за такою формулою:

$$x^l = f(x^{l-1} * k^l + b^l) \quad (4)$$

де: x^l – вихід шару l ; $f()$ – функція активації; b^l – коефіцієнт зсуву ядра l ; $*$ – операція згортки входу x з ядром k .

Наступним використовували шар згорткового пулінгу, щоб виділити найважливіші ознаки. Було повторено згортковий шар та шар пулінгу. Зроблено декілька таких блоків для виокремлення ієрархічних ознак. У кінці знову було перейдено до повнозв'язного шару.

Для оцінки точності прогнозування були використані метрики, такі як середня абсолютна похибка (MAE), середня квадратична похибка (MSE), середня абсолютна відсоткова похибка (MAPE). Кожен експеримент був проведений на окремих наборах даних для уникнення перенавчання та забезпечення узагальненості результатів.

У результаті було отримано, що при використанні 2 шарів RNN з кількістю нейронів 50 в кожному шарі середня квадратична похибка склала 1.68, середня абсолютна похибка склала 1.109. Після розрахунку середньої абсолютної відсоткової похибки між фактичними значеннями та прогнозованими значеннями було отримано такий результат MAPE = 15.4561. Це говорить про те, що середня абсолютна відсоткова похибка між фактичними та прогнозованими значеннями становить приблизно 15.46%. Чим менше значення MAPE, тим краще прогноз. Таким чином, якщо середня температура становить 20°C , то прогноз з такою помилкою може відхилитися в середньому на приблизно 3.09°C від фактичної температури.

При додаванні ще одного шару RNN з 50 нейронами похибка трохи збільшилась. MSE = 2.11 MAE = 1.23.

Змінюючи кількість нейронів у першому шарі з 50 до 100 у моделі з двома шарами можемо побачити збільшення значення похибок MSE = 4.2265, MAE = 1.7283, MAPE = 26.4%. Тобто з збільшенням кількості нейронів у першому шарі вдвічі точність прогнозу зменшується. Збільшивши кількість нейронів у другому шарі, похибка зменшилась у порівнянні з першим варіантом MSE = 2.72, MAE = 1.335, MAPE = 19.89%.

Під час прогнозування температури за комбінацією нейронних мереж було виявлено, що початковий варіант моделі, що має першим шаром повнозв'язний з 64 нейронами, другим – згортковий з 32 фільтрами та розміром 4×4 , третім шар пулінгу та знов повнозв'язний, має значення середньої абсолютної відсоткової похибки MAPE = 19.6, тобто 19.6%. Значення середньої квадратичної похибки та середньої абсолютної похибки склало: MSE = 5.3074, MAE = 1.883. При збільшенні кількості фільтрів до 64 результат трохи покращився. В цьому випадку MSE = 4.7840, MAE = 1.7247, а MAPE = 18.74%. При додаванні ще одного згорткового шару на 64 фільтри маємо покращення прогнозу MSE = 2.5241, MAE = 1.2898, а MAPE = 14.36%. При збільшенні кількості нейронів до 150 у повнозв'язному шарі покращення прогнозу майже не відбувається, MAPE у такому випадку 14.22%.

Висновки

Дослідження в галузі застосування штучних нейронних мереж у прогнозуванні температури навколишнього середовища відкриває перспективи для подальших досліджень та розвитку нових алгоритмів, спрямованих на поліпшення точності та надійності передбачень у цій сфері.

Отримані результати свідчать про потенційне використання штучних нейронних мереж для прогнозування температури в реальному часі. Такий підхід може знайти широке застосування у сферах, де важлива точність передбачень та реагування на температурні зміни, таких як метеорологія, енергетика та екологія.

Список використаної літератури

1. Івус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди: підручник. 2012. URL: <http://surl.li/tdgwk>
2. Перелигін Б.В., Ткач Т.Б. Застосування штучних нейронних мереж для обробки інформації в технічних системах моніторингу навколишнього середовища: навч. посіб. Одеса: ОДЕУ, 2014. 218 с. URL: <http://surl.li/rrgro>
3. Хоменко І.А. Динаміка атмосфери: навчальний посібник. Одеса: Одеський державний екологічний університет. 2022. URL: <http://surl.li/tdgrg>
4. Технології у сфері погоди: як далеко зайшли синоптики. URL: <https://marketer.ua/ua/weather-technology-how-far-forecasters-have-come/>
5. Shrivastava G. Application of Artificial Neural Networks in Weather Forecasting: A Comprehensive Literature Review / International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 51, no. 18. P. 17–29. URL: <https://doi.org/10.5120/8142-1867>
6. Дорошенко А.Ю., Шпиг В.М., Кушніренко Р.В. Застосування машинного навчання для уточнення чисельних метеорологічних прогнозів // Проблеми програмування. Київ. 2020. С. 375–385. URL: <https://doi.org/10.15407/pp2020.02-03.375>
7. Bi K. Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks. Nature. 2023. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06185-3>
8. Ajina A. Prediction of weather forecasting using artificial neural networks : Journal of Applied Research and Technology. 2023. No. 2. P. 205–211. URL: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2023.21.2.1698>
9. Abhishek K. Weather Forecasting Model using Artificial Neural Network: Procedia Technology. 2012. Vol. 4. P. 311–318. URL: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.05.047>
10. Baboo S. S., Shereef I. K. An Efficient Weather Forecasting System using Artificial Neural Network. International Journal of Environmental Science and Development. 2010. P. 321–326. URL: <https://doi.org/10.7763/ijesd.2010.v1.63>
11. Smith B. A. Air temperature prediction using artificial neural networks. International Journal of Computational Intelligence Volume 3 Number 3, 2006. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&>
12. Гетьман І., Держевецька М., Бауліна Т., Кухтік Т., & Жуков М. Розробка програмного комплексу для коригування ваги хворих на цукровий діабет на основі використання нейронної мережі з логістичною регресією. *Itsynergy*, (1), 2022. С. 26–46. URL: <https://www.its.istu.edu.ua/ITS/article/view/10>

References

1. Ivus, G. P. (2012). *Spetsializovani prohnozy pohody* [Specialized weather forecast]. Odessa. URL: <http://surl.li/tdgwk>
2. Perelighin, B.V., Tkach, T.B. (2014). *Zastosuvannia shtuchnykh neuronnykh merezh dlia obrobky informatsii v tekhnichnykh systemakh monitorynhu navkolyshnoho seredovyscha* [Application of artificial neural networks for information processing in technical systems of environmental monitoring] URL: <http://surl.li/rrgro>
3. Khomenko, I.A. (2022). *Dynamika atmosfery* [Atmospheric dynamics: a textbook. Odessa: Odessa State Environmental University]. URL: <http://surl.li/tdgrg>
4. *Tekhnolohii u sferi pohody: yak daleko zaishly synoptyky*. [Weather technology: how far forecasters have come] URL: <https://marketer.ua/ua/weather-technology-how-far-forecasters-have-come/>
5. Shrivastava G. Application of Artificial Neural Networks in Weather Forecasting: A Comprehensive Literature Review / International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 51, no. 18. P. 17–29. URL: <https://doi.org/10.5120/8142-1867>
6. Doroshenko, A. Yu., Shpyg, V. M., Kushnirenko, R. V. (2020) *Zastosuvannia mashynnoho navchannia dlia autochnennia chyselnykh meteorologichnykh prohnoziv* [Application of machine learning to refine numerical meteorological forecasts] P. 375–385. URL: <https://doi.org/10.15407/pp2020.02-03.375>
7. Bi, K. (2023) Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06185-3>
8. Ajina, A. (2023) Prediction of weather forecasting using artificial neural networks : Journal of Applied Research and Technology. P. 205–211. URL: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2023.21.2.1698>
9. Abhishek, K. (2012) Weather Forecasting Model using Artificial Neural Network: Procedia Technology.. P. 311–318. URL: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.05.047>
10. Baboo, S. S., Shereef, I. K. (2010) An Efficient Weather Forecasting System using Artificial Neural Network. International Journal of Environmental Science and Development. P. 321–326. URL: <https://doi.org/10.7763/ijesd.2010.v1.63>
11. Smith, B. A. (2006) Air temperature prediction using artificial neural networks. International Journal of Computational Intelligence URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&>
12. Getman, I., Derzhevetska, M., Baulina, T., Kukhtik, T., & Zhukov, M. (2022). *Rozrobka prohramnoho kompleksu dlia koryhuvannia vahy khvorykh na tsukrovyy diabet na osnovi vykorystannia neuronnoi merezhi z lohistychnoiu rehresiiu* [Development of a software complex for adjusting the weight of patients with diabetes based on the use of a neural network with logistic regression]. *Itsynergy*, (1), P. 26–46. URL: <https://www.its.istu.edu.ua/ITS/article/view/10>

Н. В. ГОЛОВІНА

аспірант, викладач-стажист кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0985-0135

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ

У статті наведено результати дослідження та розробки системи підтримки прийняття рішень для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні. Було розглянуто проблематику лісових пожеж на території України. Досліджено традиційні методи моніторингу та фіксації лісових пожеж. Виявлено їх недосконалість. Наведено огляд літератури, що займається розглядом даної проблеми.

У статті зазначено, що традиційні методи моніторингу та попередження лісових пожеж, такі як наземні патрулі та спостереження з повітря, часто є неефективними та дорогими. Використання сучасних технологій, таких як дистанційне зондування Землі, штучний інтелект та системи підтримки прийняття рішень (СППР), може значно покращити ефективність моніторингу та попередження лісових пожеж. Саме тому є важливою проблематика розроблення програмного забезпечення, яке забезпечило б виявлення лісових пожеж, є вкрай важливою.

Дослідження виконано з використанням знімків з відкритих джерел NASA Earth Observatory. Для обробки та аналізу супутникових зображень використано бібліотеки Python: Keras, TensorFlow, PyTorch. За допомогою методів моделювання спроектовано архітектуру системи та показано варіанти використання.

У статті описано поняття СППР. При розробці СППР для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні було виявлено потреби користувачів та побудовано діаграму варіантів використання. Було описано основні компоненти створюваної системи та розроблено архітектуру.

Розглянуто принципи роботи алгоритму СППР для аналізу зображень. Спочатку дані зображень зчитуються та приводяться до одного формату. Далі за допомогою методів навчання нейромережі потрібно видалити шум, сегментувати зображення, виділивши зони вогню, перетворити колір, проаналізувати межі та ключові точки. На основі цього формується оцінка зображення. Алгоритм повторюється протягом кількох циклів для отримання більш точних результатів передбачення.

Після первинної обробки зображень та їх аналізу було розроблено алгоритм навчання нейронної мережі. У результаті було побудовано модель згорткової нейронної мережі, точність якої сягає 92%. Розроблена система підтримки прийняття рішень показує гарні результати виявлення вогню на ранніх стадіях, але є ще можливістю для подальшого вдосконалення алгоритму.

Ключові слова: лісові пожежі, моніторинг, попередження, система підтримки прийняття рішень, супутникові зображення, згорткова нейронна мережа.

N. V. HOLOVINA

Postgraduate Student,

Lecturer-Intern at the Department of Software Tools and Technologies

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0003-0985-0135

DECISION SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT FOR MONITORING AND PREVENTION OF FOREST FIRES IN UKRAINE

The article presents the results of research and development of a decision support system for forest fire monitoring and prevention in Ukraine. The issue of forest fires on the territory of Ukraine was considered. Traditional methods of monitoring and recording forest fires were studied. Their imperfection was revealed. An overview of the literature dealing with this problem is given.

The paper notes that traditional methods of forest fire monitoring and prevention, such as ground patrols and aerial surveillance, are often ineffective and expensive. The use of modern technologies, such as remote sensing of the Earth, artificial intelligence and decision support systems (DSS), can significantly improve the effectiveness of forest fire monitoring and prevention. That is why the problem of developing software that would ensure the detection of forest fires is extremely important.

The study was carried out using images from the open sources of the NASA Earth Observatory. Python libraries: Keras, TensorFlow, PyTorch were used to process and analyze satellite images. With the help of modeling methods, the system architecture is designed and usage options are shown.

The article describes the concept of DSS. During the development of the CSDP for forest fire monitoring and prevention in Ukraine, the needs of users were identified and a diagram of use cases was constructed. The main components of the created system were described and the architecture was developed.

The working principles of the DSS algorithm for image analysis are considered. First, the image data is read and converted to a single format. Next, with the help of neural network training methods, you need to remove noise, segment the image by highlighting areas of fire, transform color, analyze boundaries and key points. Based on this, an image assessment is formed. The algorithm is repeated for several cycles to obtain more accurate prediction results.

After primary image processing and analysis, a neural network learning algorithm was developed. As a result, a convolutional neural network model was built, the accuracy of which reaches 92%. The developed decision support system shows good results in fire detection in the early stages, but there are still opportunities for further improvement of the algorithm.

Key words: forest fires, monitoring, warning, decision support system, DSS, satellite images, convolutional neural network.

Постановка проблеми

Лісові пожежі є серйозною проблемою в Україні, що завдає значної шкоди довкіллю, економіці та здоров'ю людей. Щорічно в Україні виникає тисячі лісових пожеж, які знищують тисячі гектарів лісів, завдають мільйонні збитки та призводять до загибелі людей.

Традиційні методи моніторингу та попередження лісових пожеж, такі як наземні патрулі та спостереження з повітря, часто є неефективними та дорогими. Використання сучасних технологій, таких як дистанційне зондування Землі, штучний інтелект та системи підтримки прийняття рішень (СППР), може значно покращити ефективність моніторингу та попередження лісових пожеж. Саме тому є важливою проблематика розроблення програмного забезпечення, яке забезпечило б виявлення лісових пожеж, є вкрай важливою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У цій роботі [9] автори досліджують можливості використання сучасних обчислювальних технологій для моніторингу лісових пожеж. Автори описують методи збору та обробки даних геоінформаційних систем та дистанційного зондування Землі, а також демонструють приклади використання цих даних для виявлення, відстеження та оцінки лісових пожеж.

У цій роботі [14] автори описують методи виявлення пожеж в екосистемах за допомогою супутникових зображень з низькою роздільною здатністю. Автори пропонують використовувати алгоритм, який базується на аналізі спектральних індексів та текстурних характеристик зображень. Алгоритм був протестований на наборі даних супутникових зображень та показав високу точність виявлення пожеж.

У цій роботі [19] автори описують інформаційну систему для аналізу геоданих, що використовується для відстеження змін рослинності. Інформаційна система використовує дані дистанційного зондування Землі для виявлення та оцінки змін у часі. Автори демонструють можливості інформаційної системи на прикладі дослідження змін лісового покриву.

Отже, зроблений аналіз свідчить про те, що у сфері розробки сучасних систем підтримки прийняття рішень на основі обчислювального інтелекту та машинного навчання є місце для досліджень. В Україні поки що не існує оптимальних аналогів, що дозволили б проводити моніторинг лісових пожеж у режимі реального часу.

Формулювання мети дослідження

Мета статті полягає у розробці системи підтримки прийняття рішень (СППР) для моніторингу, раннього реагування та попередження лісових пожеж в Україні з використанням методів аналізу супутникових зображень та згорткової нейронної мережі.

Дослідження виконано з використанням знімків з відкритих джерел NASA Earth Observatory [11]. Для обробки та аналізу супутникових зображень використано бібліотеки Python: Keras, TensorFlow, PyTorch [10]. За допомогою методів моделювання спроектовано архітектуру системи та показано варіанти використання.

Викладення основного матеріалу дослідження

Поняття СППР. Ефективним підходом до зменшення ризику виникнення природних катастроф є розроблення та впровадження сучасної системи підтримки прийняття рішень (СППР) для кожного регіону України. Така СППР акумулює інформацію про технічні, соціальні та економічні характеристики регіону з метою побудови ефективної стратегії запобігання природним катастрофам. За допомогою СППР також можна розробляти плани евакуації населення різних груп мобільності при масових лісових пожежах та розробляти плани розгортання пунктів евакуації для приймання, ведення обліку евакуйованого населення, матеріальних і культурних цінностей [1; 7–8].

СППР – це інформаційна система, що здійснює підтримку прийняття рішень шляхом вибору найкращого варіанту та шляхом розробки та порівняння кількох альтернатив для розв'язання поставлених завдань або самостійно визначених цілей [2].

Побудова архітектури. При розробці СППР для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні було виявлено потреби користувачів та побудовано діаграму варіантів використання, яку зображено на рис. 1. Для побудови всіх моделей використано безкоштовний сервіс побудови онлайн-діаграм LucidChart.

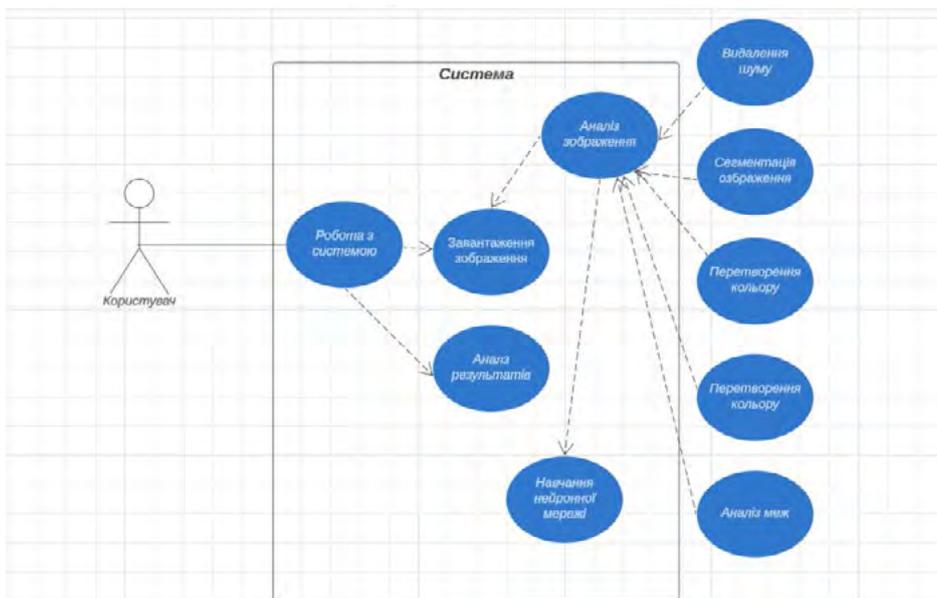


Рис. 1. Діаграма варіантів використання

На діаграмі можна побачити основні сценарії використання додатка для моніторингу та попередження лісових пожеж в Україні. Користувач, взаємодіючи із системою, може завантажити зображення. Далі зображення проходить обробку та аналіз, видаючи результат кінцевому користувачу.

Основні компоненти розробленої СППР. Компоненти СППР [6] включають керування даними, керування моделлю, інтерфейс користувача, управління знаннями та користувачами, як показано на рис. 2. СППР – це інтерактивна система, яка дозволяє особам, які приймають рішення, легко аналізувати та оцінювати моделі рішень і обробляти дані для розв’язання складних і неструктурованих завдань прийняття рішень [1–5].

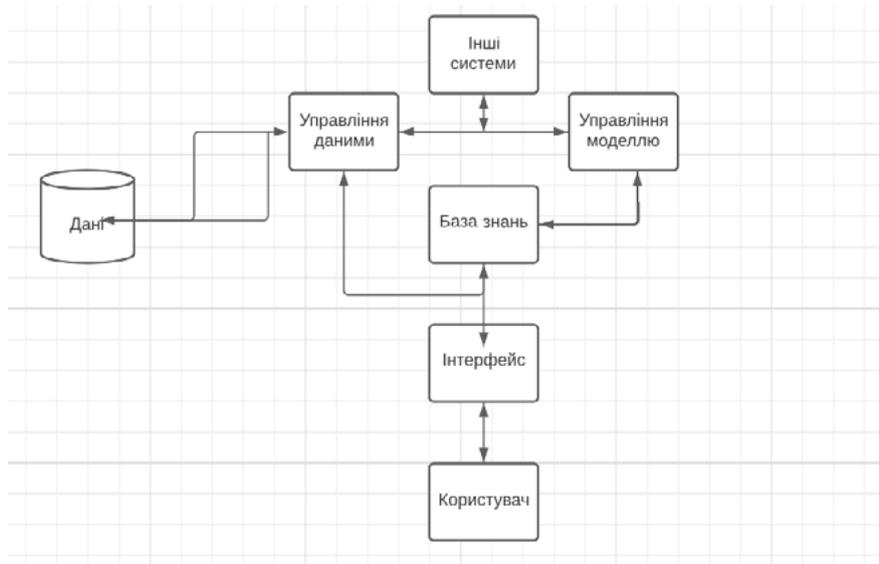


Рис. 2. Компоненти СППР

На рисунку 3 можна побачити принципи роботи алгоритму СППР для аналізу зображень. Спочатку дані зображень зчитуються та приводяться до одного формату. Далі за допомогою методів навчання нейронмережі потрібно видалити шум, сегментувати зображення, виділивши зони вогню, перетворити колір, проаналізувати межі та ключові точки. На основі цього формується оцінка зображення. Алгоритм повторюється протягом кількох циклів для отримання більш точних результатів передбачення. Натренована нейронна мережа використовується для аналізу зображень. На рис. 4 можна побачити загальний алгоритм, як працює нейронна мережа. На рис. 5 зображено діаграму, яка показує принцип роботи СППР.

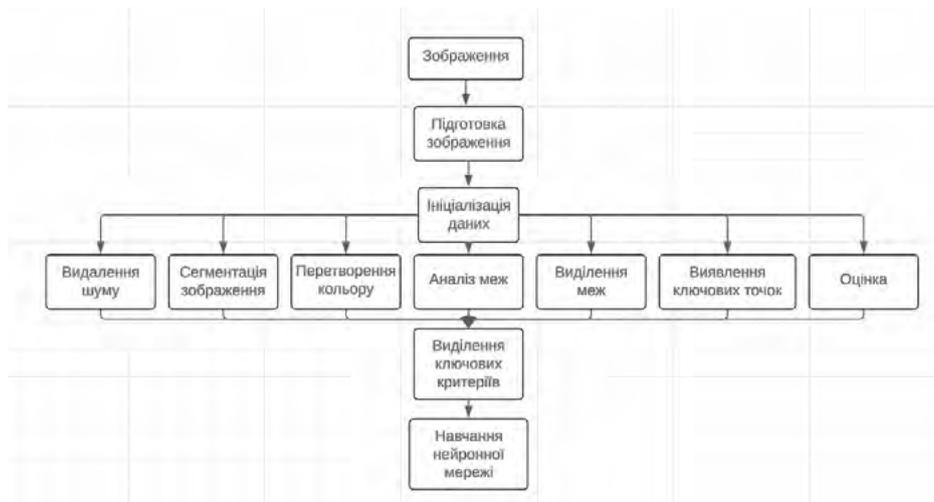


Рис. 3. Алгоритм аналізу зображень СППР

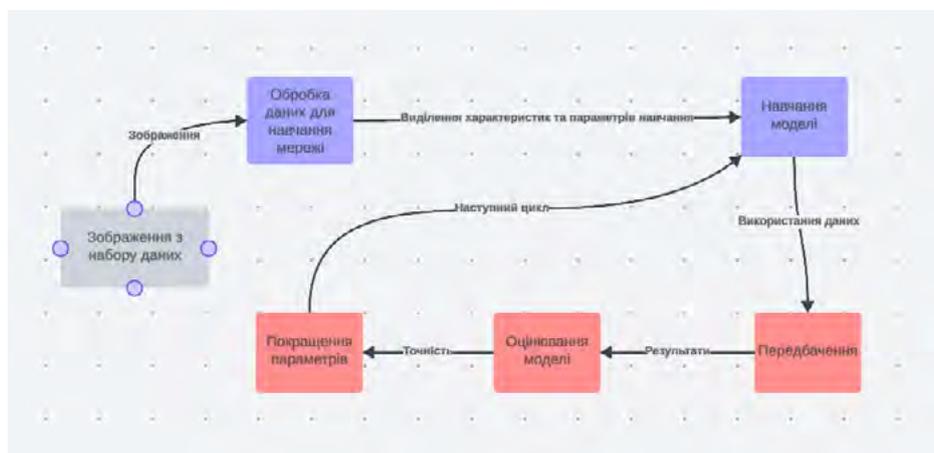


Рис. 4. Алгоритм роботи згорткової нейронної мережі

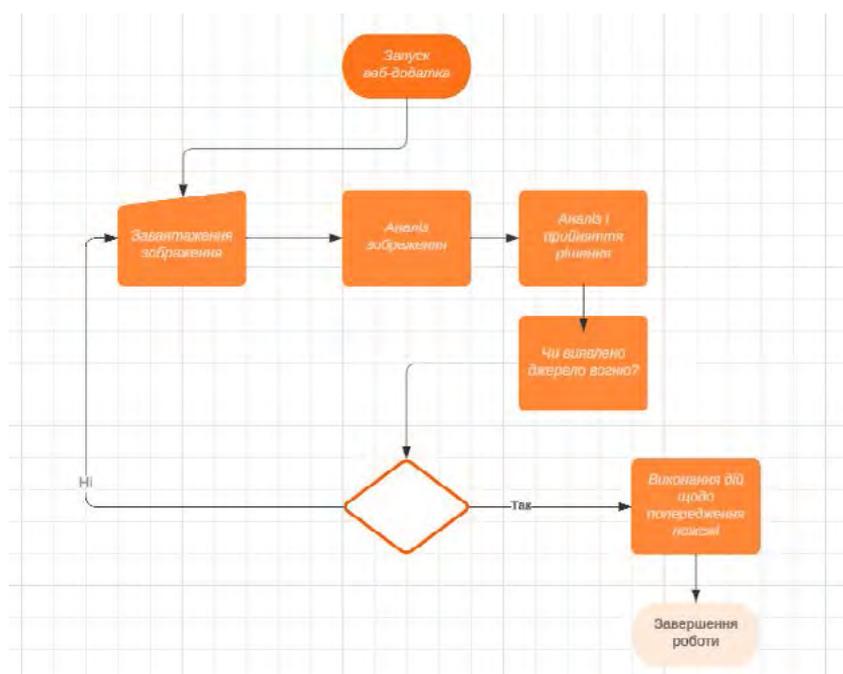


Рис. 5. Алгоритм роботи СППР

На основі побудованих моделей було розроблено алгоритм навчання згорткової нейронної мережі [15–18, 20].

Розробка нейронної мережі для навчання системи підтримки прийняття рішень. Після первинної обробки зображень та їх аналізу було розроблено алгоритм навчання нейронної мережі. Для побудови моделі оптимальним рішенням є об'єднання всіх ознак. На рис. 6 можна побачити графік з кривою точності та витрат навчання нейронної мережі [12–13].

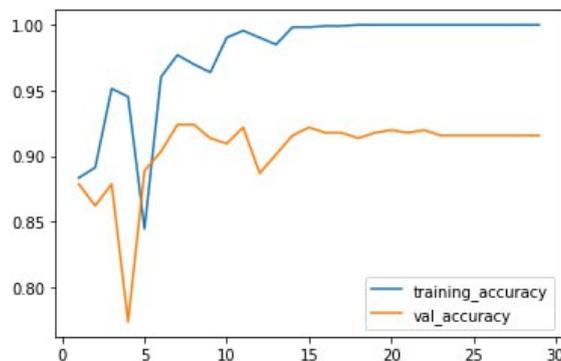


Рис. 6. Результати роботи нейронної мережі

На основі прогнозів цієї моделі на невідомому тестовому наборі даних оцінювана точність моделі становить 92%. Це підтверджує гіпотезу про те, що об'єднання всіх ознак є більш ефективним для виявлення усіх вогневих патернів на зображеннях.

Діагональні елементи наведеної матриці виглядають дуже перспективно. Із 694 тестових зразків даних 309, що містили вогонь, було передбачено як «вогонь», 299 зображень без вогню було передбачено як «відсутність вогню», а 25 зображень, що відображали початкові стадії вогню, було класифіковано під категорією «початкова стадія вогню».

Висновки

Реагування на виникнення природних катастроф – це безперервний процес прийняття рішень на основі минулого досвіду, оскільки сценарій розвитку визначається катастрофою, доки він не закінчиться.

У результаті проведеного дослідження було розроблено архітектуру та модель СППР. Було проаналізовано набір даних із супутникових зображень. Побудовано згорткову нейронну мережу та наведено результати її роботи. Розроблена система підтримки прийняття рішень показує гарні результати виявлення вогню на ранніх стадіях, але є ще можливості для подальшого вдосконалення алгоритму.

Список використаної літератури

1. Ardito, L.; Scuotto, V.; Del, G.M. A bibliometric analysis of research on Big Data analytics for business and management. *Manag. Decis.* 2019.
2. Elia, G.; Polimeno, G.; Solazzo, G. A multi-dimension framework for value creation through big data. *Ind. Mark. Manag.* 2019.
3. Hayes, D.R.; Cappa, F. Open-source intelligence for risk assessment. *Bus. Horiz.* 2018.
4. Jeble, S.; Patil, Y. Role of Big Data in Decision Making. *Oper. Supply Chain Manag. Int. J.* 2018.
5. Shvaiko, V., Bandurka, O., Shpuryk, V., & Havrylko, Y. V. Methods for detecting fires in ecosystems using low-resolution space images. *Informatyka, Automatyka, Pomiaru W Gospodarce I Ochronie Środowiska.* No 11(1). 2021. Pp. 15–19.
6. Simões-Marques, M.; Figueira, J.R. How Can AI Help Reduce the Burden of Disaster Management Decision-Making? In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018.
7. А.-М. Барт-Деланое та ін. Керована подіями гнучкість взаємодії під час виконання процесів спільної роботи. *Системи підтримки прийняття рішень.* 2014.
8. Ардіто, Л.; Скуотто, В.; Дель, Г.М. Бібліометричний аналіз досліджень аналітики великих даних для бізнесу та управління. *Децис,* 2019.
9. Барабаш О., Бандурка О., Шпурик В., Свинчук О. Інформаційна система аналізу геоданих для відслідковування змін рослинності. *Сучасні інформаційні системи.* 2021. Том 5, №4. С. 17–25. doi: <https://doi.org/10.20998/522-9052.2021.4.03>

10. Бінсон Зе, Сюепін Чжао, Чжіо Чжо і Жей Фан. Реалізація алгоритму виявлення пожежі на DSP TMS320DM642 за допомогою MATLAB/Simulink. [Електронний ресурс] URL: https://www.researchgate.net/publication/266646537_Implementation_of_a_Fire_Detection_Algorithm_on_TMS320DM642_DSP_using_MATLABSimulink (дата доступу: 10.04.2024).
11. Борючись із лісовою пожежею та пандемією, Україна стикається з новим ворогом: наземними мінами. [Електронний ресурс] URL: <https://www.nytimes.com/2020/10/03/world/europe/ukraine-wildfires-landmines.html> (дата звернення: 10.04.2024).
12. Джебл, С.; Патіл Ю. *Роль великих даних у прийнятті рішень. опер. Управління ланцюгом поставок*. 2018.
13. Журавль І.М. Короткий курс теорії обробки зображень. [Електронний ресурс] URL: <https://hub.exponenta.ru/post/kratkiy-kurs-teorii-obrabotki-izobrazheniy734> (дата звернення: 10.04.2024).
14. Зацерковний В., Савков П., Пампуха І., Васецька К. *Застосування технологій ГІС та ДЗЗ в задачах моніторингу лісових пожеж*. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. № 2(44). 2020. С. 54–58.
15. Кветний Р.Н., Богач І.В., Бойко О.Р., Софіна О.Ю., Шушура О.М. Комп'ютерне моделювання систем і процесів. Методи обробки. Частина 2. [Електронний ресурс] URL: https://web.posibnyku.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp%27yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/zm2..htm (дата звернення: 10.04.2024).
16. Пітак І.В., Негадайлов А.А., Масікевич Ю.Г., Пляцук Л.Д., Шапорев В.П., Моїсєєв В.Ф. *Геоінформаційні технології в екології*. – Чернівці, 2012. – 273 с. [Електронний ресурс] URL: https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/Ekolohichna-heoinformatyka_literatura-dlia-lektsiy.pdf (дата звернення: 10.04.2024).
17. Р. Огер та ін. До автоматизації підтримки прийняття рішень для управління ризиками ланцюга постачання серед зацікавлених сторін логістичної мережі. IFAC-PapersOnLine. 2018 рік.
18. Сімоїнс-Маркес, М.; Фігейра, Дж. Р. Як штучний інтелект може допомогти зменшити тягар прийняття рішень щодо боротьби зі стихійними лихами? У Міжнародній конференції з прикладних людських факторів та ергономіки. Springer: Берлін/Гайдельберг, Німеччина. 2018.
19. Тургай Челік. Швидкий і ефективний метод виявлення пожежі за допомогою обробки зображень. [Електронний ресурс] URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4218/etrij.10.0109.0695> (дата звернення: 10.04.2024).
20. Хейс, Д. Р.; Каппа, Ф. Розвідка з відкритим джерелом для оцінки ризику. Автобус. Гориз, 2018.

References

1. Ardito, L.; Scuotto, V.; Del, G.M. A bibliometric analysis of research on Big Data analytics for business and management. *Manag. Decis.* 2019.
2. Elia, G.; Polimeno, G.; Solazzo, G. A multi-dimension framework for value creation through big data. *Ind. Mark. Manag.* 2019.
3. Hayes, D.R.; Cappa, F. Open-source intelligence for risk assessment. *Bus. Horiz.* 2018.
4. Jeble, S.; Patil, Y. Role of Big Data in Decision Making. *Oper. Supply Chain Manag. Int. J.* 2018.
5. Shvaiko, V., Bandurka, O., Shpuryk, V., & Havrylko, Y. V. Methods for detecting fires in ecosystems using low-resolution space images. *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*. No 11(1). 2021. 15–19 pp.
6. Simões-Marques, M.; Figueira, J.R. How Can AI Help Reduce the Burden of Disaster Management Decision-Making? In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018.
7. А.-М. Bart-Delanoye та ін. Керувана подियamy hnuchkist' vzyayemodiyi pid chas vykonannya protsesiv spil'noyi roboty [Event-driven collaboration agility when executing collaborative processes]. *Systemy pidtrymky pryynyattya rishen'* [Decision Support Systems]. 2014. (in Ukrainian)
8. Ardito, L.; Scuotto, V.; Del', H.M. Bibliometrychnyy analiz doslidzhen' analityky velykykh danykh dlya biznesu ta upravlinnya [Bibliometric Analysis of Big Data Analytics Research for Business and Management]. *Detsys*, 2019. (in Ukrainian)
9. Barabash O., Bandurka O., Shpuryk V., Svynchuk O. *Informatsiyna systema analizu heodanykh dlya vidslidkovuvannya zmin roslynnosti [Geodata Analysis Information System for Tracking Vegetation Changes]. Suchasni informatsiyni systemy [Modern Information Systems]*. 2021. Volume 5, #4. 17–25 pp. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.4.03>. (in Ukrainian)
10. Binson Ze, Syuepin Chzhao, Chzhio Chzho i Zhey Fan. Realizatsiya alhorytmu vyyavlennya pozhezhi na DSP TMS320DM642 za dopomohoyu MATLAB/Simulink [Implementation of the fire detection algorithm on DSP TMS320DM642 using MATLAB/Simulink]. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/266646537_Implementation_of_a_Fire_Detection_Algorithm_on_TMS320DM642_DSP_using_MATLABSimulink (accessed 10 April 2024). (in Ukrainian)
11. Boryuchys' iz lisovoyu pozhezheyu ta pandemiyeyu, Ukrayina stykayet'sya z novym vorohom: nazemnymy minamy [Fighting a wildfire and pandemic, Ukraine faces a new enemy: landmines]. Retrieved from: <https://www.nytimes.com/2020/10/03/world/europe/ukraine-wildfires-landmines.html> (accessed 10 April 2024). (in Ukrainian)

12. Dzhebl, S.; Patil Yu. Rol' velykykh danykh u pryynyatti rishen'. oper. Upravlinnya lantsyuhom postavok [The role of big data in decision-making. Operas. Supply Chain Management]. 2018. (in Ukrainian)
13. Zhuravl' I.M. Korotky kurs teoriiy obrobky zobrazen' [A Short Course in Image Processing Theory]. Retrieved from: <https://hub.exponenta.ru/post/kratkiy-kurs-teorii-obrabotki-izobrazheniy734> (accessed 10 April 2024). (in Ukrainian)
14. Zatserkovnyy V., Savkov P., Pampukha I., Vasets'ka K. Zastosuvannya tekhnolohiy HIS ta DZZ v zadachakh monitorynahu lisovykh pozhezh [Application of GIS and remote sensing technologies in the tasks of forest fire monitoring]. *Visnyk Kyyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viys'kovo-spetsial'ni nauky* [Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Military Special Sciences.]. # 2(44). 2020. 54–58 pp. (in Ukrainian)
15. Kvyetnyy R.N., Bohach I.V., Boyko O.R., Sofina O.Yu., Shushura O.M. Komp'yuterne modelyuvannya system i protsesiv. Metody obrobky. Chastyna 2 [Computer simulation of systems and processes. Processing methods. Section 2]. Retrieved from: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp%27yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/zm2..htm (accessed 10.04.2024). (in Ukrainian)
16. Pitak I.V., Nehadaylov A.A., Masikevych Yu.H., Plyatsuk L.D., Shaporyev V.P., Moiseyev V.F. Heoinformatsiyni tekhnolohiyi v ekolohiyi [Geoinformation Technologies in Ecology]. Chernivtsi, 2012. 273 p. Retrieved from: https://geology.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/Ekologichna-heoinformatyka_literatura-dlia-lektsiy.pdf (accessed 10 April 2024). (in Ukrainian)
17. R. Oher ta in. Do avtomatyzatsiyni pidtrymky pryynyattya rishen' dlya upravlinnya ryzykamy lantsyuha postachannya sered zatsikavlenykh storin lohistrychnoyi merezhi [Towards automating decision support for supply chain risk management among logistics network stakeholders]. IFAC-PapersOnLine. 2018. (in Ukrainian)
18. Simoyns-Markes, M.; Fiheyra, Dzh. R. Yak shuchnyy intelekt mozhe dopomohty zmenshyty tyahar pryynyattya rishen' shchodo borot'by zi stykhiynymy lykhamy? U Mizhnarodniy konferentsiyi z prykladnykh lyuds'kykh faktoriv ta erhonomiky [How Can Artificial Intelligence Help Reduce the Burden of Disaster Management Decision-Making? At the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics]. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. 2018. (in Ukrainian)
19. Turhay Chelyk. Shvydkyy i efektyvnyy metod vvyavlennya pozhezhi za dopomohoyu obrobky zobrazen' [Fast and Efficient Method of Fire Detection Using Image Processing]. Retrieved from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4218/etrij.10.0109.0695> (accessed 10 April 2024). (in Ukrainian)
20. Kheys, D. R.; Kappa, F. Rozvidka z vidkrytych dzherelom dlya otsinky ryzyku [Open Source Intelligence for Risk Assessment]. Avtobus. Horyz, 2018. (in Ukrainian)

О. Г. ЗІНОВ'ЄВА

старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
ORCID: 0000-0003-3760-8952

ОГЛЯД ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОБОТИ З НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ

Одними з найважливіших областей досліджень та розробок сучасної кібернетики є галузі машинного навчання, розпізнавання образів та комп'ютерного зору. Прискорення темпів розвитку технологій інформаційного суспільства, розвиток робототехніки, розвиток концепцій «розумний дім» та «розумне місто», розвиток інтернету речей та систем штучного інтелекту визначають цій галузі особливе місце в сучасному науковому знанні. Багато прикладних завдань у практиці сучасного програмування використовуються методи збору даних, кластеризації і класифікації, методи статистичного вивода. У повсякденне життя, як і в корпоративне, і в промислове середовище починають впроваджуватися технології, що поступово стирають межу між реальним і віртуальним простором, що вимагає нового якісного рівня повсюдно впроваджуваних технологій розпізнавання, чия сфера застосування останніми роками виросла колосально: завдання розпізнавання, що вважались найскладнішими раніше. сьогодні цілодобово вирішуються мобільними пристроями пересічних громадян. Комп'ютеризовані простори з вираженою топологією, такі як «розумний дім» рядового користувача, розрахована на багато користувачів доповнена і розрахована на багато користувачів віртуальна реальності різного ступеня занурення, ускладнюється штучний інтелект в комп'ютерних іграх різного призначення вимагають нових ідей і підходів, нового рівня точності і швидкості розпізнавання.

Ця стаття присвячена порівняльному аналізу деяких програмних інструментів глибокого навчання, яких останнім часом з'явилося безліч [1]. До таких інструментів відносяться програмні бібліотеки, розширення мов програмування, а також самостійні мови, що дозволяють використовувати готові алгоритми створення та навчання нейромережових моделей. Існуючі інструменти глибокого навчання мають різний функціонал та вимагають від користувача різного рівня знань та навичок. Правильний вибір інструмента – важливе завдання, що дозволяє досягти необхідного результату за найменший час і з меншою витратою сил.

Ключові слова: машинне навчання, нейронні мережі, бібліотеки.

O. G. ZINOVIEVA

Senior Lecturer at the Department of Computer Sciences
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
ORCID: 0000-0003-3760-8952

OVERVIEW OF SOFTWARE FOR WORKING WITH NEURAL NETWORKS

One of the most important areas of research and development in modern cybernetics are the fields of machine learning, pattern recognition, and computer vision. The acceleration of the pace of development of information society technologies, the development of robotics, the development of the "smart home" and "smart city" concepts, the development of the Internet of Things and artificial intelligence systems determine this field's special place in modern scientific knowledge. Many applied tasks in the practice of modern programming use methods of data collection, clustering and classification, methods of statistical inference. In everyday life, as well as in the corporate and industrial environment, technologies are beginning to be introduced that gradually erase the border between real and virtual space, which requires a new qualitative level of universally implemented recognition technologies, whose scope of application has grown enormously in recent years: recognition tasks that were considered the most difficult before. today are solved around the clock by the mobile devices of ordinary citizens. Computerized spaces with a pronounced topology, such as the "smart home" of an ordinary user, designed for many users augmented and designed for many users of virtual reality of various degrees of immersion, artificial intelligence in computer games for various purposes require new ideas and approaches, new level of accuracy and speed of recognition

This article is devoted to a comparative analysis of some deep learning software tools, many of which have appeared recently [1]. Such tools include software libraries, extensions of programming languages, as well as independent languages that allow the use of ready-made algorithms for creating and training neural network models. Existing deep learning tools have different functionality and require different levels of knowledge and skills from the user. Choosing the right tool is an important task that allows you to achieve the desired result in the shortest time and with less effort.

Key words: machine learning, neural networks, libraries.

Постановка проблеми

В останні роки методи глибокого навчання – нейронні мережі – дозволили досягнути великих успіхів в таких галузях, як комп'ютерний зір, обробка природної мови, обробка аудіо. Нейронні мережі використовуються для розв'язання складних задач, які потребують аналітичних обчислень, аналогічних тим, які виконує людський мозок. Однією з причин широкого застосування глибоких нейронних мереж є та, що мережа автоматично виділяє з даних важливі ознаки, необхідні для розв'язання задачі. Бібліотеки нейронних мереж є важливими складовими сучасних моделей глибокого навчання. Бібліотеки є важливими програмними інструментами, які прискорюють та спрощують роботу з алгоритмами, створення та навчання нейронних мереж. Однак на даний момент існує велика кількість бібліотек, на вибір яких доведеться витратити багато часу. У цій статті було розглянуто основні програмні модулі для роботи з нейронними мережами. Дослідження показало, що вибір бібліотеки залежатиме від низки умов: обмеження обчислювальних потужностей, операційної системи, мови програмування, і які дані потрібно обробляти. Результати дослідження розширюють знання про бібліотеки для нейронних мереж.

В даний час машинне навчання є областю наукових досліджень, що активно розвивається. Це з можливістю швидко збирати і обробляти дані, і навіть з можливістю виявлення цих даних різних законів, якими протікають різні процеси. Коли визначити такий закон є досить складним, використовують глибоке навчання. У цій роботі наводиться порівняння бібліотек глибокого навчання таких як Caffe, Pylearn2, PyTorch, Theano та TensorFlow.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зростання популярності глибоких нейронних мереж, яке відбувається в останні роки можна пояснити різними факторами. По-перше, зросла продуктивність комп'ютерів, що дозволило навчати глибокі нейронні мережі значно швидше та з більш високою точністю [4]. Раніше тих обчислювальних потужностей не вистачало для навчання якоїсь складної мережі, яка застосовувалась для рішення практичних завдань. По-друге, був накоплений великий обсяг даних, який необхідний для навчання глибоких нейронних мереж. До того ж розроблені методи, які дозволяють швидко і якісно навчати мережі, що складаються зі ста та більше шарів [5]. Ці ознаки привели до прогресу в навчанні нейронних мереж та їх практичному використанню.

Формулювання мети дослідження

Мета даного дослідження – розглянути різні методи, що використовуються для глибокого навчання нейронних мереж, виділити галузі застосування таких засобів, а також показати нові шляхи та тенденції їх розвитку.

Викладення основного матеріалу дослідження

Існує безліч програмних засобів для вирішення завдань глибокого навчання, які надають широкі можливості для створення, навчання та застосування нейронних мереж у різних галузях.

Програмні бібліотеки DeepLearnToolbox, Theano, Pylearn2, Deepnet, Torch, Darch реалізують найширший спектр методів глибокого навчання. Розробники надають можливості для створення пов'язаних нейромереж (fully connected neural network, FC NN), згорткових нейронних мереж (convolutional neural network, CNN), автокодувальників (autoencoder, AE) та обмежених машин Больцмана (restricted Boltzmann machine, RBM). Простота інших бібліотек, таких як Caffe, nnForge, Cuda CNN та інші, незважаючи на те, що вони мають меншу функціональність, у деяких випадках допомагає досягти більшої продуктивності [7].

Для програмування нейронних мереж в даний час найчастіше використовується мова Python завдяки безлічі бібліотек з набором вбудованих математичних функцій. Python – проста у вивченні мова, яка активно використовується в шкільній та університетській освіті. Через це він набув популярності не лише в промисловому програмуванні, але й серед професіоналів, які використовують програмування як інструмент дослідження. Істотним недоліком Python є його низька продуктивність, яку можна подолати, написавши критичні частини програмного забезпечення на скомпільованій мові (зазвичай це C або C++) або за допомогою перекладача cython [5]. Багато бібліотек машинного навчання також написані двома або більше мовами. Частина програмного забезпечення, яка обробляє основну частину обчислень, зазвичай реалізована на C або C++ (основна частина або бекенд). Розглянемо деякі з найбільш поширених бібліотек.

Бібліотека Caffe – це відкрита бібліотека глибокого навчання, яка розроблена групою вчених з університету Берклі. Вона спроектована для ефективної реалізації конволюційних нейронних мереж та глибоких нейронних мереж у загальному. Однією з ключових особливостей Caffe є його швидкодія, що робить її популярним вибором для багатьох дослідників та розробників.

Caffe реалізована з використанням мови програмування C++, є обгортки на Python та MATLAB. Офіційно підтримувані операційні системи – Linux і OS X, також неофіційний порт на Windows. Caffe використовує бібліотеку BLAS (ATLAS, Intel MKL, OpenBLAS) для векторних та матричних обчислень. Поряд з цим, до зовнішніх залежностей входять glog, gflags, OpenCV, protoBuf, boost, leveldb, nappy, hdf5, lmdb. Для прискорення обчислень Caffe може бути запущена на GPU з використанням базових можливостей технології CUDA або бібліотеки примитивів глибокого навчання cuDNN.

Розробники Caffe підтримують можливість створення, навчання та тестування повністю пов'язаних та згорткових нейромереж. Вхідні дані та перетворення описуються поняттям шару. Залежно від формату зберігання можна використовувати такі типи шарів вихідних даних:

- DATA – визначає шар даних у форматі leveldb та lmbd;
- HDF5_DATA – шар даних у форматі hdf5;
- IMAGE_DATA – простий формат, який передбачає, що у файлі наведено список зображень із зазначенням мітки класу та інші.

У процесі навчання моделей застосовують різні методи оптимізації. Розробники Caffe надають реалізацію низки методів:

- стохастичний градієнтний спуск (Stochastic Gradient Descent, SGD);
- алгоритм з адаптивною швидкістю навчання (adaptive gradient learning rate algorithm, AdaGrad);
- прискорений градієнтний спуск Нестерова (Nesterov's Accelerated Gradient Descent, NAG).

У бібліотеці Caffe топологія нейромереж, вихідні дані та спосіб навчання задаються за допомогою конфігураційних файлів у форматі prototxt. Файл містить опис вхідних даних (тренувальних та тестових) та шарів нейронної мережі.

Бібліотека Caffe використовується в багатьох дослідницьких лабораторіях, компаніях та навчальних закладах для розробки та застосування нейронних мереж для різних завдань у галузі штучного інтелекту та комп'ютерного зору.

Бібліотека Pylearn2 – це бібліотека для машинного навчання та глибокого навчання, яка розроблена на мові програмування Python. Вона є продовженням і покращенням попередньої бібліотеки Pylearn, і має багато функцій, спрямованих на полегшення створення та навчання глибоких нейронних мереж

У Pylearn2 підтримується можливість створення повністю пов'язаних та згорткових нейромереж, різних видів автокодувальників (Contractive Auto-Encoders, Denoising Auto-Encoders) та обмежених машин Больцмана (Gaussian RBM, the spike-and-slab RBM). Передбачено кілька функцій помилки: крос-ентропія (cross-entropy), логарифмічна правдоподібність (log-likelihood). Є такі методи навчання:

- пакетний градієнтний узвіз (Batch Gradient Descent, BGD);
- стохастичний градієнтний узвіз (Stochastic Gradient Descent, SGD);
- нелінійний метод сполучених градієнтів (Nonlinear conjugate gradient descent, NCG).

У бібліотеці Pylearn2 нейромережі задаються за допомогою їх опису в конфігураційному файлі YAML. YAML-файли є зручним та швидким способом серіалізації об'єктів, оскільки вона розроблена з використанням методів об'єктно-орієнтованого програмування

PyTorch – це бібліотека для машинного навчання та глибокого навчання, яка розроблена компанією Facebook. Вона широко використовується для створення та навчання нейронних мереж, включаючи звичайні нейронні мережі, згорткові мережі, рекурентні мережі та трансформери. Ось деякі ключові особливості бібліотеки PyTorch:

а) динамічний граф обчислень: однією з основних особливостей PyTorch є його підтримка динамічних графів обчислень. це дозволяє реалізувати складні моделі з умовними операторами та зворотним розповсюдженням помилок без необхідності визначення графа попередньо, як у tensorflow;

б) простота використання: PyTorch має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє легко створювати, навчати та використовувати нейронні мережі;

в) гнучкість та розширюваність: вона має модульну архітектуру, яка дозволяє легко розширювати функціональність та додавати нові модулі;

г) підтримка GPU: PyTorch підтримує виконання обчислень на графічних процесорах (gpu), що дозволяє прискорити навчання моделей;

д) інтеграція з іншими бібліотеками: вона може бути легко інтегрована з іншими бібліотеками для машинного навчання та глибокого навчання, такими як TensorFlow, що розширює її можливості та робить її більш потужним інструментом для розробки нейронних мереж.

Фреймворк створено на базі Torch, бібліотеки для мови Lua, яка призначена для математичних розрахунків та машинного навчання. Але його особливість – дотримання стилю Python і філософії програмування цією мовою.

PyTorch набуває все більшої популярності серед дослідників та розробників завдяки своїй гнучкості, простоті використання та потужним можливостям для розробки та навчання нейронних мереж.

Бібліотека Theano – це відкрита бібліотека для машинного навчання та глибокого навчання, розроблена на мові програмування Python. Вона дозволяє розробляти та оптимізувати математичні вирази, що використовуються в машинному навчанні, зокрема, для створення та навчання нейронних мереж. Ось деякі ключові особливості бібліотеки Theano

Бібліотека реалізована мовою Python, підтримується на операційних системах Windows, Linux та Mac OS. До складу Theano входить компілятор, який перекладає математичні вирази, написані мовою Python в ефективний код C або CUDA.

Theano надає базовий набір інструментів конфігурації нейромереж та їх навчання. Можлива реалізація багатшарових пов'язаних мереж (Multi-Layer Perceptron), згорткових нейромереж (CNN), рекурентних нейронних мереж (Recurrent Neural Networks, RNN), автокодувальників та обмежених машин Больцмана. Також передбачені

різні функції активації, зокрема сигмоїдальна, softmax-функція, крос-ентропія. У процесі навчання використовується пакетний градієнтний спуск (Batch SGD).

Бібліотека TensorFlow – це відкрита бібліотека для машинного навчання та глибокого навчання, розроблена компанією Google. Вона надає широкий спектр інструментів для розробки та навчання нейронних мереж, включаючи звичайні шаровані нейронні мережі, згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі та багатошарові перцептрони.

Ключові особливості бібліотеки TensorFlow:

а) гнучкість: TensorFlow надає різні інструменти та інтерфейси для створення та налаштування різноманітних типів моделей нейронних мереж, що робить його гнучким для різних завдань машинного навчання;

б) швидкість та ефективність: TensorFlow використовує оптимізовані обчислення для роботи з великими обсягами даних та великими моделями нейронних мереж. Він може використовувати GPU та TPU для прискорення обчислень;

в) візуалізація: TensorFlow має інструменти для візуалізації графів обчислень, що допомагає розуміти та аналізувати структуру моделей;

г) модульність: TensorFlow побудований з урахуванням модульності, що дозволяє використовувати його як від індивідуальних компонентів, так і в якості повноцінного фреймворку для машинного навчання;

д) підтримка різних мов програмування: Ви можете використовувати TensorFlow з різними мовами програмування, такими як Python, C++, Java та інші.

TensorFlow підтримує кілька мов програмування. Головний з них – це Python. Крім того, є окремі пакети для C/C++, Golang та Java. А ще форк TensorFlow.js для виконання коду на стороні клієнта, в браузері, на JavaScript

TensorFlow використовується в різних галузях, включаючи комп’ютерний зір, обробку природної мови, генетику, медицину та інші, і вона залишається однією з найпопулярніших бібліотек для глибокого навчання у світі.

Порівняння бібліотек для роботи з нейронними мережами, такими як TensorFlow, PyTorch, та інші, може бути корисним для визначення найбільш підходящого інструменту для конкретного проекту.

Основні критерії, за якими порівнюються бібліотеки:

а) швидкодія бібліотек для нейронних мереж може бути розглянута у контексті навчання моделей та інференції (використання моделей для передбачень);

б) легкість використання може включати як простоту встановлення та конфігурування, так і зручний інтерфейс програмування;

в) документація та підтримка;

г) гнучкість та розширюваність – важливі характеристики, які дозволяють легко використовувати та розширювати функціонал для вирішення різноманітних завдань у галузі машинного навчання та глибокого навчання;

д) інтеграція з іншими бібліотеками може бути ключовим аспектом в розвитку складних програмних продуктів, особливо в галузі машинного навчання та глибокого навчання, де використовуються різноманітні інструменти та технології

В таблиці 1 наведені порівняльні характеристики бібліотек Caffe, Pylearn2, PyTorch, Theano та TensorFlow за різними критеріями.

Таблиця 1

Порівняння бібліотек за різними критеріями

Критерій	Caffe	Pylearn2	PyTorch	Theano		TensorFlow
Модель програмування	Статичний граф обчислень	Не визначено	Динамічний граф обчислень	Статичний граф обчислень		Статичний граф обчислень
Швидкодія	++	+	+	++		++
Легкість використання	+	+	++	+		+
Документація та підтримка	++	+	+	+		++
Гнучкість та розширюваність	+	++	++	++		++
Інтеграція з іншими бібліотеками	+	-	+	+		+

Примітки:

++: Дуже високий рівень підтримки або функціональності.

+: Посередній рівень підтримки або функціональності.

-: Низький рівень підтримки або функціональності.

Ці бібліотеки мають різні особливості та сильні сторони, тому вибір між ними може залежати від конкретних потреб вашого проекту, вашого досвіду та інших факторів. Наприклад, Caffe може бути корисним для швидкого прототипування моделей у задачах комп’ютерного зору, тоді як PyTorch може бути популярним серед дослідників

та шукачів індивідуальності за рахунок його динамічного графу обчислень та легкості використання. TensorFlow, з іншого боку, може бути відмінним вибором для великих проєктів з глибоким навчанням завдяки своїй широкій підтримці та високій ефективності.

Висновки

На основі порівняння різних бібліотек можна зробити ряд висновків. Майже всі бібліотеки, крім PyTorch, показують приблизно однаковий час навчання. У випадку PyTorch довший час навчання можна пояснити підтримкою динамічного обчислювального графіка, який, очевидно, вимагає додаткових обчислювальних витрат. У свою чергу, TensorFlowlibrary показала середній результат точності, поступаючись PyTorch і Theano.

Список використаної літератури

1. Новотарський М.А., Нестеренко Б.Б. Штучні нейронні мережі: обчислення. Праці Інституту математики НАН України. Т. 50. Київ : Ін-т математики НАН України, 2004. 408 с.
2. Кононюк А.Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. Київ : «Корнійчук», 2008. 446 с.
3. M. Gupta Madan, Jin Liang & Homma Noriyasu. Gupta Statistic and Dynamic Neural Networks : From Fundamentals to Advanced Theory. USA : IEEE Press, 2003. 722 p.
4. Ciresan D.C., Meier U., Gambardella L.M. Schmidhuber J. Deep, Big, Simple Neural Nets for Handwritten Digit Recognition. Neural Computation. 2010. vol. 22, no. 12. pp. 3207–3220.
5. He K., Zhang X., Ren S., et al. Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Las Vegas, NV, USA, 27–30 June 2016), 2016. pp. 770–778.
6. Hinton, G.E.: Learning Multiple Layers of Representation. In: Trends in Cognitive Sciences. Vol. 11. pp. 428–434. (2007)

References

1. Novotarskyi M.A. & Nesterenko B.B. (2004) Shtuchni neironni merezhi: obchyslennia [Artificial neural networks: calculations]. *Pratsi Instytutu matematyky NAN Ukrainy*. Kyiv : Incnbnet matematyky NAN Ukrainy [In Ukrainian]
2. Kononiuk A.Iu. (2008) Neironi merezhi i henetychni alhorytmy [Neural networks and genetic algorithms]. Kyiv : «Korniichuk» [In Ukrainian]
3. Madan M. Gupta, Jin Liang & Homma Noriyasu/(2003) Statistic and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory / M. Gupta Madan, Jin Liang, Homma Noriyasu. USA : IEEE Press,
4. Ciresan D.C., Meier U., Gambardella L.M. & Schmidhuber J. (2010) Deep, Big, Simple Neural Nets for Handwritten Digit Recognition. Neural Computation. vol. 22, no. 12.
5. He K., Zhang X., Ren S., et al. (2016) Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Las Vegas, NV, USA, 27–30 June 2016).
6. Hinton, G.E. (2007) Learning Multiple Layers of Representation. In: Trends in Cognitive Sciences. Vol. 11.

В. В. КАЛЬЧЕНКОстарший викладач кафедри кібербезпеки
Сумський державний університет,
підполковникУправління Державної служби спеціального зв'язку
та захисту інформації України в Сумській області
ORCID: 0000-0001-6492-3806**В. К. ОБОДЯК**кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри кібербезпеки
Сумський державний університет,
магістрантХарківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0000-0002-8539-1252**І. О. ПУГАЧ**асистент кафедри кібербезпеки
Сумський державний університет,
магістрантСумський державний університет
ORCID: 0009-0002-9644-9357

НОРМАТИВНІ ВИМОГИ УКРАЇНИ В СФЕРІ КІБЕРЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ У ПОРІВНЯННІ З ВИМОГАМИ США ТА ЄС

У сучасних реаліях, захист персональних даних є невід'ємною складовою прогресу суспільства та суттєвою впливає на його безпеку життєдіяльності. Захист персональних даних – це не лише особиста відповідальність, але й важливий аспект функціонування держави та бізнесу. В статті розглянуто актуальне питання застосування нормативних вимог у сфері кіберзахисту для збереження персональних даних, які обробляються в інформаційно-комунікаційних системах. Система захисту персональних даних в Україні потребує ретельного дослідження та вдосконалення, а отже існує необхідність вивчення нормативних документів Сполучених Штатів Америки та Європейського Союзу, які визнані лідерами у сфері захисту персональних даних. Для цього необхідно провести порівняння нормативних вимог України, США та ЄС з акцентом на кіберзахист, а не лише на організаційні аспекти захисту.

Забезпечення кібербезпеки та захисту персональних даних – є ключовим фактором розвитку цифрової економіки України. Однак маємо зазначити, що положення американських та європейських актів щодо захисту персональних даних значно ширші, ніж у Законі України «Про захист персональних даних». Виявлення прогалин та недоліків у нормативному регулюванні кіберзахисту персональних даних в Україні є основою для подальшого покращення нормативних документів.

Впровадження норм та американського та європейського законодавства у сферу безпеки персональних даних в Україні значно посилить кіберзахист персональних даних. Що в свою чергу значно покращить рівень довіри громадян та бізнесу до держави, стимулюватиме розвиток цифрової економіки та сприятиме інтеграції України в світовий цифровий простір.

Перспективою подальших досліджень має стати розробка методики оцінки рівня кіберзахисту персональних даних в інформаційно-комунікаційних системах, розробка рекомендацій щодо кіберзахисту на основі кращих світових норм та практик, що допоможе Україні стати лідером у цій галузі.

Ключові слова: кіберзахист, персональні дані, захист інформації, нормативні вимоги, CCPA, GDPR.

V. V. KALCHENKO

Senior Lecturer at the Cybersecurity Department
Sumy State University,
Lieutenant Colonel
Office of the State Service of Special Communications
and Information Protection of Ukraine in Sumy Oblast
ORCID: 0000-0001-6492-3806

V. K. OBODIAK

Candidate of Technical Science, Associate Professor,
Associate Professor at the Cybersecurity Department
Sumy State University,
Master of Science Student
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID: 0000-0002-8539-1252

I. O. PUHACH

Assistant Lecturer at the Cybersecurity Department
Sumy State University,
Master of Science Student
Sumy State University
ORCID: 0009-0002-9644-9357

REGULATORY REQUIREMENTS OF UKRAINE IN THE FIELD OF CYBER PROTECTION OF PERSONAL DATA IN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS IN COMPARISON WITH THE REQUIREMENTS OF THE USA AND THE EU

In today's realities, the protection of personal data is an integral part of the society's progress and has a significant impact on its safety. Protection of personal data is not only a personal responsibility, but also an important aspect of the functioning of the state and business. The article deals with the topical issue of the application of regulatory requirements in the field of cyber protection for the preservation of personal data processed in information and communication systems. The personal data protection system in Ukraine needs research and improvement, and therefore there is a need to study the regulatory documents of the United States of America and the European Union, which are recognized as leaders in the field of personal data protection. It is necessary to compare the regulatory requirements of Ukraine, the USA and the EU with an emphasis on cyber protection, but not just on the protection of personal data.

Ensuring cyber security and protection of personal data is a key factor in the development of Ukraine's digital economy. However, it's noteworthy that the provisions of the American and European acts on the protection of personal data are much broader than mentioned in Ukraine's Law "On the Protection of Personal Data". The identification of gaps and deficiencies in the regulations of cyber protection of personal data in Ukraine is the basis for further improvement of regulatory documents.

The implementation of norms and regulatory principles of American and European legislation in the field of personal security in Ukraine will significantly strengthen the cyber protection of personal data. For example, this will significantly improve the trust level of citizens and businesses to the state, stimulate the development of the digital economy and contribute to Ukraine's integration into the global digital space.

The perspective of further research should be the development of a methodology for assessing the level of cyber protection of personal data in information and communication systems, the development of recommendations for the implementation of the best global norms and practices, which will help Ukraine become a leader in this field.

Key words: cybersecurity, personal data, information protection, regulatory requirements, CCPA, GDPR.

Постановка проблеми

Цифровий та інформаційний розвиток суспільства значно розширив можливості спілкування на відстані. Ведення бізнесу, фінансові операції, обмін інформацією стали швидкими та доступними завдяки мережі Інтернет. Цей стрімкий розвиток, окрім безперечних переваг, несе за собою й нові виклики, пов'язані з кібербезпекою. Підприємства стикаються з ризиком кібератак, крадіжок даних та інших загроз, а це може призвести до значних фінансових втрат та шкоди репутації. Водночас зростає проблема кіберзахисту персональних даних громадян, які обробляються в інформаційно-комунікаційних системах та вимагає посилення заходів для їх захисту від несанкціонованого доступу, використання та розкриття. Беззаперечно можна стверджувати, що темпи розвитку законодавства не завжди відповідають динаміці розвитку технологій, у свою чергу це призводить до проблем з правовим регулюванням кібервзаємовідносин, особливо в питаннях захисту персональних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Тема захисту персональних даних набула значної популярності в наукових дослідженнях.

Деякі з них зосереджуються на аналізі викликів для конфіденційності користувачів та захисту персональних даних в контексті Інтернету речей [1]. Інші дослідження [2] розглядають необхідність регулювання конфіденційності даних та штучного інтелекту з позицій Загального європейського регламенту захисту даних (GDPR) [3]. Також існують роботи, де аналізуються проблеми особистої інформаційної безпеки та пропонуються шляхи вдосконалення кримінальної відповідальності з точки зору інформаційної безпеки громадян [4]. Також розпочато порівняння характеристик нормативних вимог України та ЄС у сфері кіберзахисту персональних даних [5].

Варто зауважити, що більшість дослідників зосереджуються на захисті персональних даних, нехтуючи кіберзахистом систем, де вони знаходяться, що може призвести до вразливості даних до кібератак. Необхідно приділяти однакову увагу обом аспектам: захисту даних та кіберзахисту систем в цілому для забезпечення сталості їх роботи.

Формулювання мети статті

Метою даного дослідження є проведення комплексного аналізу та порівняння нормативних вимог щодо кіберзахисту персональних даних в Україні, США та ЄС. Стаття має на меті виявлення прогалин та недоліків у нормативному регулюванні кіберзахисту персональних даних в Україні. Практична значущість дослідження полягає в тому, що розроблені рекомендації можуть бути використані для вдосконалення нормативного регулювання кіберзахисту не лише персональних даних в Україні, а й іншої інформації з обмеженим доступом, що не становить державної таємниці

Викладення основного матеріалу дослідження

Забезпечення інформаційної безпеки, в тому числі захист персональних даних, в США є важливим аспектом національної політики. Регуляторна база нормативних документів утворює сукупність федеральних законів, законів штатів, національних стандартів та стратегій, що створюють єдину правову систему для формування та проведення державної політики у сфері безпеки інформації, яка циркулює в інформаційних системах різних рівнів.

Одним із перших в світі нормативних актів, що заклали основні принципи обробки та захисту персональних даних суб'єктів став Закон США «Про приватність» (Privacy Act) [6], ухвалений у 1974 році. Законом визначено право особи на приватність, як особисте та фундаментальне, що охороняється Конституцією США й прирівнюється до основних громадянських вольностей та свобод. За суб'єктом персональних даних законом закріплено комплекс повноважень, які дозволяють здійснювати контроль за використанням своїх персональних даних федеральними відомствами та відповідними посадовими особами. До їх числа належать:

- право бути обізнаним про існування системи персональних даних;
- право бути обізнаним про цілі збору й обробки інформації;
- право на доступ до своїх персональних даних, на їхнє вивчення і отримання копії всіх даних чи їхньої частини;
- право вимагати внесення змін і доповнень у свої персональні дані.

Однак дія принципів покладених в основу цього акту значною мірою послаблюється формулюваннями, що дозволяють окремим відомствам уникати незручних вимог та значною кількістю виключень. Також варто зазначити, що з часу прийняття акту інформаційні системи значною мірою розвинулись і правове регулювання вже не відповідає сучасним умовам обробки персональних даних.

В Україні існує свій національний нормативний акт – Закон «Про захист персональних даних», який Верховна Рада України ухвалила 1 червня 2010 р. [7]. Законом утверджуються права суб'єктів персональних даних, принципи та підстави обробки персональних даних, норми щодо обробки конфіденційних категорій персональних даних, обмеження дії Закону, повноваження наглядового органу, тощо. Однак згаданий Закон не визначає вимог до комп'ютерних та інформаційних систем, в яких персональні дані циркулюють та обробляються. Закон майже цілком базується на положеннях Директиви 95/46/ЄС Європейського парламенту і Ради «Про захист фізичних осіб у зв'язку з обробкою персональних даних і вільне переміщення таких даних» від 24 жовтня 1995 року [8], яка наразі не діє і замінена Загальним регламентом із захисту персональних даних (General Data Protection Regulation – GDPR) [3].

Згідно з Планом заходів щодо імплементації Угоди про асоціацію між Україною та ЄС [9], а саме пунктом 11, Україна взяла на себе зобов'язання імплементувати норми GDPR у законодавство. У зв'язку з чим до Верховної Ради України 7 червня 2021 р. було подано проект Закону України «Про захист персональних даних» [10], який було відхилено. А 25 жовтня 2022 р. було внесено проект Закону України «Про захист персональних даних» [11], який на теперішній час перебуває на розгляді.

Усі суб'єкти, що здійснюють свою діяльність на території ЄС та обробляють персональні дані громадян ЄС на інших територіях зобов'язані дотримуватися норм Регламенту GDPR [3].

GDPR, як регламент ЄС, безпосередньо застосовується з однаковою силою в кожній з 27 держав-членів без необхідності прийняття окремих національних законів, однак він забезпечує гнучкість щодо імплементації, зміни або відступу від деяких положень в окремих країнах.

Вцілому, захист персональних даних в країнах ЄС регулюється GDPR, однак в кожній з держав існує власний галузевий нормативний акт, який імплементує чи розширює Загальний регламент.

Так, наприклад, в Австрії [12]:

- вік, за яким дитина може особисто розпоряджатися своїми персональними даними, знижено до 14 років, замість 16 в GDPR;
- регулюється система фото та відео нагляду, в частині захисту персональних даних;
- наявні стандарти обробки даних для статистичних, історичних та наукових потреб, а також у випадку невідкладної необхідності;
- не вимагається миттєве видалення даних, у випадку коли це неможливо зробити з економічних чи технічних причин.

У законодавстві Хорватії [13]:

- надано особливої уваги захисту даних неповнолітніх та прийнято відповідні регуляторні норми;
- регулюється система генетичних та біометричних даних, введено систему додаткового захисту;
- визначено особливості системи фото та відео нагляду, в частині захисту персональних даних;
- окреслені стандарти обробки даних для статистичних, історичних та наукових потреб, а також у випадку невідкладної необхідності.

Нормативні акти Чехії [14], Данії [15], Франції [16], Німеччини [17], Ірландії [18], Італії [19], Нідерланди [20], Польщі [21], Іспанія [22], Швеція [23] передбачають окремі регуляції захисту персональних даних для систем електронної комерції та маркетингу.

Акт про захист даних Фінляндії [24] встановлює:

- право громадян з 13 років розпоряджатися персональними даними на власний розсуд;
- повідомлення про витік даних має бути оголошено за 24 години, в GDPR 72 години.

Аналогічним нормативним актом в Литві [25]:

- зменшено вік вільного розпорядження персональних даних до 14 років;
- встановлено штрафи за порушення галузевого законодавства у розмірі 1–1,5% річного обороту.

Проаналізувавши нормативні акти України у сфері захисту персональних даних можна дійти висновку, що вони є застарілим та не відповідають рівню сучасного цифрового розвитку.

В нормах проекту Закону України «Про захист персональних даних» [11] можна побачити, що зміни вносяться у положення щодо доступу до персональних даних, змінюються деякі терміни та визначення, а також вводиться посада «Відповідальної особи з питань захисту персональних даних». Додатково цим проектом закону пропонується внести зміни в деякі нормативні акти, дія яких безпосередньо стосується обробки персональних даних суб'єктів, у сферах трудових відносин, електронної комерції, охорони здоров'я та електронних комунікацій. Проектом пропонується впровадження відповідальності за порушення законодавства у сфері персональних даних у вигляді штрафів.

Як зазначалося, в США система нормативного регулювання безпеки персональних даних та інформаційної безпеки в цілому є розгалуженою та децентралізованою, однак існує кілька нормативних документів, які варто розглянути.

1 січня 2020 р. набрав чинності Закон Каліфорнії про захист персональних даних споживачів (California Consumer Privacy Act – CCPA) [26], яким вносяться зміни в розділ «Персональні дані» цивільного кодексу штату Каліфорнія [27]. До основних норм, які передбачає закон можна віднести:

1. Особа, дані якої збираються, має знати яка інформація збирається та цілі її збору, а також категорії інформації яку розпорядник має розкрити на вимогу споживача.
2. Розпорядник інформації має на верифікований запит споживача видалити персональні дані особи.
3. Компанії зобов'язані повідомити споживачів про факт продажу (передачі) даних третім особам. В свою чергу споживач має право відмовитись від продажу цієї інформації.
4. Підприємство не повинно дискримінувати споживача, який користується будь-якими правами споживача відповідно до CCPA. В свою чергу компанія може стягувати іншу вартість або надавати товари чи послуги іншої якості, якщо різниця обґрунтовано пов'язана з даними, які надає споживач, і може запропонувати споживачеві фінансові стимули для збору, продажу чи видалення. особистої інформації на основі попередньої згоди.

Порівнюючи GDPR та CCPA варто зазначити, що акти регулюють майже однакові відносини, однак мають деякі відмінності. Так норми CCPA поширюються на підприємства та організації, що обробляють дані для комерційних цілей виключно на території штату Каліфорнія, на противагу ж GDPR має ширшу дію та охоплює територію ЄС. Проте обидва мають спільну рису та захищають суб'єктів персональних даних розташованих поза юрисдикцією актів. Якщо розглядати суб'єкти захисту, CCPA захищає споживачів резидентів штату. У той же час GDPR захищає ідентифікованих суб'єктів персональних даних та осіб, яких ці дані стосуються. За визначеннями «персональних даних» CCPA окрім особистої інформації, що ідентифікує, стосується чи може бути конкретно або опосередковано пов'язана не лише зі споживачем, але й з домогосподарством.

Не зважаючи на значну схожість вимог нормативних актів існує деякий ряд відмінностей. Наприклад, ССРА гарантує право відмови від використання персональних даних компаніями з метою їх подальшого продажу, однак Загальний регламент [3] такої опції не включає. Відповідно до Закону Каліфорнії персональні дані осіб віком до 16-ти років не можуть використовуватися для продажу без згоди законних представників цієї особи. Загальним регламентом передбачена обов'язкова згода законних представників на будь-яку обробку персональних даних осіб до 16-ти років. Проте GDPR надає право виправляти некоректні персональні дані та доповнювати їх, що не передбачає ССРА.

В США діє стандарт NIST Privacy Framework [28], положення якого щодо безпеки персональних даних значною мірою схожі на ССРА та GDPR з точки зору практик та принципів регулювання. Стандарт функціонує на основі трьох основних принципів: ідентифікація, захист, моніторинг та оцінка. Цей стандарт впроваджується в організації як покроковий процес. Організації повинні почати з проведення оцінки ризиків конфіденційності та розробки персоналізованої програми конфіденційності. Ця програма повинна включати процеси та процедури захисту персональних даних, а також технічний контроль для їх захисту. Після того, як програму буде запущено, організації повинні контролювати та переглядати свою практику конфіденційності та вносити необхідні зміни.

NIST Privacy Framework надає організаціям набір передових практик і технічних вказівок щодо захисту особистої інформації. Стандарт розроблений бути гнучким для організацій, аби вони могли пристосувати власні методи конфіденційності відповідно до своїх конкретних потреб. Використовуючи структуру, організації можуть гарантувати, що їхні методи захисту конфіденційності даних відповідають галузевим стандартам і нормам.

Варто звернути увагу на національну стратегію кібербезпеки США [29] від березня 2023 року та стратегію кібербезпеки України [30], яка затверджена указом Президента 26 серпня 2021 року.

В українській стратегії кібербезпеки захист персональних даних згадується виключно у вигляді стратегічного завдання для виконання цілі К.3 Безпечні цифрові послуги – «підвищення ефективності системи захисту персональних даних громадян шляхом гармонізації законодавства України з відповідним законодавством ЄС та посилення відповідальності за порушення встановлених вимог».

В національній стратегії кібербезпеки США безпека персональних даних розглядається як комплекс критичної інформації, що потребує захисту на державному рівні. Так, в частині третій стратегії, однією з цілей визначено «захист персональних даних – фундаментальний аспект захисту приватності споживачів у цифровому майбутньому».

Технології, що ґрунтуються на даних, суттєво змінили економіку та пропонують безліч зручностей для споживачів. Проте, стрімке поширення особистої інформації розширює поле загроз і робить витіки даних більш руйнівними для людей. Коли організації, які володіють даними про людей, нехтують відповідальністю за їх обробку, вони перекладають тягар витрат на звичайних громадян. Найбільш вразливими є незахищені верстви населення, які ризикують зазнати непропорційної шкоди через витік даних.

Адміністрація президента США підтримує законодавчі зусилля, що спрямовані на:

1. Встановлення жорстких та чітких обмежень на збір, використання, передачу та зберігання особистих даних.
2. Забезпечення надійного захисту конфіденційної інформації, такої як дані про геолокацію та стан здоров'я.
3. Розробку національних стандартів захисту персональних даних, що відповідають нормам NIST.

Забезпечуючи еволюцію норм конфіденційності відповідно до нових загроз, США можуть прокласти шлях до безпечнішого майбутнього, де люди зможуть використовувати технології без ризику для своєї особистої інформації.

Висновки

Провівши дослідження та аналіз основних нормативних документів України, США і ЄС в сфері безпеки персональних даних, можна дійти висновку, що в жодному з наведених актів не визначено явних та однозначних вимог щодо кіберзахисту персональних даних. При цьому вимоги щодо безпеки персональних даних ССРА та GDPR значно ширші порівняно з нинішнім законодавством України. У разі ухвалення проекту закону від 25 жовтня 2022 р. [11] значно покращиться та осучасниться система нормативно-правового регулювання охорони персональних даних України. Прийняття закону є необхідним та дозволить привести нормативну базу до актуального стану. Проте відсутність системи регулювання обробки персональних даних неповнолітніх можна визначити як один з недоліків проекту. Ще одним з недоліків проекту є відсутність однозначного регулювання вимог до інформаційно-комунікаційних систем, в яких обробляються та циркулюють критичні особисті дані. Перспективою для подальших досліджень має стати вироблення явних та однозначних рекомендацій по вдосконаленню нормативних документів в Україні, спрямованих на регулювання системи захисту персональних даних, норм щодо інформаційно-комунікаційних систем, в яких обробляється і зберігається особиста інформація.

Публікація підготовлена у рамках проекту Модуль Жана Моне «Досвід ЄС щодо захисту персональних даних у кіберпросторі» (2023–2026 – EUEPPDC – 101125350 – ERASMUS-JMO-2023-MODULE).

Список використаної літератури

1. Romansky, Radi. (2023). Internet of Things and User Privacy Protection. 37th International Conference on Information Technologies, InfoTech 2023 – Proceedings. URL: <http://infotech-bg.com/proceedings>.
2. Brown, R., Truby J., Imad Antoine Ibrahim. Mending Lacunas in the EU's GDPR and Proposed Artificial Intelligence Regulation. *European Studies*. Volume 9 (2022): Issue 1. (August 2022). URL: <https://sciendo.com/issue/EUSTU/9/1/>.
3. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=EN>.
4. Yu Zhang, Haoyun Dong. Criminal law regulation of cyber fraud crimes—from the perspective of citizens' personal information protection in the era of edge computing. *Journal of Cloud Computing* volume 12, Article number: 64 (2023). URL: <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-023-00437-3#citeas>.
5. Кальченко, В., Ободяк, В. (2024). Порівняльна характеристика нормативних вимог України та ЄС у сфері кіберзахисту персональних даних в інформаційно-комунікаційних системах. *Інформаційні технології та суспільство*, (5 (11)), 14-20. <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.5.2>.
6. Privacy Act of 1974. U.S. Government Information. URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/STATUTE-88/pdf/STATUTE-88-Pg1896.pdf>.
7. Закон України “Про захист персональних даних”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>.
8. Директива 95/46/ЄС Європейського парламенту і Ради «Про захист фізичних осіб у зв'язку з обробкою персональних даних і вільне переміщення таких даних» від 24 жовтня 1995 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_242#Text.
9. План заходів з виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 25 жовтня 2017 р. № 1106. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1106-2017-%D0%BF#Text>.
10. Проект Закону України “Про захист персональних даних” від 07.06.2021 р. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/26873>.
11. Проект Закону України “Про захист персональних даних” від 25.10.2022. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/40707>.
12. Federal Act concerning the Protection of Personal Data (DSG). URL: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/ErV/ERV_1999_1_165/ERV_1999_1_165.html.
13. Act on the implementation of the general data protection regulation. URL: <https://azop.hr/national-legislation/>.
14. Act of 12 March 2019 about the processing of personal data. URL: <https://www.zakonyprolidi.cz/translation/cs/2019-110?langid=1033&srcid=1029>.
15. Lov nr 502 af 23/05/2018 om supplerende bestemmelser til forordning om beskyttelse af fysiske personer i forbindelse med behandling af personoplysninger og om fri udveksling af sådanne oplysninger (databeskyttelsesloven). URL: <https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2018/502>.
16. La loi Informatique et Libertés. URL: <https://www.cnil.fr/fr/la-loi-informatique-et-libertes>.
17. Federal Data Protection Act (BDSG). URL: https://www.gesetze-im-internet.de/englisch_bdsge/index.html.
18. Data protection act 2018. Number 7 of 2018. URL: <https://www.irishstatutebook.ie/eli/2018/act/7/enacted/en/html>.
19. Personal data protection code. Containing provisions to adapt the national legislation to Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC. URL: <https://www.garanteprivacy.it/codice>.
20. Uitvoeringswet Algemene verordening gegevensbescherming. URL: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040940/2021-07-01>.
21. The Act of 10 May 2018 on the Protection of Personal Data. URL: <https://uodo.gov.pl/en/660/1464>.
22. Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. URL: <https://www.boe.es/eli/es/lo/2018/12/05/3>.
23. Lag (2018:218) med kompletterande bestämmelser till EU:s dataskyddsförordning. URL: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2018218-med-kompletterande-bestammelser_sfs-2018-218/.
24. Data Protection Act (1050/2018, amendments up to 239/2023 included) Translation from Finnish. URL: <https://www.finlex.fi/en/laki/kaannokset/2018/en20181050.pdf>.
25. Republic of Lithuania Law on legal protection of personal data, 11 June 1996 No I-1374 (As last amended on 3 November 2016 – No XII-2709). URL: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/ef70b5d2f14811e78f3dc265493430ae>.

26. California Consumer Privacy Act of 2018. URL: https://coppa.ca.gov/regulations/pdf/coppa_act.pdf.
27. The Civil Code of California. URL: <https://leginfo.ca.gov/faces/codesTOCSelected.xhtml?tocCode=CIV&tocTitle=Civil+Code+CIV>.
28. NIST Privacy Framework: a tool for improving privacy through enterprise risk management, version 1.0. URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.01162020>.
29. National Cybersecurity Strategy, March 1, 2023. URL: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/03/National-Cybersecurity-Strategy-2023.pdf>.
30. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 травня 2021 року "Про Стратегію кібербезпеки України". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/447/2021#Text>.

References

1. Romansky, Radi. (2023). Internet of Things and User Privacy Protection. *37th International Conference on Information Technologies, InfoTech 2023 – Proceedings*. <http://infotech-bg.com>. Retrieved from <http://infotech-bg.com/proceedings>.
2. Brown, R., Truby J., Imad Antoine Ibrahim. Mending Lacunas in the EU's GDPR and Proposed Artificial Intelligence Regulation. *European Studies. Volume 9 (2022): Issue 1. (August 2022)*. <https://sciendo.com>. Retrieved from <https://sciendo.com/issue/EUSTU/9/1/>.
3. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). (2016). <https://eur-lex.europa.eu>. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=EN>.
4. Yu Zhang, Haoyun Dong. Criminal law regulation of cyber fraud crimes—from the perspective of citizens' personal information protection in the era of edge computing. *Journal of Cloud Computing volume 12, Article number: 64 (2023)*. <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com>. Retrieved from <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-023-00437-3#citeas>.
5. Kalchenko, V., Obodiak, V. (2024). Porivnialna kharakterystyka normatyvnykh vymoh Ukrainy ta YeS u sferi kiberzakhystu personalnykh danykh v informatsiino-komunikatsiinykh systemakh. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo, (5 (11)), 14-20*. [Kalchenko, V., Obodiak, V. (2024). Comparative characteristics of the regulatory requirements of Ukraine and the EU in the field of personal data cyber protection in information and communication systems. *Information Technology and Society(5 (11)), 14-20.*] <https://journals.maup.com.ua/>. Retrieved from <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.5.2> [in Ukrainian].
6. Privacy Act of 1974. U.S. Government Information. <https://www.govinfo.gov> Retrieved from <https://www.govinfo.gov/content/pkg/STATUTE-88/pdf/STATUTE-88-Pg1896.pdf>.
7. Zakon Ukrainy "Pro zakhyst personalnykh danykh". [Law of Ukraine "On Personal Data Protection"]. (n.d.). <https://zakon.rada.gov.ua>. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text> [in Ukrainian].
8. Dyrektyva 95/46/Is Yevropeiskoho parlamentu i Rady «Pro zakhyst fizychnykh osib u zv'iazku z obrobkoiu personalnykh danykh i vilne peremishchennia takykh danykh». [Directive 95/46/EU of the European Parliament and the Council "On the protection of natural persons in connection with the processing of personal data and the free movement of such data"]. (1995). <https://zakon.rada.gov.ua>. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_242#Text [in Ukrainian].
9. Plan zakhodiv z vykonannia Uhody pro asotsiatsiiu mizh Ukrainoiu, z odniiei storony, ta Yevropeiskym Soiuzom, Yevropeiskym ta Yevropeiskym Soiuzom, Yevropeiskym spivtovarystvom z atomnoi enerhii i yikhnyimi derzhavamy-chlenamy, z inshoi storony. Zatverdzheno postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 25 zhovtnia 2017 r. № 1106. [Action plan for the implementation of the Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European and European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other hand. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 25, 2017 No. 1106]. (2017) <https://zakon.rada.gov.ua>. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1106-2017-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
10. Proekt Zakonu Ukrainy "Pro zakhyst personalnykh danykh" vid 07 chervnia 2021 r. [The Draft Law of Ukraine "On Personal Data Protection" dated June 07, 2021]. (n.d.). <https://itd.rada.gov.ua>. Retrieved from <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/26873> [in Ukrainian].
11. Proekt Zakonu Ukrainy "Pro zakhyst personalnykh danykh" vid 25 zhovtnia 2022 r. [The Draft Law of Ukraine "On Personal Data Protection" dated October 25, 2022]. (n.d.). <https://itd.rada.gov.ua>. Retrieved from <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/40707> [in Ukrainian].
12. Federal Act concerning the Protection of Personal Data (DSG). <https://www.ris.bka.gv.at> Retrieved from https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/ErV/ERV_1999_1_165/ERV_1999_1_165.html.
13. Act on the implementation of the general data protection regulation. <https://azop.hr> Retrieved from <https://azop.hr/national-legislation/>.

14. Act of 12 March 2019 about the processing of personal data. <https://www.zakonyprolidi.cz> Retrieved from <https://www.zakonyprolidi.cz/translation/cs/2019-110?langid=1033&srcid=1029>.

15. Lov nr 502 af 23/05/2018 om supplerende bestemmelser til forordning om beskyttelse af fysiske personer i forbindelse med behandling af personoplysninger og om fri udveksling af sådanne oplysninger (databeskyttelsesloven). [Act no. 502 of 23/05/2018 on supplementary provisions to the regulation on the protection of natural persons in connection with the processing of personal data and on the free exchange of such information (Data Protection Act).] <https://www.retsinformation.dk> Retrieved from <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2018/502> [in Danish].

16. La loi Informatique et Libertés.[The Data Protection Act] Retrieved from <https://www.cnil.fr/fr/la-loi-informatique-et-libertes> [in French].

17. Federal Data Protection Act (BDSG). <https://www.gesetze-im-internet.de> Retrieved from https://www.gesetze-im-internet.de/englisch_bdsog/index.html.

18. Data protection act 2018. Number 7 of 2018. <https://www.irishstatutebook.ie> Retrieved from <https://www.irishstatutebook.ie/eli/2018/act/7/enacted/en/html>.

19. Personal data protection code. Containing provisions to adapt the national legislation to Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC. <https://www.garantepriacy.it> Retrieved from <https://www.garantepriacy.it/web/guest/home/docweb/-/docweb-display/docweb/9740796>.

20. Uitvoeringswet Algemene verordening gegevensbescherming. [Implementation Act of the General Data Protection Regulation]. <https://wetten.overheid.nl> Retrieved from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040940/2021-07-01> [in Dutch].

21. The Act of 10 May 2018 on the Protection of Personal Data. <https://uodo.gov.pl> Retrieved from <https://uodo.gov.pl/en/660/1464>.

22. Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. [Organic Law 3/2018, of December 5, on the Protection of Personal Data and guarantee of digital rights] <https://www.boe.es> Retrieved from <https://www.boe.es/eli/es/lo/2018/12/05/3> [in Spanish].

23. Lag (2018:218) med kompletterande bestämmelser till EU:s dataskyddsförordning. [Act (2018:218) with supplementary provisions to the EU's data protection regulation]. <https://www.riksdagen.se> Retrieved from https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2018218-med-kompletterande-bestam-melser_sfs-2018-218/ [in Swedish].

24. Data Protection Act (1050/2018, amendments up to 239/2023 included) Translation from Finnish. <https://www.finlex.fi> Retrieved from <https://www.finlex.fi/en/laki/kaannokset/2018/en20181050.pdf>.

25. Republic of Lithuania Law on legal protection of personal data, 11 June 1996 No I-1374 (As last amended on 3 November 2016 – No XII-2709). <https://e-seimas.lrs.lt> Retrieved from <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/ef70b5d2f14811e78f3dc265493430ae>

26. California Consumer Privacy Act of 2018. <https://cpa.ca.gov> Retrieved from https://cpa.ca.gov/regulations/pdf/cpa_act.pdf.

27. The Civil Code of California. <https://leginfo.legislature.ca.gov> Retrieved from <https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/codesTOCSelected.xhtml?tocCode=CIV&tocTitle=+Civil+Code+-+CIV>.

28. NIST Privacy Framework: a tool for improving privacy through enterprise risk management, version 1.0. <https://nvlpubs.nist.gov> Retrieved from <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.01162020.pdf>.

29. National Cybersecurity Strategy, March 1, 2023. <https://www.whitehouse.gov> Retrieved from <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/03/National-Cybersecurity-Strategy-2023.pdf>.

30. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 14 travnia 2021 roku "Pro Stratehiiu kiberbezpeky Ukrainy". [On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated May 14, 2021 "On the Cybersecurity Strategy of Ukraine"]. <https://zakon.rada.gov.ua> Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/447/2021#Text> [in Ukrainian].

О. І. КУЧЕРЕНКОаспірант кафедри інженерії програмного забезпечення
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0009-0000-1488-5645**Т. А. ВАКАЛЮК**доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0000-0001-6825-4697

ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ БПЛА

Стаття присвячена огляду технічних та програмних засобів керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА), що є актуальною темою у сучасній робототехніці та авіаційній індустрії. Розвиток безпілотних літальних апаратів породжує попит на комплексні технології та програмне забезпечення, які забезпечують ефективне управління та навігацію цими системами. У статті розглядаються основні аспекти технічних засобів керування БПЛА, включаючи контролери польоту, сенсори, системи стабілізації, комунікаційні системи, апаратне та програмне забезпечення для управління рухом та збору даних. Описано характеристики апаратних засобів, що базуються на архітектурах FPGA, ARM, Atmel та Raspberry Pi. Проведено аналіз доступних програмних засобів керування БПЛА, а саме: ArduPilot, Multiwii, AutoQuad, LibrePilot, AuterionOS та розробки від Dronecode Community. В аналізі визначено сумісність програмних засобів з польотними контролерами. Окремо розглянуто системи управління високого рівня, які дозволяють розробникам створювати власні додатки та інтеграції для різноманітних завдань та додаткових функцій безпілотних літальних апаратів. Виконано порівняння систем управління високого рівня між собою за наступними критеріями: модульність структури, підтримка БПЛА різної конструкції, підтримка акроконтролю повітряного судна, підтримка багатозадачності, підтримка багатьох польотних платформ, плагіно-орієнтованість архітектури, використане проміжне програмне забезпечення, відкрите програмне забезпечення. Приведена у роботі порівняльна інформація програмних та апаратних засобів та систем високого рівня покликана спростити задачу остаточного вибору засобів керування БПЛА. Ця потреба виникає через зростання числа галузей, де використовуються безпілотні літальні апарати. Під час проведення дослідження виявлено існування великої кількості як технічних, так і програмних засобів керування БПЛА. Для проведення огляду були взяті найбільш відомі з них.

Ключові слова: дрон, БПЛА, технічні засоби, програмні засоби, управління, контролер польоту, автопілот, планування маршрутів.

О. І. KUCHERENKOPostgraduate Student at the Software Engineering Department
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0009-0000-1488-5645**T. A. VAKALIUK**Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Head of the Software Engineering Department
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0000-0001-6825-4697

OVERVIEW OF TECHNICAL AND SOFTWARE MEANS OF UAV CONTROL

The article is devoted to the review of technical and software control of unmanned aerial vehicles (UAVs), which is an actual topic in modern robotics and the aviation industry. The development of unmanned aerial vehicles creates a demand for complex technologies and software that provide effective control and navigation of these systems. The article examines the main aspects of the technical means of controlling UAVs, including flight controllers, sensors, stabilization systems, communication systems, hardware and software for motion control and data acquisition. The characteristics of hardware based on FPGA, ARM, Atmel and Raspberry Pi architectures are described. An analysis of available UAV control software, namely: ArduPilot, Multiwii, AutoQuad, LibrePilot, AuterionOS and developments from the Dronecode Community, was carried out. The analysis determined the compatibility of software with flight controllers. High-level control systems that allow developers to create their own applications and integrations for various tasks and additional functions of unmanned aerial vehicles are separately considered. A comparison of high-level control systems was made

among themselves according to the following criteria: modularity of the structure, support for UAVs of multiple frames, support for aircraft rate output, multi-agency support, support for many flight platforms, plugin-oriented architecture, used middleware, open source software. The comparative information of software and hardware tools and high-level systems presented in the work is designed to simplify the task of final selection of UAV control tools. This need arises due to the growing number of industries where unmanned aerial vehicles are used. During the research, the existence of a large number of both technical and software control tools for UAVs was revealed. The most famous of them were taken for the review.

Key words: drone, UAV, technical means, software, control, flight controller, autopilot, route planning.

Постановка проблеми

У цей час існує велика кількість безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які застосовуються у різних сферах, включаючи аерофотозйомку, геодезію, агрономію, пошук і рятувальні роботи тощо. Кожна із сфер застосування має свої особливості до побудови маршрутів руху БПЛА. Невід'ємною частиною механізму керування дронами є зв'язок програмної та апаратної складових. Найважливіші аспекти, що потребують уваги в цьому контексті, включають розробку ефективних програмних платформ для керування дронами, реалізацію надійних систем автопілота, розвиток технологій обробки сигналів для забезпечення точності навігації та стабільності польоту, а також створення високоефективних методів управління БПЛА в умовах обмежених потужностей обробки даних та зв'язку.

Наразі існує велика кількість розробок програмних та апаратних комплексів від різних виробників. Кожна з них має свої переваги та недоліки.

Окрім низькорівневих систем, важливо звернути увагу на системи управління високого рівня. Вони покликані спростити вирішення як базових, так і більш складних шаблонних задач при керуванні БПЛА. Тому дослідження програмних та апаратних засобів керування дронами є необхідною умовою вибору оптимальних рішень, оскільки конкретні галузі застосування БПЛА вимагають врахування своїх особливостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомості щодо програмних та технічних засобів керування дронами у більшості випадків представлена на сайтах виробників, проте існують публікації, в яких представлено порівняння характеристик різних засобів. Цій темі свою увагу присвятили такі науковці: М. Бронз (M. Bronz) [9], П. Бріссе (P. Brisset) [8], Томаш Бака (Tomas Baca) [19], Матоус Врба (Matous Vrba) [19], Д. Л. Габріель (D. L. Gabriel) [6], М. Гопраз (M. Gorraz) [8], П. Д. Гровс (P. D. Groves) [3], Л. Майер (L. Meier) [5, 7], І. Маза (I. Maza) [4], Й. Меєр (J. Meyer) [6], Мартін Моліна (Martin Molina) [18], С. В. Нававі (S. W. Nawawi) [2], Роберт Пенічка (Robert Penicka) [19], Матеї Петрлік (Matej Petrlik) [19], Ф. дю Плессіс (F. du Plessis) [6], С. Сабікан (S. Sabikan) [2], Карлос Сампедро (Carlos Sampedro) [18], Д. Скарлатті (D. Scarlatti) [5, 7], Рамон А Суарез Фернандес (Ramon A Suarez Fernandez) [18], Мартін Саска (Martin Saska) [19], Дж. Тайлер (J. Tyler) [8], П. Танскаанен (P. Tanskanen) [5, 7], П. С. Уард (P. S. Huard) [8], Ф. Фраундорфер (F. Fraundorfer) [5, 7], Л. Хенг (L. Heng) [5, 7], Даніель Херт (Daniel Hert) [19], Хосе Луїс Санчес-Лопес (Jose Luis Sanchez-Lopez) [18], Ч. Янь (Z. Yan) [1], Ч. Чженьці (X. Chengqi) [1], Войтех Шпурні (Vojtech Sprny) [19] та інші.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є огляд існуючих технічних та програмних засобів керування БПЛА, що дозволяють програмно задавати їх маршрути руху.

Викладення основного матеріалу дослідження

Перш ніж перейти до огляду безпосередньо засобів керування БПЛА, розглянемо базові відомості про будову системи автопілота. Основними компонентами системи автопілота є:

- контролер польотів (Flight Controller);
- рухова система (Propulsion System);
- сенсори (Sensors);
- комунікаційні системи (Communication Systems) [1].

Контролер польотів – це основна апаратна плата для роботи системи БПЛА [2]. Вона керує двигунами, взаємодіє з внутрішніми або зовнішніми датчиками, реалізує оцінку положення, керування, навігацію та підтримує зв'язок з наземними системами керування або сусідніми БПЛА. Її продуктивність залежить від вбудованого пристрою, який використовується. Для побудови контролера польоту використовуються модулі ARM, Atmel, Arduino та інші. Більшість польотних контролерів використовують 32-розрядний процесор і лише деякі 8-розрядний. Контролер польоту знаходиться посередині та взаємодіє з іншими блоками через стандартні комунікаційні інтерфейси, наприклад: мережа контролера (CAN), широтно-імпульсна модуляція (PWM), універсальний асинхронний приймач/передавач (UART) тощо.

Рухова система – система, що приводить БПЛА у рух. Для багатороторних БПЛА часто для приводу гвинтів використовуються безщіточні двигуни постійного струму (BLDC), керовані електронним контролером швидкості (ESC), але в деяких випадках, що трапляється рідше, також щіткові двигуни, щоб заощадити витрати на ESC [6].

Інший варіант безпілотних літальних апаратів із фіксованим крилом використовує гвинт, як багатороторний безпілотний літальний апарат для вертикального зльоту та посадки (VTOL). VTOL літає як дрон із фіксованим крилом, коли він знаходиться в повітрі завдяки фіксованому крилу, але для позиціонування критичних польотів, зльоту та посадки він використовує пропелери, як мультиротор.

Сенсори. БПЛА використовують датчики для виявлення змін в оточенні, що дозволяє їм збирати важливі дані про об'єкт, який вони перевіряють, і краще маневрувати. Для реєстрації змін і збору різноманітної інформації в БПЛА використовуються різні типи датчиків. Загальні датчики: 1) Інерціальний вимірювальний блок (IMU): це основний компонент інерціальних систем навігації та маневрування в системі БПЛА. Він використовує комбінацію акселерометрів і гіроскопів для точної оцінки положення БПЛА, включаючи крен і тангаж. Крім того, він використовує магнітометри, доповнення до акселерометра та гіроскопа, для вимірювання курсу (тобто повороту), а також для вимірювання та звітування питомої сили дрона, кутової швидкості та магнітного поля, що оточує дрон. 2) Барометр: використовується для вимірювання атмосферного тиску та обчислення висоти дрона. Він може виявляти рух у кілька сантиметрів. 3) GNSS: Глобальна навігаційна супутникова система [3], вимірює місцезнаходження дрона, обчислюючи його відстань від попередньо визначених супутників, таких як Global Positioning System (GPS), GLONASS, Galileo та BeiDuo. Зазвичай датчики, такі як IMU та барометри, поєднуються з GNSS, щоб підвищити точність показників дрона.

Комунікаційні системи. Для взаємодії з безпілотниками використовуються два різних типи зв'язку: 1) Наземна станція управління (Ground Control Station, або GCS) – це програмне забезпечення, яке працює на обчислювальному пристрої (ПК, планшет тощо) [4]. GCS використовується для бездротового зв'язку з дроном, щоб стежити за тим, куди він летить, встановлювати маршрутні точки або виконувати нові команди. Щоб надсилати й отримувати такі дані, до обчислювального блоку необхідно приєднати телеметричний апаратний радіоблок для виконання операцій керування. Він реалізує протокол послідовного з'єднання MAVlink [5]. Прикладами програмного забезпечення GCS є: QGroundControl, Mission Planner, APM Planner. 2) Передавач радіокерування (R/C): він використовується для мінімального керування рухом дрона (дросьель) і орієнтацією (нахил, крен і поворот). Команди керування перетворюються в сигнали PWM (Pulse Width Modulation) або імпульсно-позиційної модуляції (Pulse Position Modulation, або PPM) і передаються контролеру польоту, який використовує їх для управління двигунами дрона.

Розглянемо різні **апаратні платформи** (Hardware Platforms) з групуванням відповідно до використовуваного мікроконтролера або чіпа (FPGA, ARM, Atmel, Raspberry Pi).

Платформи на основі FPGA

1) Phenix Pro – платформа, побудована на реконфігурованій системі SoC (System on a Chip), розробленій компанією RobSense Tech (Ханчжоу, Китай). Контролер польоту оснащений операційною системою ROS (Linux-based Robot Operating System). Платформа підтримує понад 20 інтерфейсів, включаючи бортові датчики, радар mmWave, лідар, тепловізійну камеру, ultra-vision HD-відео трансивер тощо. Крім того, його апаратне прискорення забезпечує можливості використання комп'ютерного зору та додатки глибокої нейронної мережі. Платформа Phenix Pro працює під управлінням операційної системи реального часу PhenOS на базі FreeRTOS. Схема цієї платформи закрита, однак програмне забезпечення проекту відкрите під ліцензією GNU General Public License v3.

2) Octagonal Pilot on Chip (OcPoC) – платформа OcPoC була розроблена компанією Aerotenna, що заснована в 2015 році (Канзаський університет, США). OcPoC розширює свої можливості введення та виведення за рахунок повністю програмованих контактів PWM, PPM та GPIO для інтеграції з великою кількістю різних датчиків. Платформа також містить багато інших стандартизованих роз'ємів для периферійних пристроїв, таких як GPS, зв'язок камери CSI та SD-карта. Апаратна платформа OcPoC працює на програмній платформі ArduPilot і реалізує одночасну обробку даних з датчиків у реальному часі. Схема цієї платформи закрита.

Платформи на основі ARM архітектури

1) PIXHAWK/PX4 – це система керування польотом на основі комп'ютерного бачення, що розроблена Computer Vision and Geometry Lab of ETH Zurich та Autonomous Systems Lab [7]. Платформа складається з контролера PX4-Flight Management Unit (FMU) і PX4-IO, інтегрованих на одній платі з додатковими функціями введення-виведення, пам'яті та іншими функціями. Автори платформи тісно співпрацюють з проектом DroneCode Linux Foundation.

2) PIXHAWK 2 – платформа походить з Pixhawk Hardware Project і створена груповими зусиллями команд PX4 і ArduPilot. Представляє собою невеликий куб, має потрібне резервування IMU та до 3 модулів GPS. Усі підключення (введення-виведення) до плати здійснюються через один роз'єм DF17. Материнська плата має інтерфейс до Intel Edison.

3) Pararaz – це перший і найстаріший проект апаратного та програмного забезпечення дронів з відкритим кодом. Він розробляється в Ecole Nationale de l'Aviation Civil (ENAC) UAV Lab з 2003 року [8]. Проект охоплює системи автопілотування та програмне забезпечення наземних станцій для мультикоптерів/мультироторів, літаків з нерухомим крилом, гелікоптерів та гібридних літаків [9]. У березні 2017 року ENAC Lab випустила новий автопілот під назвою Chimera, який базується на новітньому мікроконтролерному блоці (MCU) STM32F7.

4) CC3D & Atom – це два контролери польоту з однаковими функціями, але різного розміру. Вони розроблені компанією OpenPilot, яка пізніше стала LibrePilot. Контролери польоту CC3D і Atom мають усі типи апаратного забезпечення стабілізації, що працює під керуванням мікропрограми OpenPilot/LibraPilot. За допомогою OpenPilot/LibraPilot їх можна налаштувати для польотів на будь-якому планері – від літака з нерухомим крилом до октокоптера.

Платформи на основі Atmel

1) ArduPilot Mega (APM) – це система автопілота на базі Arduino Mega, розроблена спільнотою DIY Drones як оновлення системи керування польотом ArduPilot. Автопілот здатний керувати автономними мультикоптерами, літаками з нерухомим крилом, традиційними гелікоптерами, наземними машинами тощо. На рис. 1 показано блок ArduPilot Mega (APM).

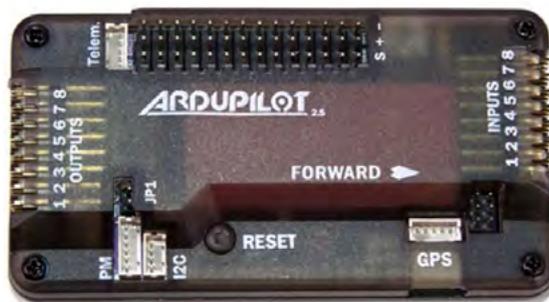


Рис. 1. ArduPilot Mega (APM) [10].

2) FlyMaple – це плата контролера квадрокоптера, заснована на проєкті Maple. Дизайн FlyMaple базується на процесорі ARM у стилі Arduino. FlyMaple призначений для роботи на балансувальних роботах, мобільних платформах, гелікоптерах і квадрокоптерах, що потребують IMU і високопродуктивних контролерів реального часу.

Платформи на основі Raspberry Pi

1) Erle-Brain 3 – це відкрита пілотна програма для БПЛА на базі Linux, розроблена Erle Robotics. Платформа поєднує в собі вбудований комп'ютер Linux (Raspberry Pi) і дочірню плату (PXFmini), що містить кілька датчиків, систему введення-виведення та силову електроніку. PXFmini – це відкрита апаратна система автопілота для створення роботів і дронів, призначених для сімейства Raspberry Pi. Система створена на основі технологій Dronescode Foundation.

2) Navio2 – це Raspberry Pi автопілот, що використовує програмну платформу ArduPilot і підтримує всі її функції. Автопілот включає в себе вбудований GPS, компас, гіроскоп, акселерометр та інші сенсори, а також має можливість підключення до електронних контролерів швидкості (ESC). Це робить Navio2 популярним вибором для створення UAV з використанням Raspberry Pi.

Наступним етапом розглянемо різні *програмні платформи* (Software Platforms).

ArduPilot – це широко використовуване, повнофункціональне та надійне програмне забезпечення для автопілота. Платформа здатна керувати будь-якою транспортною системою, від звичайних літаків, мультироторів і гелікоптерів до човнів і навіть підводних човнів [10]. Програмне забезпечення спочатку було розроблено для 8-розрядних мікроконтролерів на базі ARM для роботи на власній платі ArduPilot, яка була замінена ArduPilot Mega (APM) і оптимізована для використання з 32-розрядними MCU на основі ARM архітектури. Однак даний автопілот може працювати під Linux, що дозволяє запуск на одноплатних комп'ютерах та ПК.

Multiwii – це програмне забезпечення контролера польоту, розроблене для платформ Arduino та засноване на датчиках від Nintendo Wii, але його можна перенести на інші датчики та платформи. Він підтримує від двох до восьми пропелерів (наприклад, трикоптер, квадрокоптер або гексакоптер) [12; 13].

AutoQuad – це проєкт, що розробляє апаратне забезпечення з відкритим вихідним кодом на основі ESC і контролери польоту на основі програмного забезпечення з відкритим кодом [14]. Контролер польоту розроблявся протягом більш ніж 6 років [15]. Прошивка написана для мікроконтролера серії STM32F4 з процесором CORTEX M4 і модулем з плаваючою комою (FPU). Він підтримує до 14 BLDC і сумісний з QGroundControl.

LibrePilot – проєкт зосереджений на дослідженні та розробці програмного та апаратного забезпечення для використання в різноманітних додатках, включаючи керування та стабілізацію транспортних засобів, безпілотних автономних транспортних засобах та робототехніки [16]. Проєкт був побудований на основі проєкту OpenPilot. Платформа LibrePilot працює на різних платах польотних контролерів із закритим кодом на основі ARM.

Dronescode Community – це неприбуткова організація, метою якої є розробка дешевшого, надійного та кращого програмного забезпечення [17]. База відкритого вихідного коду включає зв'язок, апаратне та програмне забезпечення, моделювання. Більше 1200 розробників працює над кодом для цього проєкту, напрацювання

застосовуються в багатьох комерційних і безкоштовних продуктах. Dronescape Community надає програмне забезпечення для OSH PIXHAWK, FlyMaple, Erle Brain 2 тощо.

AuterionOS – це повноцінна бортова програмна платформа, що складається з контролера польоту та операційної системи, яка працює на комп'ютері місії. Це дозволяє роботам виконувати розширені операції, включаючи певні автономні дії, забезпечуючи безпечне виконання місії, встановлюючи зв'язок з іншим програмним і апаратним забезпеченням. Зв'язок забезпечується за допомогою підключення LTE для передачі даних користувачеві та хмарі у режимі реального часу. Крім того, платформа дозволяє встановлювати сторонні програми для отримання додаткових функцій.

Окрім низькорівневих систем відзначимо також *системи управління високого рівня*, які відповідають за високорівневе керування або навігацію БПЛА з метою досягнення конкретної мети чи завдання. Головні завдання таких систем: керування ресурсами, інтеграція з нижчими рівнями, обробка виняткових ситуацій та ін. Розглянемо коротко їх основні властивості.

Aerostack – це програмна система, що допомагає розробникам проектувати та створювати повну архітектуру управління повітряними робототехнічними системами, інтегруючи численні гетерогенні обчислювальні рішення (наприклад, алгоритми комп'ютерного зору, контролери руху, алгоритми планування руху тощо). Aerostack був розроблений з використанням операційної системи ROS [18].

Подальшим розвитком системи Aerostack стала система Aerostack2. Система Aerostack2 спрямована на вирішення проблеми відсутності стандартизації у галузі систем автономного керування, створена на основі проміжного програмного забезпечення ROS2, має модульну архітектуру програмного забезпечення та орієнтацію на керування групами роботів. До переваг можна віднести те, що система є незалежною від платформи, забезпечує створення логічного рівня для визначення завдань, повторне використання компонентів і підсистем для повітряної робототехніки та можливість розробки повної архітектури керування. Авторами було проведено тести в симуляціях та реальних польотах із кількома різнорідними роями. Aerostack2 є системою з відкритим вихідним кодом [27].

AerialCore – це повітряна система, створена з використанням ROS Noetic і призначена для виконання повністю на борту БПЛА. Її можна розгорнути на будь-якому багатороторному транспортному засобі, враховуючи, що він оснащений контролером польоту, сумісним з PX4, як у приміщенні, так і на вулиці. Він підтримує експерименти з декількома роботами, використовуючи мережевий зв'язок Nimbro, і забезпечує як швидкий політ, так і надійне керування [19].

Agilicious – це спільно розроблена апаратно-програмна система, призначена для автономного та гнучкого польоту на квадродорі. Апаратне забезпечення та вихідний код є повністю відкритими. Система Agilicious підтримує контролери як на основі моделі, так і на основі нейронної мережі. Апаратне забезпечення має високе співвідношення тяги до ваги та крутного моменту до інерції для маневреності, бортові датчики зору, GPU-accelerated засоби обчислень для роботи нейронної мережі у реальному часі та універсальний програмний стек [20].

Система від KumarRobotics дозволяє квадродору автономно переміщатися в захищених середовищах, де немає GPS. Система являє собою стек, що складається з набору модулів, які працюють разом, щоб забезпечити швидку автономну навігацію літального робота в невідомому середовищі. Система була розроблена таким чином, що всі вимірювання та обчислення відбуваються на борту робота. Після того, як робота було запущено, не потрібно залучення оператора для навігації до мети [21].

CrazyChoir – це набір інструментів ROS 2, який дозволяє користувачам запускати симуляції та експерименти на зграях наноквадродорів Crazyflie [22].

UAV Abstraction Layer (UAL) – це рівень програмного забезпечення для абстрагування користувачів безпілотних літальних апаратів від конкретного апаратного забезпечення платформи та інтерфейсів автопілота. Її головна мета – спростити розробку та тестування алгоритмів вищого рівня в повітряній робототехніці шляхом стандартизації та спрощення інтерфейсів з безпілотними літальними апаратами. UAL підтримує роботу з автопілотами PX4 і DJI. Крім того, UAL може бездоганно працювати з симульованими або реальними платформами та надає виклики для виконання стандартних команд, таких як зліт та посадка, а також управління швидкістю [23].

XTDrone – це платформа моделювання БПЛА на основі PX4, ROS і Gazebo. XTDrone підтримує мультиротори (включно з квадродорами та гексароторами), нерухомі крила, VTOL та інші безпілотні системи (наприклад, UGV, USV та роботизовану зброю). Після тестування та налагодження на платформі моделювання, алгоритм зручно розгорнути на реальних БПЛА [24].

RotorS – це модульна структура моделювання мікроповітряних апаратів (Micro Aerial Vehicle, або MAV). Симулятор був розроблений за модульним принципом, щоб різні контролери та оцінювачі стану могли використовуватися взаємозамінно, тоді як включення нових MAV зводиться до кількох кроків. Необхідні контролери можна адаптувати, просто змінивши файл параметрів. Усі компоненти були розроблені таким чином, щоб бути аналогічними їхнім реальним аналогам. Це дозволяє використовувати ті самі контролери та оцінювачі стану, включаючи їхні параметри, у моделюванні, що й у реальному MAV [25].

Generalized Autonomy Aviation System (GAAS) – це програма з відкритим вихідним кодом, розроблена для повністю автономних VTOL і дронів. GAAS забезпечує повністю автономну польотну платформу на основі лідара, релокалізації з використанням HD-карти, планування траєкторії та інших модулів для повітряних суден. На відміну від технології автопілота, яка раніше була доступна лише для безпілотних літальних апаратів споживчого класу, GAAS спрямована на надійний повністю автономний політ для людей. Весь фреймворк слабко пов'язаний, тому є можливість налаштувати власні модулі та легко додати їх до GAAS [26].

У таблиці 1 наведено порівняння основних характеристик розглянутих систем управління високого рівня.

Таблиця 1

Порівняння систем управління високого рівня

Система	Open Source	Модульність	OC	Multi-frame	Rate output	Багато-агентна	Мульти-платформенна	Плагіно-орієнтована
Aerostack2	+	+	ROS 2	+	+	+	+	+
AerialCore	+	+	ROS	+	+	+	-	+
Agilicious	+	+	ROS		+	-	-	-
KumarRobotics	+	-	ROS		+	-	+	-
CrazyChoir	+	-	ROS 2		+	+	-	-
UAL	+	-	ROS	+	-	-	+	-
XTDrone	+	+	ROS		+	-	-	-
RotorS	+	+	ROS		+	-	-	-
GAAS	+	+	ROS		-	-	-	-

З проаналізованих систем керування високого рівня було виявлено, що (1) усі вони є відкритими; (2) шість мають модульну структуру; (3) лише дві із систем, CrazyChoir та Aerostack2, використовують ROS 2 у якості проміжного програмного забезпечення; (4) три системи підтримують дрони різних конструкцій (Multiframe); (5) сім систем підтримують акроконтроль повітряного судна (Rate output); (6) три системи мають багатоагентний підхід; (7) три системи підтримують більше однієї іншої польотної платформи; і (8) лише дві системи мають архітектуру, орієнтовану на використання плагінів.

Висновки

Отже, було розглянуто основні логічні та конструктивні блоки для побудови БПЛА, описали складові компоненти системи автопілота, розглянули 16 різних апаратних і програмних платформ керування польотом, що можна використовувати для академічних досліджень. Дослідили можливості обробки даних апаратними засобами, композицію датчиків, інтерфейси, порівняли різні функції платформ БПЛА. Також виконали огляд дев'яти систем управління високого рівня та привели порівняння їх основних характеристик. Важливо зазначити, що під час дослідження було виявлено брак документації щодо енергоспоживання розглянутого апаратного забезпечення.

Перспективами подальших досліджень можуть бути у проведенні огляду інших програмних та технічних засобів, а також нещодавно створених проектів та платформ, велику кількість яких було виявлено під час дослідження, та аналіз енергоспоживання комбінацій програмно-апаратних платформ разом із розрахунками відносної вартості апаратних платформ.

Список використаної літератури

- Chengqi X., Cen Q., Yan Z. Design and research of human-computer interaction interface in autopilot system of aircrafts. *2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design*. 2009. С. 1498–1501. <https://doi.org/10.1109/CAIDCD.2009.5374997>.
- Sabikan S., Nawawi S. W. Open-Source Project (OSPs) Platform for Outdoor Quadcopter. *Journal of Advanced Research Design*. 2016. Т. 24, № 1.
- Groves P. D. Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, Second Edition. Artech House, 2013.
- D. Perez et al. A ground control station for a multi-UAV surveillance system: design and validation in field experiments. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2013. Т. 69. С. 119–130. <https://doi.org/10.1007/s10846-012-9759-5>.
- L. Meier et al. PIXHAWK: A system for autonomous flight using onboard computer vision. *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Shanghai, China, 9–13 May 2011. 2011. Pp. 2992-2997. <https://doi.org/10.1109/icra.2011.5980229>.
- Gabriel D. L., Meyer J., du Plessis F. Brushless DC motor characterisation and selection for a fixed wing UAV. *AFRICON 2011*, Victoria Falls, Livingstone, Zambia, 13–15 sept. 2011 p. 2011. <https://doi.org/10.1109/afcon.2011.6072087>.
- L. Meier et al. PIXHAWK: A micro aerial vehicle design for autonomous flight using onboard computer vision. *Autonomous Robots*. 2012. Т. 33, № 1-2. Pp. 21–39. <https://doi.org/10.1007/s10514-012-9281-4>.

8. P. Brisset et al. The paparazzi solution. 2006. MAV 2006, 2nd US-European competition and workshop on micro air vehicles.
9. E. Baskaya et al. Flexible open architecture for UASs integration into the airspace: Paparazzi autopilot system. 2016 IEEE/AIAA 35th *Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, Sacramento, CA, USA, 25–29 sept. 2016. 2016. <https://doi.org/10.1109/dasc.2016.7778016>.
10. Ardupilot Mega. *Ardupilot*. URL: <https://www.ardupilot.co.uk> (date of access: 23.04.2024).
11. Use-Cases and Applications – Copter documentation. *ArduPilot*. URL: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-use-cases-and-applications.html> (date of access: 23.04.2024).
12. Google Code Archive – MultiWii flight controller source code. *Google Code*. URL: <https://code.google.com/archive/p/multiwii> (date of access: 23.04.2024).
13. MultiWii home web page. *MultiWii*. URL: <http://www.multiwii.com> (date of access: 23.04.2024).
14. AutoQuad Flight Control Firmware. *GitHub*. URL: https://github.com/mpaperno/aq_flight_control (дата звернення: 23.04.2024).
15. AutoQuad | Autonomous Multi Rotor Vehicle Controller. *AutoQuad*. URL: <http://autoquad.org> (date of access: 23.04.2024).
16. The LibrePilot open source project. *LibrePilot*. URL: <https://www.librepilot.org> (date of access: 23.04.2024).
17. The Dronecode Foundation. *Dronecode Foundation*. URL: <https://www.dronecode.org/> (дата звернення: 23.04.2024).
18. J. L. Sanchez-Lopez et al. AEROSTACK: An architecture and open-source software framework for aerial robotics. 2016 *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Arlington, VA, 7–10 june 2016. 2016. <https://doi.org/10.1109/icuas.2016.7502591>.
19. T. Baca et al. The MRS UAV System: Pushing the Frontiers of Reproducible Research, Real-world Deployment, and Education with Autonomous Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2021. T. 102, № 1. <https://doi.org/10.1007/s10846-021-01383-5>.
20. P. Foehn et al. Agilicious: Open-source and open-hardware agile quadrotor for vision-based flight. *Science Robotics*. 2022. T. 7, № 67. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.abl6259>.
21. K. Mohta et al. Fast, autonomous flight in GPS-denied and cluttered environments. *Journal of Field Robotics*. 2017. T. 35, № 1. Pp. 101–120. <https://doi.org/10.1002/rob.21774>.
22. Pichierri L., Testa A., Notarstefano G. CrazyChoir: Flying Swarms of Crazyflie Quadrotors in ROS 2. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2023. Pp. 1–8. <https://doi.org/10.1109/lra.2023.3286814>.
23. F. Real et al. Unmanned aerial vehicle abstraction layer: An abstraction layer to operate unmanned aerial vehicles. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 2020. T. 17, № 4. Article no 172988142092501. <https://doi.org/10.1177/1729881420925011>.
24. K. Xiao et al. XTDrone: A Customizable Multi-rotor UAVs Simulation Platform. 2020 *4th International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS)*, Wuhan, China, 12–14 june 2020. 2020. <https://doi.org/10.1109/icras49812.2020.9134922>.
25. F. Furrer et al. RotorS—A Modular Gazebo MAV Simulator. *Studies in Computational Intelligence*. Cham, 2016. Pp. 595–625. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26054-9_23.
26. GitHub – generalized-intelligence/GAAS: GAAS is an open-source program designed for fully autonomous VTOL (a.k.a flying cars) and drones. *GitHub*. URL: <https://github.com/generalized-intelligence/GAAS> (date of access: 23.04.2024).
27. M. Fernandez-Cortizas et al. Aerostack2: A Software Framework for Developing Multi-robot Aerial Systems. 2023.

В. Г. МАРТИНОВИЧ

кандидат економічних наук, доцент, докторант,
доцент кафедри економіки та управління
Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0001-5210-3026

А. В. БОРОВКО

здобувач ступеня доктора філософії
Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0009-0001-9146-7022

ЕВОЛЮЦІЯ КЛЮЧОВИХ ЕТАПІВ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕКОНОМІКИ

У статті розглянуто загальну парадигму виникнення інформаційної економіки через призму формування її основних етапів. Визначено, що за сучасних часів інформація та знання є головним ресурсом споживання для населення. Зазначено, що розвиток етапів формування інформаційної економіки відбувався в процесі поступової трансформації структури суспільного виробництва, а також зміни пріоритетів щодо різних секторів економіки. Виділено, що розвиток інформаційної економіки почався за часів постіндустріального розвитку суспільства, а високі технології породили нове сучасне бачення інформації та знань в суспільстві. Зазначено найважливіші риси постіндустріального суспільства та вплив його розвитку на науково-технічний прогрес у науці та технологіях. Виділено чотири основні етапи розвитку та формування інформаційної економіки, зміна яких відбувалась під впливом інформаційно-технологічної революції, зміни галузевої структури виробництва та структури зайнятості. Наведено деталізацію кожного з етапів формування інформаційної економіки та виявлено, що перший етап характеризується понятійними властивостями, оскільки в цей період вперше з'являється термінологічне визначення поняття «інформаційна економіка». Визначено, що цей період характеризується прискоренням темпів економічного розвитку та створенням інноваційних підходів до виробництва. Наведено деталізовану схему другого етапу розвитку інформаційної економіки, який характеризується зміщенням акценту від застосування інформації до питань її якості та продуктивності. Наведено деталізацію третього етапу розвитку інформаційної економіки, який характеризується появою асиметричності доступу до інформаційних ресурсів залежно від соціального рівня розвитку країн. Наведено формування четвертого сучасного етапу розвитку інформаційної економіки, який характеризується активним зростанням попиту на інформація та знання як важливий стратегічний ресурс, а також переходом у цифровий інформаційний простір.

Ключові слова: інформатизація, інформаційна економіка, знання, розвиток, суспільство, інформація.

V. H. MARTINOVYCH

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Doctoral Student,
Associate Professor at the Department of Economics and Management
Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0001-5210-3026

A. V. BOROVKO

Postgraduate Student
Cherkasy State Technological University
ORCID: 0009-0001-9146-7022

EVOLUTION OF THE KEY STAGES OF THE FORMATION OF THE INFORMATION ECONOMY

The article examines the general paradigm of the emergence of the information economy through the prism of the formation of its main stages. It was determined that in modern times, information and knowledge are the main resource of consumption for the population. It was noted that the development of the stages of formation of the information economy took place in the process of gradual transformation of the structure of social production, as well as changes in priorities regarding various sectors of the economy. It is highlighted that the development of the information economy began during the post-industrial development of society, and high technologies gave birth to a new modern vision of information and knowledge in society. The most important features of post-industrial society and the impact of its development on scientific and technological progress in science and technology are indicated. Four main stages of the development and formation of the information economy are identified, the changes of which took place under the influence of the information technology revolution, changes in the industry structure of production and the structure of employment. Each

of the stages of the formation of the information economy is detailed and it is found that the first stage is characterized by conceptual properties, since the terminological definition of the concept of "information economy" appears for the first time in this period. It was determined that this period is characterized by the acceleration of economic development and the creation of innovative approaches to production. A detailed scheme of the second stage of the development of the information economy is presented, which is characterized by a shift in emphasis from the use of information to issues of its quality and productivity. The details of the third stage of the development of the information economy are given, which is characterized by the appearance of asymmetric access to information resources depending on the social level of development of countries. The formation of the fourth modern stage of the development of the information economy is presented, which is characterized by the active growth of demand for information and knowledge as an important strategic resource, as well as the transition to the digital information space. A detailed scheme of the second stage of the development of the information economy is presented, which is characterized by a shift in emphasis from the use of information to issues of its quality and productivity. The details of the third stage of the development of the information economy are given, which is characterized by the appearance of asymmetric access to information resources depending on the social level of development of countries. The formation of the fourth modern stage of the development of the information economy is presented, which is characterized by the active growth of demand for information and knowledge as an important strategic resource, as well as the transition to the digital information space.

Key words: informatization, information economy, knowledge, development, society, information.

Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується високою залежністю від інформації та рівня знань, адже вони є головним рушієм розвитку, які не лише генерують нові потоки інформації, а й створюють необхідні можливості для покращення доступу до інформаційних ресурсів.

Прискорення процесів інформатизації та цифровізації збільшують кількість інформації та швидкість, необхідну для її обробки населенням. В результаті зростає необхідність у прогресивних технічних засобах для її ефективного опрацювання, що свідчить про тісний взаємозв'язок між процесами інформатизації та комунікаційними технологіями. Основне призначення таких технологій – забезпечення пошуку, збору, зберігання, обробки та передавання інформації за допомогою спеціальних програмних засобів, які базуються на комп'ютерній техніці та використовують глобальну мережу Інтернет. Швидкий доступ до якісної та достовірної інформації став можливим завдяки оцифруванню існуючих інформаційних ресурсів. Процеси інформатизації суспільства, а також процес переходу на новий рівень життя населення має прямий вплив на рівень економічного розвитку у світі. Саме тому останніми роками суспільство перебуває у постійному пошуку найбільш ефективних напрямів поширення й використання інформації та знань як важливого напрямку економічного розвитку. Перехід від індустріальної до постіндустріальної епохи розвитку суспільства проявилось значним прогресом науки і техніки, появою нових технологій та інформаційних ресурсів. Відповідно до цього історично почав формуватися новий напрям економіки – інформаційна економіка, яка ставить перед суспільством нові вимоги та запити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Засновниками теорії постіндустріального суспільства, що є методологічною основою несформованого інформаційного суспільства, є вчені Д. Белл, О. Тоффлер, І. Масуда, Ж. Фурастьє, Дж. Гелбрейт, Ф. Махлуп, Дж. Стиглер та інші. Серед вітчизняних науковців, які вивчають проблеми формування інформаційної економіки та інформаційного суспільства є Н. Апатова, В. Базилевич, О. Білорус, А. Гальчинський, В. Геєць, Д. Лук'яненко, Л. Мельник та ін. У більшості вчених відсутній системний аналіз еволюційної парадигми формування інформаційної економіки, а лише локально згадуються деякі з етапів. Саме тому, визначення базових гіпотез формування інформаційної економіки є важливим етапом раціонального бачення розвитку інформаційного суспільства.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є формування та дослідження ключових етапів формування інформаційної економіки.

Викладення основного матеріалу дослідження

Розвиток етапів формування інформаційної економіки відбувався в процесі поступової трансформації структури суспільного виробництва, а також зміни пріоритетів щодо різних секторів економіки. Тобто, пріоритетність одним видам господарської діяльності на початковому етапі суспільного розвитку змінювалось іншими видами господарської діяльності.

На етапі постіндустріального розвитку суспільства інформаційна економіка стає локомотивом економічного зростання розвинутих країн, а високі технології породжують нове сучасне бачення інформації та знань в суспільстві. На відміну від умов розвитку індустріальної економіки, яка передбачає масове виробництво великим партіями однакових товарів, постіндустріальна економіка передбачає систематичне та безперервне оновлення товарів, які несуть в собі інноваційне підґрунтя.

Д. Беллом виділено такі найважливіші риси постіндустріального суспільства:

- основна роль належить споживанню інтелектуальних послуг;
- створюються нові інтелектуальні технології;

- на зміну нестачі благ приходить дефіцит інформації і часу;
- економіка може бути охарактеризована як інформаційна [1].

Іншими словами, інформаційна економіка представляє собою нову форму економічної системи, яка активно формується. В її основі лежать знання як головний ресурс та продукт для споживання. Розвиток цієї економіки відбувається відносно швидко поряд із прогресом у науці та технологіях. Система постіндустріального суспільства характеризується відкритістю, пластичністю та орієнтується на безперервне узгодження взаємовідносин між учасниками таких структур. Впровадження інформаційних технологій у всі аспекти суспільного життя робить вивчення інформаційної економіки складним завданням, яке потребує комплексного підходу. З кожним роком інформаційні процеси, інформатизація, та інформаційний простір набувають різноманітного значення та вагомості, що чітко простежується у генезисі розвитку інформаційної економіки протягом багатьох років. Аналізуючи етапи розвитку інформаційної економіки, більшість вчених виділяють чотири етапи її становлення (рис. 1).

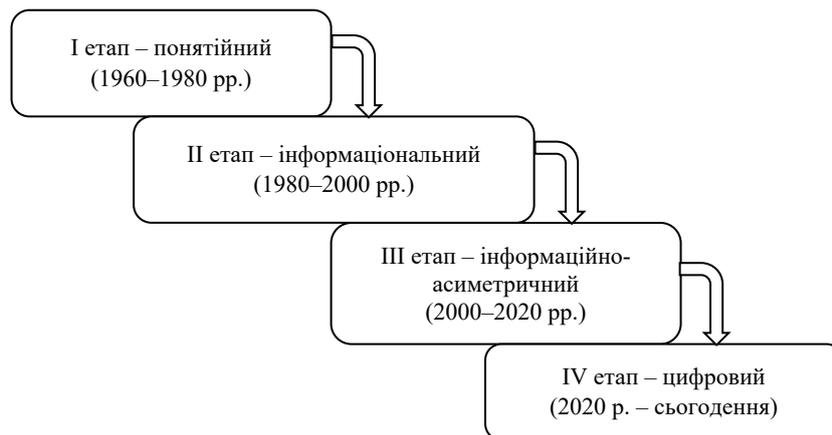


Рис. 1. Еволюція етапів розвитку інформаційної економіки

Зміна етапів розвитку інформаційної економіки відбувалась під впливом інформаційно-технологічної революції, зміни галузевої структури виробництва та структури зайнятості. В свою чергу це зумовило зміну соціальної структури всього суспільства та висунуло наукові знання та технологічний прогрес на перший план. Проаналізуємо більш детально перший етап розвитку інформаційної економіки (рис. 2).

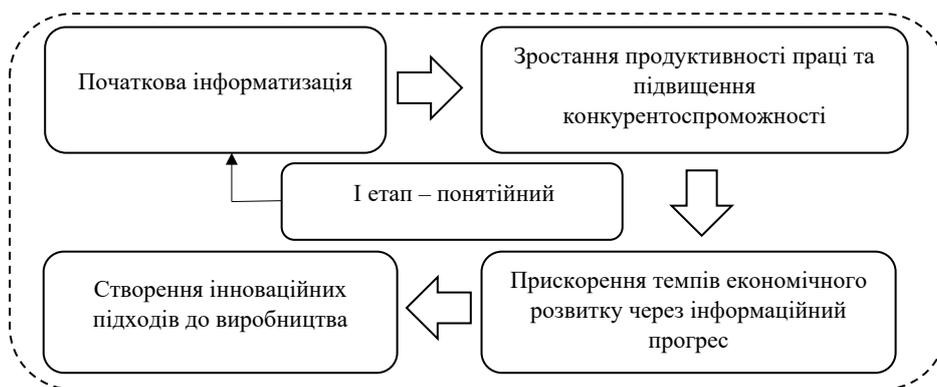


Рис. 2. Деталізація першого етапу розвитку інформаційної економіки

Перший етап розвитку інформаційної економіки – (1960–1980 рр.), представниками якого стали Н. Реймерс, Ф. Махлуп та М. Порат. Цей етап характеризується першою появою терміну «інформаційна економіка», а також швидким поширенням цього терміну, який характеризував економічний стан високорозвинених країн. Інформація стає головним важелем економічного розвитку суспільства [2]. Як наслідок, процеси початкової інформатизації здійснюють вагомий вплив на конкурентоспроможність та продуктивність трудових ресурсів, що проявляється у швидкості пошуку й обробки необхідної інформації, а також створенню на цьому тлі інноваційних підходів до виробництва.

Другий етап характеризується появою нових категорій та виділення інформаційних ресурсів як способу генерації нових знань на тлі активної трансформації суспільства (рис. 3).



Рис. 3. Деталізація другого етапу розвитку інформаційної економіки

Другий етап розвитку інформаційної економіки – (1980–2000 рр.) представляє М. Кастельс, який розробив поняття «інформаціональної економіки», яка встановлює інноваційний спосіб розвитку через трансформацію капіталістичного виробництва. Відбувається зміщення уваги від важливості знань до процесу обізнаності у створенні таких знань та дотримання конкретної послідовності для генерування нової інформації та знань [3]. Характерними рисами цього періоду стали глобальність та інформаціональність, які стимулювали збільшення національного капіталу країн, здійснили значний поштовх до питань якості інформації та її продуктивності для різних країн і підприємств.

Зміна бачення на якість інформації породжує виникнення та формування третього етапу розвитку інформаційної економіки (рис. 4).

Третій етап розвитку інформаційної економіки – (2000–2020 рр.) характеризується науковою школою Дж. Стігліца, який сформував твердження про дефіцитність інформації для деяких територій та груп населення [4].

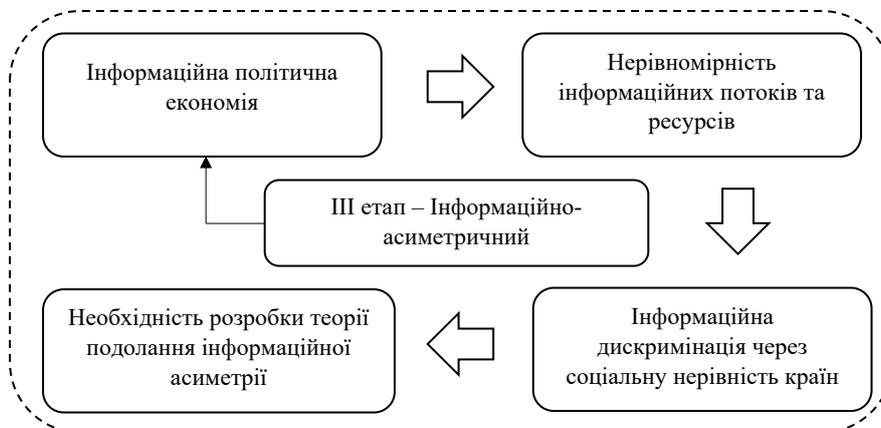


Рис. 4. Деталізація третього етапу розвитку інформаційної економіки

В цей період гостро актуалізуються питання соціальної нерівності та інформаційної дискримінації, оскільки отримання інформації для деяких груп населення стає складним через обмеження певних можливостей. Саме тому Дж. Стігліц розглядав необхідність розробки нової теорії, яка могла б враховувати інтереси усіх верств населення та рівномірний доступ до різних інформаційних ресурсів.

На сьогоднішній день світова економіка вже поступово переходить до четвертого етапу розвитку інформаційної економіки, який характеризується повною інформатизацією та цифровізацією суспільства, прискоренням обміну, передачі та обробки інформації у багато разів порівняно з попередніми етапами її розвитку. Передумовою цього етапу розвитку інформаційної економіки стала всесвітня пандемія COVID-19, яка змусила суб’єктів господарювання переходити на цифрові формати обміну і передачі інформації, впровадження сучасних, не використовуваних раніше технологій для обробки, збереження та доступу до різних видів ресурсів. Схематично сучасний етап та основні кроки розвитку інформаційної економіки зображені на рисунку 5.

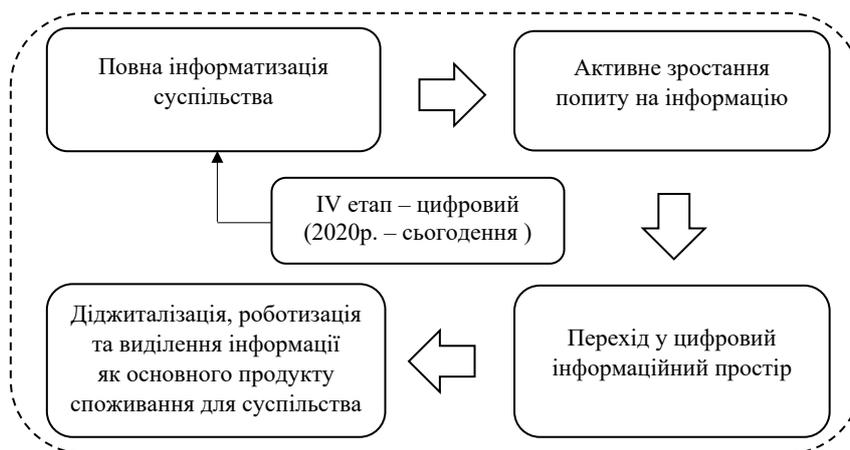


Рис. 5. Деталізація четвертого етапу розвитку інформаційної економіки

Повна інформатизація суспільства передбачає оцифрування усіх суб'єктів господарювання та постійне зростання попиту на інформацію, кількість споживання якої не обмежується. Проникнення процесів діджиталізації активно проявляються у фінансовій, банківській сферах, бізнесі, торгівлі та інших сферах господарювання, про що доводить низка досліджень вітчизняних науковців [5; 6; 7; 8]. Це призводить до того, що інформація та знання досить швидко продаються та стають основним продуктом споживання для кожного учасника сучасного суспільства.

Таким чином, явища та процеси, що відбуваються в суспільстві під впливом інформаційно-технологічної революції та зростання ролі інформації і знань як факторів виробництва, становлять підґрунтя для проведення комплексного дослідження парадигми виникнення та формування інформаційної економіки. В Україні спостерігається тенденція до активного поширення та розвитку інформаційної економіки, яка проявляється у активному цифровому просуванні ресурсів та знань. Подальший розвиток інформаційної економіки в Україні може забезпечити стабільність та підсилити ефективність галузей, в які вони інтегруються.

Список використаної літератури

1. Bell D. The coming of post-industrial society: a venture in social forecasting. N.Y.:Basic Books, 1976. 528 p.
2. Маслов А. Етапи розвитку теорії інформаційної економіки у другій половині XX – на початку XXI століть. *Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка*. 2011. № 128. С. 11–15.
3. Кастельс М., Хіманен П. Інтернет-галактика. Міркування щодо Інтернету, бізнесу і суспільства. К. : Ера, 2007. 304 с.
4. Дж. Стігліц. Про асиметричну інформацію та фінансові ринки : [матеріали виступу Дж. Стігліца при одержанні Нобелівської премії з економіки 8 грудня 2001 року у скороченому вигляді]. *Фінансовий ринок України*. 2011. № 10. С. 40–44.
5. Havryliuk O., Yakushev O., Prodanova L., Yakusheva O., Kozlovska S. Digital banking and e-commerce in the context of digitalization of business management. *Financial and credit activities problems of theory and practice*. 2021. № 5(40). p. 4–15.
6. Kovalenko Y., Zakharova O., Yakusheva O., Yakushev O., Hulak D., Kozlovska S. (2021). Priorities for the Development of Regional Information Management Based on System Digitalization. Sustainable Development in the Post-Pandemic Period. SHS Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference (SDPPP-2021). November 9-10. O. Prokopenko, M. Troian and M. Järvis (Eds.). Tallinn, Estonia, 2021. Vol. 126. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202112604002>.
7. Данніков О.В., Січкаренко К.О. Концептуальні засади цифровізації економіки України. *Інфраструктура ринку*. 2018. No 17. С. 73–79.
8. Шкарлет С. М. Інформаційна економіка: методи, моделі та технологія формування : монографія / С. М. Шкарлет. Чернівці, 2014. 288 с.

References

1. Bell D. (1976). The coming of post-industrial society: a venture in social forecasting. N.Y.:Basic Books. 528 p.
2. Maslov A. (2011). Stages of development of the theory of information economy in the second half of the 20th – at the beginning of the 21st century. *Bulletin of Kyiv National University named after T. Shevchenko*. №. 128. P. 11–15.

3. Castells M., Himanen P. (2007). Internet galaxy. *Considerations regarding the Internet, business and society*. K.: Era, 2007. 304 p.
5. Havryliuk O., Yakushev O., Prodanova L., Yakusheva O., Kozlovska S. (2021). Digital banking and e-commerce in the context of digitalization of business management. *Finansial and kredit activities problems of theory and practice*. №5(40). p. 4-15.
6. Kovalenko Y., Zakharova O., Yakusheva O., Yakushev O., Hulak D., Kozlovska S. (2021). Priorities for the Development of Regional Information Management Based on System Digitalization. Sustainable Development in the Post-Pandemic Period. *SHS Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference. November 9–10*. O. Prokopenko, M. Troian and M. Järvis (Eds.). Tallinn, Estonia, 2021. Vol. 126 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202112604002>.
7. Dannikov O.V., Sichkarenko K.O. (2018). Conceptual principles of digitization of the economy of Ukraine. *Market infrastructure*. №. 17. P. 73–79.
8. Shkarlet S. M. (2014). Information economy: methods, models and technology of formation: *monograph*. Chernihiv. 288 p.

Р. О. НОВАЧУКаспірант кафедри інженерії програмного забезпечення
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0000-0001-6914-0026**Д. С. АНТОНЮК**кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0000-0001-7496-3553

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ НА ОСНОВІ БАГАТОРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Електронна комерція стала невід'ємною частиною сучасного бізнесу, вона набула різних форм і продовжує стрімко розвиватися. Особливий поштовх в розвитку систем електронної комерції спричинила епідемія Covid-19, яка в міру введених обмежень змусила компанії шукати нові шляхи продажу своїх товарів і послуг, які не вимагали фізичного контакту продавця і покупця, а всі транзакції здійснювали за допомогою мережі інтернет. Проте інтеграція системи електронної комерції в модель функціонування бізнесу як правило вимагає значних інвестицій, однак результат цього процесу важко оцінити. В міру наявності великої кількості різноманітних систем електронної комерції ставить компанію перед проблемою вибору такої, яка буде найкраще підходити під їх потреби і модель ведення його діяльності. На цьому етапі потрібно розуміти, чим і якою мірою системи електронної комерції відрізняються між собою. В цій роботі розглянуто підхід до оцінки систем електронної комерції на основі багатокритеріального аналізу прийняття рішень та методу зваженої суми. Даний метод базуються на ряді вибраних критеріїв, які описують систему електронної комерції, та по яких оцінюється кожна з систем. Кожен з критеріїв має свою вагу, яка виражає його важливість. Для порівняння можливих альтернатив між собою результат оцінки подається у вигляді матриці. Для отримання абсолютної оцінки пропонується перейти від окремих критеріїв до суперкритерію вираженого в числовій величині. Даний метод оцінки рішень електронної комерції потребує залучення особи, що має потрібну експертизу в цій області, проте він має свою перевагу, а саме відносно простоту у застосуванні.

Ключові слова: електронна комерція, багатокритеріальний аналіз, оцінка ефективності.

R. O. NOVACHUKPostgraduate Student at the Department of Software Engineering
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0000-0001-6914-0026**D. S. ANTONIUK**Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Software Engineering Department
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0000-0001-7496-3553

EVALUATION OF E-COMMERCE SOLUTION EFFICIENCY BASED ON MULTI-CRITERIA DECISION MAKING ANALYSIS

Electronic commerce has become an integral part of modern business, taking various forms and continuing to rapidly evolve. The Covid-19 epidemic provided a significant boost to the development of e-commerce systems. As restrictions were imposed, companies were compelled to find new ways to sell their products and services that did not require physical contact between the seller and buyer, conducting all transactions via the internet. However, integrating an e-commerce system into a business model typically requires substantial investment, and evaluating the outcomes of this process can be challenging. With a plethora of e-commerce systems available, companies face the challenge of choosing one that best suits their needs and business model. At this stage, it's essential to understand the differences between various e-commerce systems and how they vary in functionality. This paper discusses an approach to evaluating e-commerce systems based on multi-criteria decision analysis and the weighted sum method. This method is based on a set of selected criteria that describe the e-commerce system, and each system is assessed based on these criteria. Each criterion has a weight that represents its importance. To compare possible alternatives, the assessment results are presented in matrix

form. To obtain an overall evaluation, it is proposed to transition from individual criteria to a super-criterion expressed as a numerical value. This method of evaluating e-commerce decisions requires involvement from an individual with expertise in this area but offers the advantage of relative simplicity in its application.

Key words: e-commerce, multicriteria decision analysis, efficiency evaluation.

Постановка проблеми

В наш час цифрової трансформації та широкої доступності інтернету, сума продажів товарів і послуг здійснених онлайн невідмінно зростає [1]. Перед кожним бізнесом постає питання впровадження сучасної системи електронної комерції (ЕК) для забезпечення його конкурентної спроможності та отримання переваг які такі системи надають.

Проте цей процес потребує значних інвестицій та вибору моделі і системи ЕК, що, в свою чергу, ставить бізнес перед вибором, для здійснення якого, йому варто розуміти чим такі системи відрізняються між собою та яким чином кожна з них може вплинути на ефективність його діяльності.

Таким чином постає питання об'єктивної оцінки систем електронної комерції та порівняння їх між собою, для того щоб обрати оптимальну за вибраними критеріями альтернативу, яка дасть змогу отримати найкращий результат до затрачених інвестицій. В даній статті розглядається підхід до оцінки систем електронної комерції на основі багатокритеріального аналізу та методу зваженої суми, що дає змогу в числовому вигляді отримати оцінку та прийняти рішення що до вибору певної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Актуальність цього питання обумовлює підвищений інтерес до нього серед наукової спільноти. Дослідженням цього питання займалися такі вчені як Бабак Ердебілі (Babak Erdebilli), Казім Топуз (Kazim Topuz), Алі Дег (Ali Dag), Асіл Озтекін (Asil Oztekin) [2]. В своїй роботі вони пропонують використовувати гібридний метод оцінки рішень електронної комерції, в основі якого лежать методи аналізу ієрархій та метод вибору порядку за схожістю до ідеального рішення. Оцінка відбувається на основі якісних та кількісних показників.

В своєму дослідженні Чіа-Нан Вонг (Chia-Nan Wang), Тхань-Туан Данг (Thanh-Tuan Dang), Нок-Ай-Ті Нгуєн (Ngoc-Ai-Thy Nguyen) досліджували оцінку ефективності десяти найбільших маркетплейсів на основі статистичної моделі, в основі якої лежить врахування активів, пасивів та власного капіталу цих компаній, та будували модель прогнозування доходу та валового прибутку на основі цих показників [3].

Вчені Декук Кен (Daekook Kang), Вусок Джанг (Wooseok Jang) та Йонте Парк (Yongtae Park) в своїй публікації "Evaluation of e-commerce websites using fuzzy hierarchical TOPSIS based on E-S-QUAL" запропонували підхід до оцінки B2C рішень електронної комерції за допомогою методу багатокритеріального аналізу TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) на основі E-S-QUAL (Electronic Service Quality) як інструменту вимірювання якості електронних послуг [4].

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є огляд методу оцінювання ефективності рішень електронної комерції та вибору найкращої альтернативи на основі теорії прийняття рішень.

Викладення основного матеріалу дослідження

У сучасному цифровому світі електронна комерція стала ключовим фактором який визначає конкурентоспроможність та ефективність підприємств. Зростання використання інтернет-технологій у сфері торгівлі відкриває безмежні можливості для розвитку бізнесу, перетворюючи традиційні моделі ведення торгівлі та взаємодії з клієнтами. Сьогодні, дослідження впливу електронної комерції на ефективність бізнесу набуває особливої актуальності, оскільки цей сегмент господарської діяльності стає необхідним елементом стратегій росту та утримання лідерства на ринку. У цьому контексті, вивчення переваг та викликів, які виникають при впровадженні електронної комерції, дозволяє розуміти, як цей технологічний рух впливає на функціонування сучасного бізнесу, забезпечуючи йому конкурентні переваги та нові можливості розвитку.

В ряді останніх досліджень описуються аспекти впливу впровадження засобів електронної комерції на продуктивність бізнесів. В одному з таких досліджень автори описують структуру сучасної моделі електронної комерції, де виділяють переваги які отримує бізнес від її впровадження а також виклики з якими він стикається в цьому процесі [5]. Серед основних переваг виділяють значне зниження операційних та телекомунікаційних витрат, відсутність будь-яких часових обмежень в їх діяльності, доступність інформації про продукти та послуги в онлайн режимі та можливість створення замовлень незалежно від часу доби чи дня тижня, можливість відносно простого масштабування та вихід на нові ринки ігноруючи географічні обмеження. Проте крім зазначених переваг, впровадження електронної комерції потребує вирішення певної кількості задач, таких як виклики пов'язані з кібербезпекою та запобіганню можливих витоків інформації, наявності актуальних та важливих елементів рішення, що забезпечують перевагу над конкурентами та містять важливі функціональні елементи, забезпечення безперервного онлайн доступності ресурсу та стабільного його функціонування а також підтримання актуального та зрозумілого для користувача інтерфейсу. Відсутність будь-якого з цих складових може мати негативний ефект на ефективність роботи бізнесу, його імідж, що призводить до відтоку покупців та зниження прибутковості.

Беручи до уваги, що впровадження системи електронної комерції для бізнесу може потребувати значних інвестицій – постає питання оцінки ефективності впровадження різних типів систем ЕК та вибору такої, яка буде мати найвищу оцінку на величину інвестицій.

Оскільки оцінка якості або ефективності системи ЕК та вибір найкращого варіанту передбачає аналіз декількох альтернатив, кожна з яких може бути описана множиною параметрів або критеріїв – можна припустити, що для вирішення цієї задачі буде доцільно застосувати багатокритеріальний аналіз рішень (БКАР).

Основною метою багатокритеріального аналізу рішень або багатокритеріального аналізу прийняття рішень є визначення найкращої альтернативи шляхом розгляду більш ніж одного критерію в процесі відбору. БКАР має різноманітні інструменти та методи, які можна застосовувати в різних сферах, від фінансів до інженерного проектування. Проте кожен з цих методів містить три основні кроки (рис. 1) [6].



Рис. 1. Етапи БКАР (Taherdoost H., Madanchian M.) [6]

В загальному вигляді алгоритм вибору найкращої альтернативи буде складати з наступних частин:

- Аналіз та вибір критеріїв, які описують систему ЕК
- Оцінка важливості (ваги) кожного з критеріїв
- Оцінка кожної моделі на основі вибраного методу
- Порівняльний аналіз побудованих моделей
- Отримання фінальної скалярної оцінки та висновків

Таким чином задача з пошуку найефективнішого рішення зведеться до пошуку певної альтернативи з набором критеріїв які будуть мати оптимальні значення в рамках визначених обмежень (рис. 2).

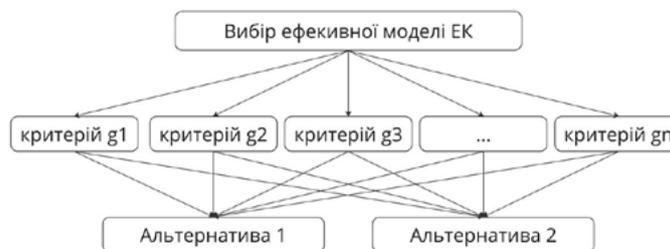


Рис. 2

На першому етапі потрібно вибрати групу критеріїв, які будуть описувати модель ЕК. Серед таких критеріїв можуть бути вибрані критерії які описують:

- модель сукупних витрат або інвестицій для впровадження системи ЕК та регулярних операційних витрат
- модель ефективності системи

В нашому випадку особа що приймає рішення може обмежити вартість рішення, задавши його граничне значення, в такому випадку вартість перейде з розряду критеріїв у розряд обмеження і рішення задачі буде відбуватися для знаходження найкращого рішення ефективності з урахуванням вибраних обмежень.

На другому етапі для порівняльного багатокритеріального аналізу потрібно для вибраних критеріїв g_i задати кожному свою вагу k_i [5]. Таким чином агрегований індекс ефективності рішення ЕК можна записати у наступному вигляді:

$$Z(A_i) = k_1 g_1(A_i) + k_2 g_2(A_i) + \dots + k_n g_n(A_i).$$

де кожен елемент $g_i(A_i)$ являє собою оцінку моделі A_i за n -ним критерієм.

Таким чином узагальнено багатокритеріальний порівняльний аналіз впровадження різних систем ЕК можна представити у вигляді матриці, представленої у Таблиці 1, рядки якої представляють системи ЕК, а стовпці – критерії.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз систем електронної комерції

Системи	Критерії					
	g_1	g_2	...	g_i	...	g_m
A_1						
A_2						
...						
A_i				$g(A_i)$		
...						
A_n						

Таким чином, виділивши основні критерії та визначивши їх вагу, можна отримати індекс продуктивності різних систем ЕК. На даному етапі, особа, яка приймає рішення, виходячи зі значень в таблиці, може провести попередній аналіз, та на основі наявних обмежень або важливості окремих критеріїв для бізнес моделі, до якої буде застосовуватися рішення ЕК, може відкинути деякі системи як такі, що виходять за границі обмежень або не підходять через розбіжності між потребами бізнесу і характеристиками системи ЕК.

Науковці, що вже вивчали питання впливу застосування рішень електронної комерції на ефективність бізнесу, дійшли до висновків, що інвестиції в рішення електронної комерції не гарантують підвищення його ефективності та можуть мати як позитивний ефект так і негативний або навіть нейтральний. В своїй роботі вони акцентують увагу на тому що кожен окремий канал електронної комерції може мати різний ефект на прибутки компанії, в залежності від таргетованого сегменту ринку на якому працює компанія, її розміру та роду діяльності, водночас комбінації різних каналів в поєднанні з адаптацією рішень електронної комерції до потреб бізнесу частіше показували позитивний вплив на ефективність бізнес моделі [5]. Таким чином при оцінці ефективності впровадження системи ЕК варто звертати увагу на наступний показник:

$$Q = \frac{\sum I - \sum E}{\sum E} * 100\%,$$

де I – чистий прибуток, E – інвестиції.

Цей показник прийнято називати ROI (return over investment), він є одним з найбільш важливих показників через те що він має безпосередній вплив на фінансові показники компанії [7]. Він дає змогу порівняти різні варіанти бізнес моделі або різні моделі між собою.

Виходячи з заданого опису підрахунку ROI можемо зробити висновок, що для отримання кращих позитивних результатів потрібно зменшувати частку витрат та забезпечити виконання наступної умови:

$$\sum I \geq \sum E$$

Для отримання кінцевої оцінки кожної альтернативи потрібно перейти від окремих критеріїв до суперкритерію, це може бути здійснено за допомогою методу зваженої суми:

$$Z_n = \sum_{i=1}^n k_i * g_i$$

де Z_n – оцінка вибраної альтернативи n , g_i – оцінка альтернативи n за критерієм i , k_i – вага критерію i , n – кількість критеріїв. Метою в даному випадку є максимізація усіх критеріїв, що призведе до отримання найкращої оцінки альтернативи. На основі отриманої оцінки можна зробити висновки що до доцільності впровадження тої чи іншої системи ЕК.

Висновки

В даній роботі було розглянуто і запропоновано підхід до оцінки та порівняння між собою систем електронної комерції на основі багатокритеріального аналізу прийняття рішень з використанням методу зваженої суми. Даний метод дозволяє порівняти різні альтернативні рішення та вибрати модель, яка буде мати найкращий показник ефективності на основі вибраних критеріїв, що в свою чергу дасть змогу особі яка приймає рішення отримати об'єктивну оцінку альтернативних систем ЕК та отримати максимальний результат від інвестицій. Перевагою запропонованого методу є його відносна простота у застосуванні, проте він вимагає вирішення завдання з призначення коректної ваги кожному з критеріїв, що може потребувати залучення у процес оцінки осіб з наявним рівнем експертизи в цьому питанні.

Список використаної літератури

1. Stephanie Chevalier. Retail e-commerce sales worldwide from 2014 to 2027. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce-sales/> (date of access:10.04.2024).
2. Rouyendegh, B.D., Topuz, K., Dag, A. et al. (2019) An AHP-IFT Integrated Model for Performance Evaluation of E-Commerce Web Sites. *Inf Syst Front* 21, 1345–1355. <https://doi.org/10.1007/s10796-018-9825-z>.
3. Wang, C.-N.; Dang, T.-T.; Nguyen, N.-A.-T.; Le, T.-T.-H. (2020) Supporting Better Decision-Making: A Combined Grey Model and Data Envelopment Analysis for Efficiency Evaluation in E-Commerce Marketplaces. *Sustainability*, 12, 10385. <https://doi.org/10.3390/su122410385>.
4. Daekook Kang, Wooseok Jang, Yongtae Park, (2016) Evaluation of e-commerce websites using fuzzy hierarchical TOPSIS based on E-S-QUAL: *Applied Soft Computing* (Volume 42, Pages 53-65). <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.01.017>.
5. Šaković Jovanović J, Vujadinović R, Mitreva E, Fragassa C, Vujović A. (2020) The Relationship between E-Commerce and Firm Performance: The Mediating Role of Internet Sales Channels. *Sustainability*. 12(17):6993. <https://doi.org/10.3390/su12176993>.
6. Taherdoost H, Madanchian M. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) (2023) *Methods and Concepts*. *Encyclopedia*.; 3(1):77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>.
7. Return on Investment (ROI): How to Calculate It and What It Means. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp>.

References

1. Stephanie Chevalier. Retail e-commerce sales worldwide from 2014 to 2027. URL: <https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce-sales/> (date of access:10.04.2024).
2. Rouyendegh, B.D., Topuz, K., Dag, A. et al. (2019) An AHP-IFT Integrated Model for Performance Evaluation of E-Commerce Web Sites. *Inf Syst Front* 21, 1345–1355. <https://doi.org/10.1007/s10796-018-9825-z>.
3. Wang, C.-N., Dang, T.-T., Nguyen, N.-A.-T. Le, T.-T.-H. (2020) Supporting Better Decision-Making: A Combined Grey Model and Data Envelopment Analysis for Efficiency Evaluation in E-Commerce Marketplaces. *Sustainability* 2020, 12, 10385. <https://doi.org/10.3390/su122410385>.
4. Šaković Jovanović J, Vujadinović R, Mitreva E, Fragassa C, Vujović A. (2020) The Relationship between E-Commerce and Firm Performance: The Mediating Role of Internet Sales Channels. *Sustainability*. 12(17):6993. <https://doi.org/10.3390/su12176993>
5. Šaković Jovanović J, Vujadinović R, Mitreva E, Fragassa C, Vujović A. (2020) The Relationship between E-Commerce and Firm Performance: The Mediating Role of Internet Sales Channels. *Sustainability*. 12(17):6993. <https://doi.org/10.3390/su12176993>
6. Taherdoost H, Madanchian M. Multi-Criteria Decision Making (MCDM) (2023) *Methods and Concepts*. *Encyclopedia*.; 3(1):77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>
7. Return on Investment (ROI): How to Calculate It and What It Means. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp>.

Є. В. ОГІНСЬКИЙаспірант кафедри інженерії програмного забезпечення
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0000-0002-7777-8449**Д. С. АНТОНЮК**кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0000-0001-7496-3553

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ДОХОДНОСТІ ТА РИЗИКОВАНOSTІ ІНВЕСТИЦІЙ У КОНТЕКСТІ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМИ ФІНАНСАМИ

Управління персональними фінансами є ключовим аспектом досягнення фінансової стабільності та добробуту і відіграє важливу роль у житті сучасної людини. Інвестиції є одним з інструментів персональних фінансів, що дозволяє зберігати і накопичувати кошти. Важливим фактором при виборі інвестиційних фінансових інструментів є знаходження збалансованого співвідношення дохідності і ризикованості. Дохідність визначає очікуваний майбутній прибуток від інвестицій, в той же час ризикованість характеризує ступінь невизначеності і ймовірність того, що реальні доходи будуть відрізнятися від очікуваних. В цій роботі розглянуто підходи вибору інвестиційного портфелю і покращення його дохідності та ризикованості шляхом диверсифікації ризикових активів. Можливість додавання безризикових активів у портфель значно розширює множину доступних ефективних портфелів. В роботі також проведений аналіз впливу дохідності та ризику інвестиційного портфелю на досягнення персональних фінансових цілей за допомогою моделювання методом Монте-Карло. Даний метод базується на використанні випадкових чисел для імітації реальних процесів. Вхідні параметри для розрахунків, такі як дохід за поточний період і значення інфляції, характеризуються ймовірнісними характеристиками. В результаті виконання великої кількості симуляцій отримується ймовірність досягнення фінансової цілі і середнє значення результату при заданих вхідних параметрах. На прикладі показано як збільшення дохідності впливає на накопичення, і відповідно збільшує середнє значення можливого прибутку. Ризик, в свою чергу, може зменшити ймовірність досягнення фінансової цілі в цілому. Показана необхідність зваженого підходу до вибору дохідності і ризику інвестицій. Цей вибір заснований на принципах компромісу і оптимальні значення можуть відрізнятися в залежності від поставленої мети. Збалансований підхід до вибору дохідності та ризикованості, а також моделювання їхнього впливу на кінцевий результат, забезпечує можливість оптимізації фінансових рішень для широкого спектру завдань у сфері персональних фінансів.

Ключові слова: моделювання, персональні фінанси, інвестиції, оптимізація портфелю, метод Монте-Карло.

YE. V. OHINSKYIPostgraduate Student at the Department of Software Engineering
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0000-0002-7777-8449**D. S. ANTONIUK**Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Software Engineering Department
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0000-0001-7496-3553

MODELING THE IMPACT OF INVESTMENT RETURNS AND RISKS IN THE CONTEXT OF PERSONAL FINANCE MANAGEMENT

Personal finance management is a key aspect of achieving financial stability and well-being and plays an important role in the life of a modern person. Investments are one of the tools of personal finance management that allows you to save and accumulate funds. An important factor in choosing investment financial instruments is finding a balanced ratio of return and risk. Return defines the expected future profit from investments, while risk characterizes the degree of uncertainty and the probability that actual returns will differ from the expected ones. This paper considers approaches to selecting an investment portfolio and improving its return and risk through the diversification of risky assets. Adding risk-free assets to the portfolio significantly expands the range of available efficient portfolios. The paper also analyzes

the impact of investment portfolio return and risk on the achievement of personal financial goals using Monte Carlo simulation. This method is based on the use of random numbers to simulate real processes. Input parameters for calculations, such as income for the current period and inflation rates, are characterized by probabilistic features. As a result of performing a large number of simulations, the probability of achieving a financial goal and the average value of the outcome given the input parameters are obtained. The example demonstrates how an increase in returns affects accumulation, and consequently enhances the average potential profit. Higher risk, in turn, can reduce the probability of achieving the financial goal in general. The paper shows the need for a balanced choice of return and risk of investments. This decision is based on trade-off, and the optimal outcomes can differ and depend on the specific objectives established. A balanced approach to the choice of return and risk, as well as modeling their impact on the final result, makes it possible to optimize financial decisions for a wide range of personal finance tasks.

Key words: modeling, personal finance, investment, portfolio optimization, Monte Carlo simulation.

Постановка проблеми

Питання персональних фінансів є важливою частиною існування сучасного суспільства. Особливо актуальним це питання стає під час нестабільності та змін у економічно-фінансовій сфері. Поняття персональних фінансів включає в себе різні аспекти, такі, як керування доходами і витратами, накопичення коштів, оподаткування, врахування ризиків, тощо.

Важлива роль у виборі фінансових інструментів припадає на вибір оптимального співвідношення ризикованості до доходності. Ризикованість інструментів визначає ступінь невизначеності і ймовірність того, що реальні доходи будуть відрізнятись від очікуваних. Деякі інструменти можна розглядати як низькоризикові, що гарантують визначену доходність, наприклад, депозити в надійному банку, або інвестиції в ОВДП, якщо вони купляються на весь строк випуску облігацій. Також існує можливість продати облігації достроково на вторинному ринку, що може знизити або підвищити їх доходність. Це збільшує ризик ОВДП як інвестиційного інструменту. Можливість інвестицій у акції значно розширює спектр доходності і ризику інвестицій.

В загальних рекомендаціях для інвестицій пропонується визначити припустимий рівень ризику для людини за допомогою опитувань і знайти максимальну доходність при заданому ризику. В даній статті розглядається знаходження оптимальної доходності і ризикованості відповідно до вимог фінансової цілі персональних фінансів за допомогою моделювання. Фінансова ціль може визначати необхідну суму накопичення, часові рамки для використання коштів тощо. Для деяких цілей важливо мати визначену суму на конкретний строк, скажімо накопичення коштів на майбутнє навчання. Деякі цілі, такі як накопичення коштів на авто або подорож, дозволяють при необхідності скоригувати суму або дату для використання коштів. Ці фактори визначають вимоги для знаходження збалансованого співвідношення доходності і ризикованості фінансових інструментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В ряді останніх досліджень і публікацій розглянуто підходи та методології в сфері портфельного інвестування, основні моделі портфельної оптимізації, такі як моделі Марковіца і Тобіна, та їх застосування та розширення за допомогою методу Монте-Карло та інтеграції з машинним навчанням.

М. Mangram проаналізував внесок Марковіца у сучасну портфельну теорію (Modern Portfolio Theory, MPT), зазначив основні елементи теорії, які включають розуміння компромісу між ризиком та доходністю, значення диверсифікації, та використання кількісних показників, таких як варіація та коваріація, у виборі портфеля [1]. Також в праці було вказано на теоретичні обмеження MPT і відмінності між ідеальними умовами та реальністю.

Ветрова Г. В. і Гужва В. О. розглядають процес формування інвестиційного портфеля з використанням моделі Марковіца для оптимізації портфеля, а також модель Тобіна як розширення моделі Марковіца за допомогою включення безризикового активу разом із ризиковими цінними паперами [2]. Представлено порівняння результатів використання обох моделей та ефект від інтеграції безризикових активів у модель Тобіна. Як приклад, сформовано портфоліо з урахуванням специфіки українського фондового ринку.

Z. Chen, H. Li, Z. Li, L. Yin у своїй роботі порівняли ефективності моделі Марковіца (MPT) з простою індексною моделлю (Single index model, SIM), зроблено висновок, що модель Марковіца більше підходить для портфелів з високим ризиком, тоді як проста індексна модель краща для низькоризикових інвестицій [3].

В ряді публікацій розглядаються методи оцінки ризиків та диверсифікації. Так Жовновач Р. І., Вишневська В. А., Шевчук М. О. досліджують диверсифікацію як метод зменшення ризиків у інвестиційному маркетингу [4], Мажара Г. А., Крикун Є. О. аналізують методи багатокритеріальної оптимізації для мінімізації ризику інвестиційного портфеля [5].

S. Ding описує застосування моделювання Монте-Карло у поєднанні з моделлю Марковіца для керування невизначеністю на фінансових ринках і оптимізації портфелів, спрямоване на збалансування ризику і доходності [7]. А. Chaweewanchon і С. Rujirā у своїй роботі ілюструють інтеграцію машинного навчання з моделлю Марковіца для вибору акцій і оптимізації портфеля, підтверджуючи, що використання аналітичних прогностичних методів може значно підвищити продуктивність портфелів [8].

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є розглянути принципи вибору інвестиційного портфелю і можливості для знаходження оптимальних значень дохідності і ризикованості інвестицій, і за допомогою моделювання дослідити вплив дохідності і ризикованості на ймовірність досягнення фінансової цілі в персональних фінансах.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відомим науковцем, що працював в сфері фінансових інвестицій і досліджував питання оптимізації інвестиційного портфелю, є Гаррі Марковіц. Він запропонував модель, де основними факторами для знаходження оптимального портфелю є дохідність цінних паперів і їх ризик. В даній моделі дохідність цінних паперів визначається, як математичне очікування дохідності, а ризик визначається середньоквадратичне відхилення дохідності. Основою для розрахунків дохідності і ризику є історичні значення минулих періодів. Також враховується взаємозв'язок між цінними паперами портфелю, який виражається коефіцієнтом лінійної кореляції [5].

Кожен актив може мати своє значення частки, або ваги у загальному портфелі. Згідно з теорією Г. Марковіца загальна очікувана дохідність портфелю визначається за наступною формулою:

$$E(R_p) = \sum_i E(R_i) w_i,$$

де $E(R_i)$ – очікувана дохідність активу, w_i – вага активу у портфелі.

Взаємозв'язок між активами виражається коефіцієнтом лінійної кореляції. Загальний ризик портфелю, який визначається середньоквадратичним відхиленням дохідності, розраховується з урахуванням взаємозв'язку між активами портфелю за допомогою наступної формули:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_i \sum_j w_i w_j \sigma_{ij}},$$

де σ_{ij} – коваріація дохідностей активів i та j , w_i та w_j – частки активів i та j .

Американський економіст Джеймс Тобін розглянув можливість додавати в портфель до ризикових активів також безризикові, тобто з нульовим стандартним відхиленням прибутковості. Якщо поєднати ризиковий та безризиковий актив, то загальну прибутковість можна визначити за формулою:

$$E(R) = w_p E(R_p) + (1 - w_p)R_\delta.$$

де w_p – частка ризикового активу у портфелі, $E(R_p)$ – очікувана прибутковість ризикового активу, R_δ – дохідність безризикового активу.

Ризик, як середньоквадратичне відхилення дохідності портфелю визначається:

$$\sigma = w_p \sigma_p$$

де σ_p – середньоквадратичне відхилення дохідності ризикового активу.

Розглянемо приклад портфелю, що складається з трьох цінних паперів: Apple Inc. (AAPL), American Express Company (AXP), Walmart Inc. (WMT). Використовуючи мову програмування Python і бібліотеку yfinance можна легко отримати доступ до історичних значень дохідностей акцій, і порахувати середнє значення і середньоквадратичне відхилення дохідності:

```
import yfinance as yf

num_trade_days = 252
stocks = ['AAPL', 'AXP', 'WMT']
stock_prices = yf.download(stocks, start='2014-01-01', end='2024-01-01')['Adj Close']
stock_returns = stock_prices.pct_change()

returns = stock_returns.mean() * num_trade_days
risk = stock_returns.std() * (num_trade_days**0.5)
```

Отримані наступні значення для дохідності і ризику:

	AAPL	AXP	WMT
Дохідність	0.281721	0.134565	0.112291
Ризик	0.283805	0.304581	0.207846

Якщо визначити дохідність і ризик в якості осей координат, то дані значення можна графічно відобразити точками.

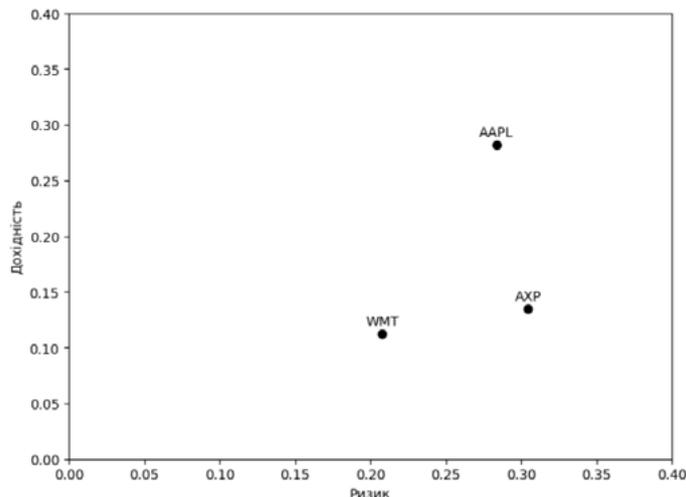


Рис. 1. Дохідність та ризик акцій

Матриця коваріацій, що враховує взаємний зв'язок зміни дохідностей акцій, отримується за допомогою наступного коду:

```
cov = stock_returns.cov() * num_trade_days
```

Розраховані значення матриці коваріацій:

	AAPL	AXP	WMT
AAPL	0.080545	0.037025	0.019130
AXP	0.037025	0.092770	0.014536
WMT	0.019130	0.014536	0.043200

Згенеруємо випадковим чином 1000 комбінацій для співвідношень акцій у портфелі і розрахуємо дохідність і ризик кожного з портфельів використовуючи значення дохідності і ризику окремих акцій і матриці коваріації акцій.

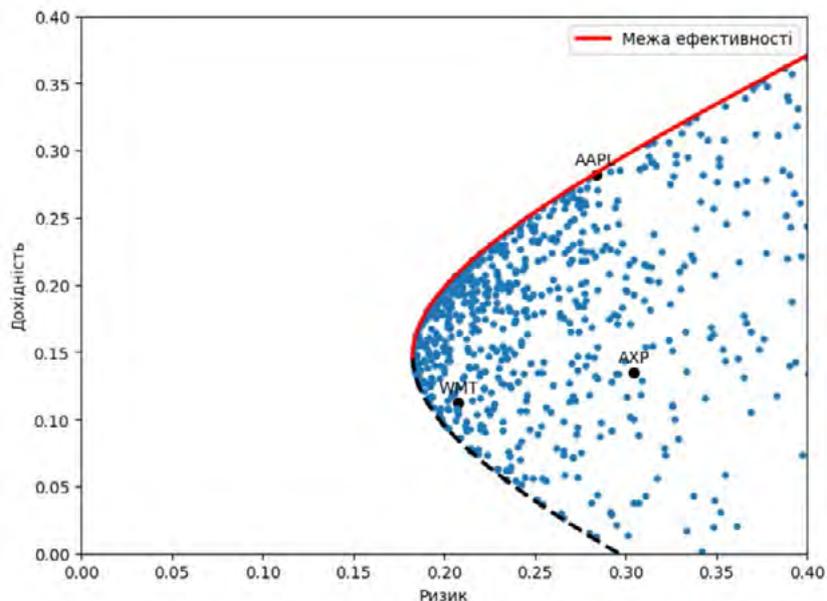


Рис. 2. Множина можливих портфельів і межа ефективності

Рациональний інвестор намагається максимізувати дохідність портфелю при визначеній ризикованості, або мінімізувати ризик при визначеній дохідності. Портфель вважається неефективним, якщо існує інший портфель, з кращою дохідністю при однаковому ризику, або з меншим ризиком при однаковій дохідності [4]. Межа

ефективності (efficient frontier) визначає множину ефективних портфельів з усієї множини портфельів, що складаються з даних акцій [9]. Даний підхід дозволяє обирати портфель з бажаним значенням дохідності і ризику, і значно розширює вибір порівняно з окремими акціями.

Множину портфельів що складаються з ризикового і безризикового активу графічно можна відобразити прямою лінією, що поєднує точки визначені ризиковим і безризиковим активом.

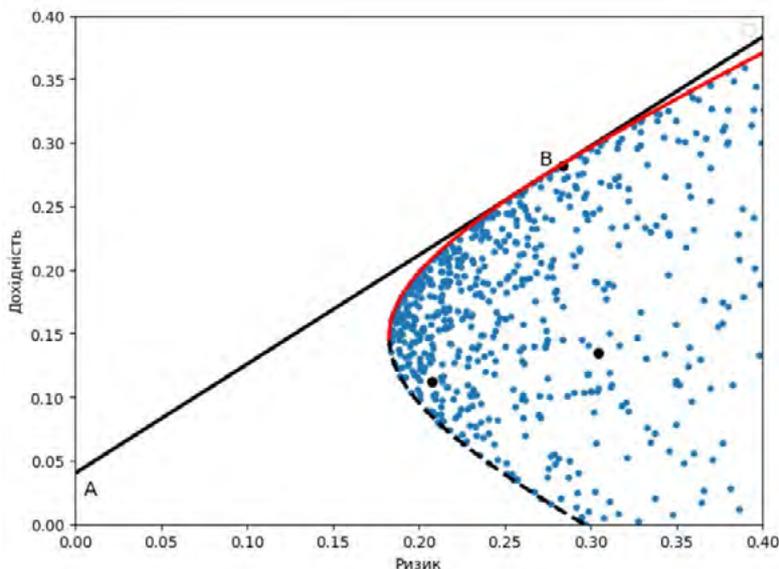


Рис. 3. Поєднання ризикових і безризикових активів

На рисунку 3 точка А відображає безризиковий актив з дохідністю 0.04, точка В – один з портфельів, з множини ефективних ризикових портфельів побудованих раніше. Прямі лінії АВ визначає всі варіанти портфельів, що складаються з різних часток безризикового і ризикового активів. Дану лінію прийнято називати capital allocation line. Найбільш ефективний варіант лінії можна побудувати, якщо вона буде дотична до межі ефективності ризикових портфельів. Це пояснюється тим, що в цьому випадку нахил лінії буде найбільшим і при цьому досягається найбільший приріст дохідності за кожен одиницю росту ризику [10]. Поєднання ризикового і безризикового активів дозволяє значно розширити множину ефективних портфельів.

Як ми бачимо, існує можливість вибирати інвестиційні портфелі з різними значеннями прибутковості і ризику і ріст прибутковості зазвичай пов'язаний з ростом ризику. Тож перед інвестором стоїть питання компромісного вибору між прибутковістю і ризиком.

Розглянемо вплив прибутковості та ризику на реалізацію фінансових цілей у сфері персональних фінансів. Створимо модель, для спрощення сприйняття і дослідження цього питання. Припустимо, що людина має певну суму накопичених коштів, які можна інвестувати для отримання прибутку. Також є необхідність знімати кожен рік визначену суму коштів для певних потреб. Сума, що знімається, повинна збільшуватися кожен рік згідно з ростом інфляції, яка характеризується математичним сподіванням і стандартним відхиленням. У даній задачі є декілька вхідних параметрів, які не можна точно визначити, а саме, точне значення прибутку інвестиційного портфелю і значення інфляції. Дані параметри можуть мати різне випадкове значення кожен рік. Зручним способом для моделювання певних процесів, що описуються випадковими процесами, є метод Монте-Карло. Даний метод дозволяє оцінити ймовірнісну характеристику реального явища. Застосуємо метод Монте-Карло для моделювання процесу отримання прибутку і витрат за кожен рік, і визначимо суму яка залишиться через 20 років. Визначимо початкову суму – 1 000 000, початкову суму витрат – 55 000, математичне очікування інфляції – 0.03 зі стандартним відхиленням 0.01. Виберемо три портфелі з дохідністю і ризиком згідно з графіком на рисунку 3:

	Портфель 1	Портфель 2	Портфель 3
Дохідність	0.04	0.08	0.21
Ризик	0	0.05	0.2

Застосуємо метод Монте-Карло з кількістю симуляцій 30000 для кожного з портфельів для визначення суми залишку через 20 років. Наступний код реалізує розрахунок даних симуляцій за допомогою методу Монте-Карло:


```

import numpy as np
num_samples = 30000
start_amount = 1_000_000
years = 20
start_spend_amount = 55000
inflation_mean = 0.03
inflation_deviation = 0.01

def calculate_total(returns_mean, returns_deviation):
    inflation = np.random.normal(inflation_mean, inflation_deviation,
                                years-1)
    spendings = start_spend_amount * (1 + np.cumsum(inflation))
    spendings = np.insert(spendings, 0, start_spend_amount)
    portfolio_performance = np.random.normal(returns_mean,
                                             returns_deviation, years-1)

    net_worth = start_amount - spendings[0]
    for i in range(0, years-1):
        if net_worth==0:
            return 0
        else:
            net_worth=max(0, net_worth * (1 + portfolio_performance[i]) - spendings[i])
    return net_worth

def monte_carlo_simulation(returns_mean, returns_deviation):
    return np.fromiter([calculate_total(returns_mean, returns_deviation)
                        for x in range(num_samples)], dtype=float)

res1 = monte_carlo_simulation(0.04, 0)
res2 = monte_carlo_simulation(0.082, 0.05)
res3 = monte_carlo_simulation(0.21, 0.2)
    
```

Порахуємо середнє значення накопиченої суми. Також порахуємо кількість результатів з нульовими сумами, що означає що ціль не була досягнута. Отримані наступні результати:

	Портфель 1	Портфель 2	Портфель 3
Середнє значення суми	0.11 млн	1.43 млн	24.54 млн
Кількість нульових сум	17	4	85

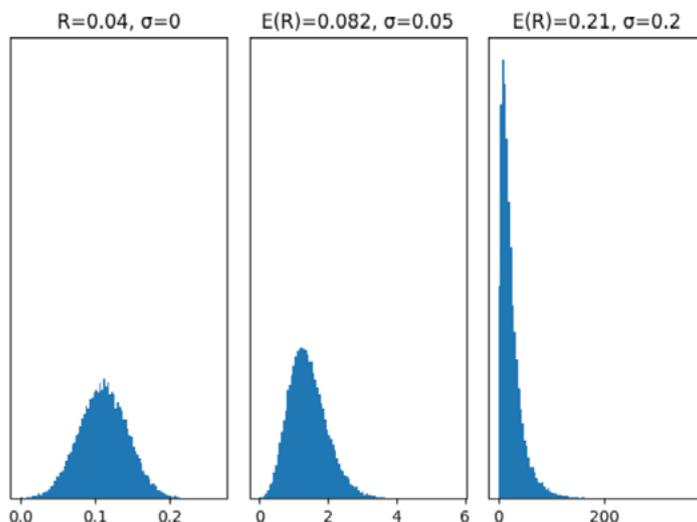


Рис. 4. Гістограми розподілу сум за результатами симуляцій

Згідно з результатами залишок коштів у випадку портфелю 1, що складається з безризикового активу, майже вичерпався за вказаний період часу. Портфель 2 показав кращий результат середньої суми залишку. Більша ризикованість портфелю 2 порівняно з портфелем 1 майже не позначилась на ризику отримати нульову суму. Отриманий результат середньої суми портфелю 3 значно переважає попередні результати. Але разом з тим збільшується ймовірність того, що коштів може не вистачити, це може бути критичним фактором для деяких фінансових цілей у персональних фінансах.

Висновки

В статті було розглянуто інвестування як важливий інструмент в сфері персональних фінансів. Висвітлені підходи для формування інвестиційного портфелю з ризиковими активами згідно з теорією Г. Марковіца, було розглянуто принцип диверсифікації активів, що дозволяє покращити загальну дохідність і ризик портфелю. Було розглянуто додавання безризикового активу в портфель, і як наявність безризикового активу розширює множину доступних ефективних портфелів. Даний підхід для аналізу дохідності і ризику можна використати не тільки для акцій, а і для більш широкого спектру інструментів персональних фінансів, таких, наприклад, як депозити або інвестиції в ОВДП.

Також в статті був застосований метод Монте-Карло для моделювання і оцінки впливу дохідності і ризику інвестиційного портфелю на результати досягнення фінансової цілі у сфері персональних фінансів. Збільшення дохідності позитивно впливає на накопичення, збільшуючи середнє значення можливого прибутку. В той же час збільшення дохідності зазвичай пов'язане з ростом ризику. Ризик в свою чергу може зменшити ймовірність досягнення фінансової цілі в цілому. Необхідно зважено підходити до вибору дохідності і ризику інвестицій. Цей вибір заснований на принципах компромісу і оптимальні значення можуть відрізнитись в залежності від поставленої мети.

Збалансований підхід до вибору дохідності та ризикованості, і моделювання впливу цих факторів на кінцевий результат дозволяє оптимізувати фінансові рішення для більш широкого спектру задач, пов'язаних із вибором інструментів у сфері персональних фінансів.

Список використаної літератури

1. Mangram, Myles E., A Simplified Perspective of the Markowitz Portfolio Theory (2013). *Global Journal of Business Research*, v. 7 (1) pp. 59-70, 2013, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2147880>.
2. Ветрова Г.В., Гужва В.О. 2018. Дослідження моделей Марковіца та Тобіна побудови портфеля цінних паперів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 1320, 44 (Груд 2018), 36–41. DOI:<https://doi.org/10.20998/2079-0023.2018.44.07>.
3. Chen, Zeyi & Li, Hao & Li, Zeqing & Yin, Leiming. (2022). Analysis of Ten Stock Portfolios Using Markowitz and Single Index Models. <http://dx.doi.org/10.2991/aebmr.k.220405.202>.
4. Жовновач Р. І., Вишнеvsька В. А., Шевчук М. О. Теорії диверсифікації в інвестиційному маркетингу підприємств. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2020. № 3. – URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1689> DOI: 10.32702/2307-2156-2020.3.11
5. Мажара Г. А., Крикун Є. О. Моделювання оптимального інвестиційного портфеля орієнтованого на мінімізацію ризику. *Modern Economics*. 2023. № 38(2023). С. 69-75. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V38\(2023\)-11](https://doi.org/10.31521/modecon.V38(2023)-11).
6. Kahar, R. H., Kaerudin, N. P., & Vimelia, W. (2023). Optimal Portfolio Risk Analysis Using the Monte Carlo Method. In *Operations Research: International Conference Series (Vol. 4, Issue 4, pp. 163–167)*. Indonesian Operations Research Association. <https://doi.org/10.47194/orics.v4i4.276>.
7. Ding, S. (2024). Portfolio Optimization Based on Markowitz Investment Theory and Monte Carlo Simulation. In A. Md Yassin (Ed.), *SHS Web of Conferences (Vol. 188, p. 01009)*. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202418801009>.
8. Chaweewanon, Apichat, and Rujira Chaysiri. (2022). Markowitz Mean-Variance Portfolio Optimization with Predictive Stock Selection Using Machine Learning. *International Journal of Financial Studies* 10, no. 3: 64. <https://doi.org/10.3390/ijfs10030064>.
9. Efficient Frontier: What It Is and How Investors Use It. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/e/efficientfrontier.asp>.
10. Capital Allocation Line (CAL) and Optimal Portfolio. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/career-map/sell-side/capital-markets/capital-allocation-line-cal-and-optimal-portfolio/>.

References

1. Mangram, Myles E., A Simplified Perspective of the Markowitz Portfolio Theory (2013). Global Journal of Business Research, v. 7 (1) pp. 59-70, 2013, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2147880>.
2. Vietrova, H.V., Huzhva, V.O. 2018. Doslidzhennia modelei Markovitsa ta Tobina pobudovy portfelia tsinnykh paperiv. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Serii: Systemnyi analiz, upravlinnia ta informatsiini tekhnolohii. 1320, 44 (Hrud 2018), 36–41. DOI:<https://doi.org/10.20998/2079-0023.2018.44.07>.
3. Chen, Zeyi & Li, Hao & Li, Zeqing & Yin, Leiming. (2022). Analysis of Ten Stock Portfolios Using Markowitz and Single Index Models. <http://dx.doi.org/10.2991/aebmr.k.220405.202>.
4. Zhovnovach, R., Vyshnevskaya, V. and Shevchuk, M. (2020), “Diversification theories in investment marketing of enterprise”, *Derzhavne upravlinnya: udoskonalennya ta rozvytok*, [Online], vol. 3, available at: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1689>. DOI: 10.32702/2307-2156-2020.3.11.
5. Mazhara G. A., Krykun Y. O. (2023). Modeling of the optimal investment portfolio focused on risk minimization. Modern Economics, 38(2023), 69-75. DOI: [https://doi.org/10.31521/modecon.V38\(2023\)-11](https://doi.org/10.31521/modecon.V38(2023)-11).
6. Kahar, R. H., Kaerudin, N. P., & Vimelia, W. (2023). Optimal Portfolio Risk Analysis Using the Monte Carlo Method. In Operations Research: International Conference Series (Vol. 4, Issue 4, pp. 163–167). Indonesian Operations Research Association. <https://doi.org/10.47194/orics.v4i4.276>.
7. Ding, S. (2024). Portfolio Optimization Based on Markowitz Investment Theory and Monte Carlo Simulation. In A. Md Yassin (Ed.), SHS Web of Conferences (Vol. 188, p. 01009). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202418801009>.
8. Chaweewanchon, Apichat, and Rujira Chaysiri. (2022). Markowitz Mean-Variance Portfolio Optimization with Predictive Stock Selection Using Machine Learning. International Journal of Financial Studies 10, no. 3: 64. <https://doi.org/10.3390/ijfs10030064>.
9. Efficient Frontier: What It Is and How Investors Use It. Retrieved from: <https://www.investopedia.com/terms/e/efficientfrontier.asp>.
10. Capital Allocation Line (CAL) and Optimal Portfolio. Retrieved from: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/career-map/sell-side/capital-markets/capital-allocation-line-cal-and-optimal-portfolio/>.

О. С. ОРЕХОВ

аспірант кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ORCID: 0000-0002-0001-0140

Т. А. ФАРІОНОВА

кандидат технічних наук,
доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ORCID: 0000-0003-3384-4712

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ JAVA-ЗАСТОСУНКІВ

У статті розглядається застосування математичних моделей для оцінювання розміру Java-застосунків. Мова програмування Java є однією з найбільш поширених у світі та широко використовується в розробці різноманітних програмних проєктів. Оцінювання розміру Java-застосунку є актуальною задачею, яка невід'ємно пов'язана з життєвим циклом розробки програмного забезпечення на ранніх стадіях проєктування. Метою роботи є підвищення достовірності оцінювання кількості рядків коду Java-застосунків на ранніх стадіях розробки програмних проєктів за метриками діаграми класів шляхом побудови нелінійних регресійних моделей. Об'єктом дослідження є процес оцінювання розміру Java-застосунків з відкритим кодом. Предметом дослідження є математичні моделі для оцінювання розміру Java-застосунків. Для досягнення поставленої мети було зібрано 2 вибірки метрик Java-застосунків із відкритим програмним кодом – навчальна, розміром 286, та тестова, розміром 285 точок даних, проведено аналіз та порівняння існуючих математичних моделей і рівнянь для оцінювання розміру Java-застосунків на тестовій вибірці. Доведено, що існуючі регресійні рівняння та моделі мають незадовільний рівень якості прогнозування розміру Java-застосунків або не можуть бути застосовані для наведеного набору даних через обмеження регресійних моделей. Із використанням навчальної вибірки, побудовано однофакторні нелінійні регресійні моделі для оцінювання розміру Java-застосунків на основі нормалізуючих перетворення десятичного логарифму, Бокса-Кокса та Джонсона сімейства SB за метрикою кількості класів (CLASS) та двофакторна нелінійна регресійна модель на основі нормалізуючого перетворення десятичного логарифму за метриками кількості класів (CLASS) та загальна кількість видимих методів (VMQ). Отримана двофакторна нелінійна регресійна модель на основі перетворення у вигляді десятичного логарифму має меншу середню величину відносної похибки, вище значення відсотка передбачення для рівня відносної похибки та вище значення коефіцієнту детермінації, що у порівнянні з існуючими моделями дозволяє підвищити достовірність оцінювання кількості рядків коду Java-застосунків.

Ключові слова: розмір програмного забезпечення, кількість рядків коду, Java-застосунок, нелінійна регресійна модель, нормалізуюче перетворення, негаусівські дані.

O. S. ORIEKHOV

Postgraduate Student at the Department of Automated Systems Software
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
ORCID: 0000-0002-0001-0140

T. A. FARIONOVA

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Automated Systems Software Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
ORCID: 0000-0003-3384-4712

MATHEMATICAL MODELS FOR THE SIZE ESTIMATING OF JAVA APPLICATIONS

This paper introduces the usage of mathematical models for Java applications size estimation. The Java programming language is one of the most widely used in the world and is used in the development of various software projects. Size estimation of Java-applications is one of the key planning tasks at the early stages of software project planning. The aim of the study is to increase the accuracy of Java application code lines estimation at the early stages of software project development using class diagram metrics by building nonlinear regression models. The object of study is the Java applications size estimation process. The subject of the study is mathematical models for Java applications size estimation. To achieve this goal, we collected 2 samples of code metrics from open source Java applications – a training sample of 286 data points and a test sample of 285 data points. We analyzed and compared existing mathematical models

and equations of Java application size estimation using the test sample. Proven that the existing regression equations and models have an unsatisfactory level of accuracy for Java applications size estimation or cannot be applied to the given data set due to the limitations of regression models. For Java applications size estimation, using training sample we built one-factor nonlinear regression models based on the normalizing transformations of the decimal logarithm, Box-Cox and Johnson of the SB family by the number of classes (CLASS) metric and a two-factor nonlinear regression model based on the normalizing transformation of the decimal logarithm by the number of classes (CLASS) and the visible methods quantity (VMQ) metrics. The obtained two-factor nonlinear regression model based on the decimal logarithm normalizing transformation has a smaller mean magnitude of relative error, a higher value of the percentage of prediction of the relative error level and a higher value of the determination coefficient, which, in comparison with existing models, allows to increase the reliability and accuracy of source lines of code estimation of Java applications.

Key words: software size, lines of code, Java-application, nonlinear regression model, normalizing transformation, non-Gaussian data.

Постановка проблеми

Мова програмування Java є однією з найбільш поширених у світі [1] та широко застосовується в розробці програмних проєктів за різними напрямками, починаючи від веб-додатків та прикладного програмного забезпечення (ПЗ), до автомобільних та інформаційних систем. Оцінювання розміру програмного забезпечення тісно пов'язане з моделями оцінювання вартості програмного продукту та трудовитрат на його розробку. Інформація про розмір, а саме кількість рядків коду Java-застосунків, на ранніх етапах розробки дає змогу отримати прогноз трудомісткості розробки ПЗ за допомогою параметричних моделей COCOMO, COCOMO II, SLIM, SEER-SEM, тощо, які використовують параметр розміру у вигляді рядків коду для оцінки трудомісткості розробки програмних проєктів [2]. Тому саме оцінювання розміру Java-застосунків є актуальною задачею, яка невід'ємно пов'язан з життєвим циклом програмного проєкту. В якості міри розміру програмних застосунків в дослідження використовується метрика кількості рядків коду, оскільки вона дозволяє врахувати особливості мови програмування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для оцінювання розміру Java-застосунків з відкритим кодом побудовано як лінійні [3;4] так і нелінійні [5;6;7] регресійні рівняння та моделі в залежності від різної кількості метрик зібраних з концептуальної моделі даних у вигляді UML діаграм, зокрема діаграм класів. Крім того, розмір навчальних вибірок напряму впливає на достовірність прогнозування, оскільки вибірки можуть мати недостатній рівень репрезентативності генеральної сукупності [8; 9].

Так, в роботі [3] запропоновано трьохфакторне лінійне регресійне рівняння оцінювання кількості рядків коду Java-застосунків на основі методів множинного лінійного регресійного аналізу із використанням метрик загальної кількості класів (CLASS), загальної кількості зв'язків між класами (CBO) та загальної кількості атрибутів класів (TFQ) в вихідному коді. У роботі [4] удосконалені трьохфакторні лінійні регресійні рівняння оцінювання кількості рядків коду для великих промислових інформаційних Java-систем на основі 16-ти точок даних, Java-застосунків з відкритим кодом на основі 30 точок даних та узагальнене лінійне регресійне рівняння на основі сукупного набору з 46 точок даних. В якості метрик використано значення загальної кількості класів (CLASS), загальної кількості зв'язків між класами (CBO) та середнє значення кількості атрибутів на клас (aTFQ).

Робота [5] присвячена удосконаленню оцінювання кількості рядків коду для промислових інформаційних Java-систем та запропонована трьохфакторна нелінійна регресійна модель із використанням багатовимірного перетворення Джонсона для сімейства S_B , за метриками програмного коду – кількості класів (CLASS) X_1 , загальної кількості зв'язків між класами (CBO) X_2 та значення середньої кількості атрибутів на клас (aTFQ) X_3 із концептуальної моделі застосунку. Модель побудована із використанням 32-х точок даних.

В роботі [6] побудовано нелінійну регресійну модель для оцінювання розміру веб-застосунків, які створені мовою програмування Java. Запропонована математична модель побудована із застосуванням нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B і використовує метрику кількості класів (CLASS), як незалежний фактор X . Модель побудована із використанням 30 точок даних.

В роботі [7] авторами розроблена чотирифакторна нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру Java-застосунків з відкритим кодом. Модель була побудована на основі багатовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства S_B . Для оцінювання кількості рядків коду використані метрики кількості класів (CLASS) X_1 , кількості статичних методів (SMQ) X_2 , значення згуртованості методів класу (LCOM – lack of cohesion of methods) X_3 та кількість унікальних викликів методу в класі (RFC) X_4 . Ця модель побудована із використанням 38-ми точок даних.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є підвищення достовірності оцінювання кількості рядків коду Java-застосунків на ранніх стадіях розробки програмних проєктів за метриками діаграми класів шляхом побудови нелінійних регресійних моделей. Об'єктом дослідження є процес оцінювання кількості рядків коду Java-застосунків з відкритим кодом. Предметом дослідження є математичні моделі для оцінювання розміру Java-застосунків

Викладення основного матеріалу дослідження

Авторами були зібрані дані за метриками програмного коду 571 Java-застосунків, розташованих на платформі GitHub (<https://github.com>). За допомогою інструменту СК (<https://github.com/mauricioaniche/ck>) отримані наступні метрики: кількість рядків коду (KLOC), загальна кількість класів (CLASS), загальна кількість унікальних викликів методу в класі (RFC), загальна кількість значень згуртованості методів класу (LCOM), загальна кількість статичних методів (SMQ), загальна кількість видимих методів (VMQ), загальна кількість атрибутів класів (TFQ), зв'язність між класами (CBO). Ці метрики можна отримати на ранній стадії проєктування з концептуальної моделі застосунку. Отриманий набір даних був розділений випадковим чином на навчальну і тестову вибірки з розмірами в 286 та 285 рядків даних відповідно. Розподіл метрик відносно KLOC наведені на рис. 1.

Для оцінки параметру кількості рядків коду існують різні підходи із застосуванням як лінійних так і нелінійних регресійних моделей. Зазвичай дані за метриками програмного коду не розподілені за нормальним законом, що робить обмежену можливість використання лінійних регресійних моделей для оцінювання розміру рядків коду. Теоретичною умовою застосування лінійних регресійних моделей є нормальний розподіл залишків регресії ε або нормальний розподіл багатовимірних даних.

Для оцінки якості прогнозування регресійних моделей та рівнянь використовуються такі критерії якості, як коефіцієнт детермінації R^2 , значення середньої величини відносної похибки $MMRE$ та значення відсотка передбачення для рівня відносної похибки 0,25 – $PRED(0,25)$ [8]. Критерій $MMRE$ визначається як

$$MMRE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MRE_i, \tag{1}$$

де MRE_i – значення величини відносної похибки для i -го рядку даних випадкової величини

$$MRE_i = \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right|. \tag{2}$$

Значення відсотка передбачення для рівня відносної похибки 0,25 $PRED$,

$$PRED(0,25) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \begin{cases} 1 & \text{if } MRE_i \leq 0,25 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}. \tag{3}$$

Прийнятними вважаються значення $MMRE \leq 0,25$ для оцінки точності моделі та значення $PRED(0,25) \geq 0,75$ для прийнятної точності регресійних моделей. Значення R^2 вважається прийнятним, якщо воно більше за 0,75 [8].

Регресійні моделі і рівняння [3; 4; 5; 6; 7] були перевірені за множинним коефіцієнтом детермінації R^2 , середньою величиною відносної помилки $MMRE$ (1) і відсотком прогнозованих результатів, для яких величини відносної помилки MRE (2) менші за 0,25, $PRED(0,25)$ (3). Результат перевірки показав їх незадовільну якість як для навчальної так і для тестової вибірок.

Таким чином виникає необхідність вдосконалення існуючих моделей для оцінювання кількості рядків коду (KLOC) Java-застосунків. Авторами за даними початкової вибірки було побудовано однофакторні нелінійні регресійні моделі на основі параметру кількості класів (CLASS) X ($KLOC = f(CLASS)$) із використанням перетворення десятичного логарифму, Бокса-Кокса і Джонсона сімейства SB, та двофакторну нелінійну регресійну модель для оцінювання кількості рядків коду за параметрами кількості класів (CLASS) X_1 та загальної кількості видимих методів класів (VMQ) X_2 ($KLOC = f(CLASS, VMQ)$), з метою виявлення найкращої моделі. Запропоновані варіанти моделей ґрунтуються на параметрі кількості класів (CLASS), оскільки класи є фундаментальними одиницями побудови будь-яких програм із використанням об'єктно-орієнтованих мов програмування.

Перевірка нульової гіпотези про можливість побудови однофакторної $y = f(X) + \varepsilon$ та двофакторної $y = f(X_1, X_2) + \varepsilon$ лінійних регресійних моделей була виконана за допомогою критерія Мардія [10] для рівня значущості $\alpha = 0,005$, який заснований на вимірюванні багатовимірного асиметрії β_1 і ексцесу β_2 . Відповідно до цього тесту:

– розподіл двовимірних даних X (CLASS) та Y (KLOC) є негаусівським, оскільки тестова статистика для багатовимірної асиметрії ($N \cdot \beta_1 / 6 = 1809,77$) цих даних перевищує значення 14,86 квантилю розподілу χ^2 , для 4 ступенів свободи, та значення багатовимірного ексцесу $\beta_2 = 75,09$, що є більшим за значення квантиля розподілу Гауса, яке становить 9,22, де $m = 8$ та $\sigma = 0,47$;

– розподіл тривимірних даних X_1 (CLASS), X_2 (VMQ) та Y (KLOC) є негаусівським, оскільки тестова статистика для багатовимірної асиметрії $N \cdot \beta_1 / 6 = 12998,09$ цих даних перевищує значення 25,19 квантилю розподілу χ^2 , для 10 ступенів свободи, та значення багатовимірного ексцесу $\beta_2 = 314,65$, що є більшим за значення квантиля розподілу Гауса, яке становить 16,67, де $m = 15$ та $\sigma = 0,65$.

Для побудови нелінійних регресійних моделей було обрано методи, застосовані у роботах [11; 12], які ґрунтуються на застосуванні взаємозворотних нормалізуючих перетворень з ітеративним видаленням викидів. Застосування нормалізуючих перетворень дозволяє перейти до побудови лінійних регресійних моделей на основі нормалізованих даних із подальшим їх перетворенням в нелінійні регресійні моделі.

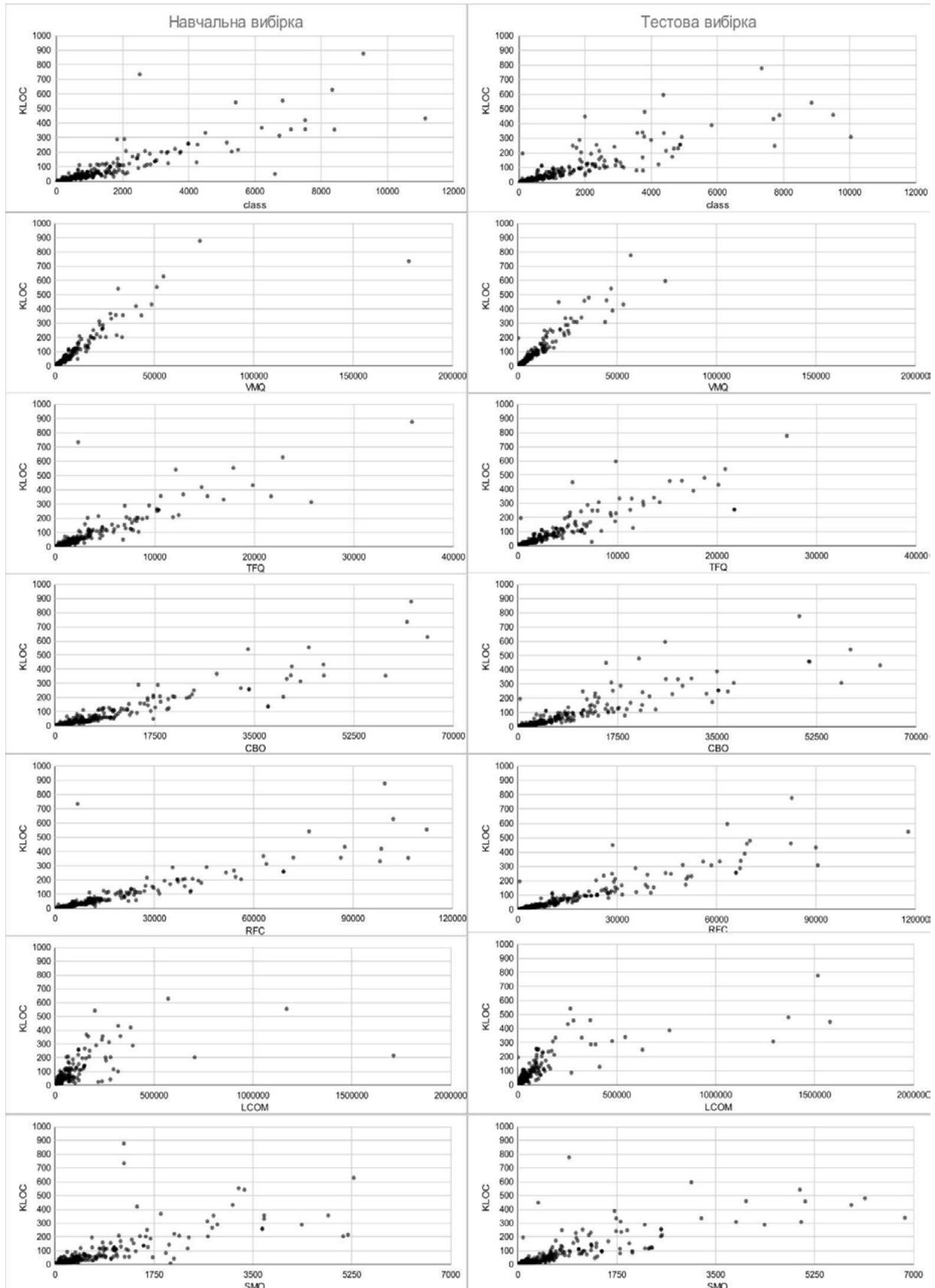


Рис. 1. Розподіл даних навчальної та тестової вибірок

Нормалізуюче перетворення негаусівського випадкового вектору $P = \{Y, X_1, X_2, \dots, X_k\}^T$ у гаусівський випадковий вектор $T = \{Z_Y, Z_1, Z_2, \dots, Z_k\}^T$ задається як

$$T = \psi(P), \tag{4}$$

де k – кількість факторів, тоді обернене перетворення до (4) задається як

$$P = \psi^{-1}(T), \tag{5}$$

де ψ – вектор взаємозворотніх функцій нормалізуючого перетворення, $\psi = \{\psi_Y, \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_k\}^T$.

Після нормалізації ненормальних даних вибірки за перетворенням (4), рівняння лінійної регресії буде мати наступний вигляд

$$Z_y = \hat{Z}_y + \varepsilon = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_1 + \hat{b}_2 Z_2 + \dots + \hat{b}_k Z_k + \varepsilon, \tag{6}$$

де ε – випадкова величина (ВВ) розподілена за нормальним законом, $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0, \sigma_\varepsilon^2)$; $k=1$ для однофакторної регресійної моделі та $k = 2$ для двофакторної регресійної моделі; $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_k$ – оцінки параметрів лінійного регресійного рівняння (6), які знаходяться за методом найменших квадратів. Після побудови моделі лінійної регресії (6) для нормалізованих даних, застосувавши зворотнє перетворення (5), нелінійна регресійна модель буде мати наступний вигляд

$$Y = \psi_Y^{-1}(\hat{Z}_y + \varepsilon) = \psi_Y^{-1}(\hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_1 + \hat{b}_2 Z_2 + \dots + \hat{b}_k Z_k + \varepsilon) \tag{7}$$

Для нормалізації даних були обрані наступні нормалізуючі перетворення:

– у вигляді десяткового логарифму

$$Z = \log_{10}(X), \tag{8}$$

– перетворення Бокса-Кокса

$$Z = \begin{cases} (x^\lambda - 1)/\lambda, & \text{if } \lambda \neq 0 \\ \ln(x), & \text{if } \lambda = 0 \end{cases} \tag{9}$$

де λ – параметри перетворення Бокса-Кокса.

– перетворення Джонсона сімейства SB

$$Z = \gamma + \eta \ln \left(\frac{x - \varphi}{\varphi + \lambda - x} \right), \tag{10}$$

де γ, η, φ та λ – параметри перетворення Джонсона, $\varphi < X < \varphi + \lambda$, $\eta > 0$, $\lambda > 0$.

Для оцінки параметрів перетворень Бокса-Кокса і Джонсона використовувався метод максимальної правдоподібності.

При побудові регресійної моделі важливо щоб дані були однорідними та не містили аномальних значень – викидів. Для визначення викидів застосовані методи, запропоновані у роботі [12]. З навчальної вибірки були вилучені дані, для яких квадрат відстані Махаланобіса перевищував квантиль розподілу $\chi^2_{\text{крит}}$ для рівня значимості $\alpha = 0,005$.

Також, відповідно до [12], були виключені дані, які знаходяться поза межами інтервалів передбачення. Границі інтервалів передбачення нелінійної регресії визначаються за наступною формулою:

$$\hat{Y}_{PI} = \psi_Y^{-1} \left(\hat{Z}_Y \pm t_{\alpha/2, v} S_{Z_Y} \left\{ 1 + \frac{1}{N} + (Z_X^+)^T S_{XX}^{-1} (Z_X^+) \right\}^{1/2} \right), \tag{13}$$

де ψ_Y^{-1} – функція оберненого перетворення оцінки лінійної регресії, $t_{\alpha/2, v}$ – квантиль t -розподілу Стьюдента з $v = N - k - 1$ ступенями свободи та $\alpha/2$ – рівнем значущості; $S_{Z_Y}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{Y_i} - \hat{Z}_{Y_i})^2$; Z_X^+ – вектор центральних факторів(регресорів), який містить значення $\{Z_{1_i} - \underline{Z}_1, Z_{2_i} - \underline{Z}_2, \dots, Z_{k_i} - \underline{Z}_k\}$; S_{XX} $k \times k$ матриця

$$S_{XX} = \begin{bmatrix} S_{X_q} & S_{X_r} \end{bmatrix}, \tag{14}$$

де $S_{X_q} S_{X_r} = \sum_{i=1}^n (X_{q_i} - \underline{X}_q)(X_{r_i} - \underline{X}_r)$, $q, r = 1, 2, \dots, k$.

Згідно з [11; 12] процес виключення викидів є ітеративним.

Для навчальної вибірки застосовано нормалізуюче перетворення десяткового логарифму (8). Отримані нормалізовані дані було очищено від 12 точок викидів та перевірено на відповідність нормальному закону розподілу багатовимірних даних за критерієм Мардія [10]. Далі, за (6) побудовано лінійну регресійну модель. Оцінки параметрів моделі, які визначені за методом найменших квадратів, мають значення $\hat{b}_0 = -1,403401$, $\hat{b}_1 = 1,031958$.

Застосувавши обернену трансформацію (7) до перетворення десяткового логарифму (8), однофакторна нелінійна регресійна модель має вигляд

$$\hat{Y} = 10^{\epsilon-1.403401} X_1^{1.031958} \tag{15}$$

Наступним кроком, будемо однофакторну нелінійну регресійну модель із застосуванням перетворення Бокса-Кокса. За методом максимальної правдоподібності оцінки параметрів перетворення (9) мають значення $\hat{\lambda}_Y = 0,002738$, $\hat{\lambda}_X = 0,030707$ для останньої ітерації. Нормалізовані дані було очищено від 12 точок викидів та перевірено на відповідність нормальному закону розподілу. Далі, за (6) було побудовано лінійну регресійну модель, яка має такі оцінки параметрів $\hat{b}_0 = -2,697047$, $\hat{b}_1 = 0,857236$.

Для однофакторної нелінійної регресійної моделі, яка побудована із застосуванням нормалізуючих перетворень Джонсона сімейства SB (10) маємо наступні значення оцінок параметрів перетворення $\hat{Y}_Y = 4311,992036$, $\hat{Y}_X = 3555,710081$, $\hat{\eta}_Y = 30479,194612$, $\hat{\eta}_X = 29712,602140$, $\hat{\varphi}_Y = -0,345327$, $\hat{\varphi}_X = -3,150988$, $\hat{\lambda}_Y = 2,471319$, $\hat{\lambda}_X = 22965,385684$ для останньої ітерації. Отримані нормалізовані дані було очищено від 14 точок викидів та перевірено на відповідність нормальному закону розподілу. Далі, за (6) було побудовано лінійну регресійну модель з відповідними оцінками параметрів $\hat{b}_0 = -799519,0395$, $\hat{b}_1 = 0,999920$.

Для побудови двофакторної нелінійної регресійної моделі із застосуванням перетворення десяткового логарифму, обрані метрики X_1 (CLASS) та X_2 (VMQ) були перевірені на наявність мультиколінеарності за коефіцієнтом впливу дисперсії VIFs [13]. Значення коефіцієнтів VIFs не перевищило порогове значення 10, що підтверджує можливість застосування цих факторів для побудови регресійної моделі. Нормалізовані дані було очищено від 13 точок викидів та перевірено на відповідність нормальному закону розподілу. Далі, за (6) було побудовано лінійну регресійну модель. Оцінку параметрів лінійної моделі було визначено за методом найменших квадратів $\hat{b}_0 = -1,925069$, $\hat{b}_1 = 0,074531$, $\hat{b}_2 = 0,920560$. Застосувавши обернену трансформацію (7) до перетворення десяткового логарифму (8), двофакторна нелінійна регресійна модель має вигляд

$$\hat{Y} = 10^{\epsilon-1.925069} X_1^{0.074531} X_2^{0.920560} \tag{16}$$

Побудовані нелінійні регресійні моделі були перевірені на навчальній і тестовій вибірках за критеріями якості R^2 , MMRE та PRED(0,25), значення яких наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Критерії якості нелінійних регресійних моделей

Математична модель	Навчальна вибірка			Тестова вибірка		
	R^2	MMRE	PRED (0,25)	R^2	MMRE	PRED (0,25)
Однофакторна нелінійна регресійна модель на базі перетворення десяткового логарифму	0,7266	0,3522	0,4720	0,7170	0,3350	0,4632
Однофакторна нелінійна регресійна модель на базі перетворення Бокса-Кокса	0,7291	0,3514	0,4790	0,7159	0,3354	0,4780
Однофакторна нелінійна регресійна модель на базі перетворення Джонсона сімейства SB	0,6825	0,3593	0,4790	0,6616	0,3417	0,4702
Двофакторна нелінійна регресійна модель на базі перетворення десяткового логарифму	0,8002	0,2332	0,6853	0,8981	0,1964	0,7158

Критерії якості оцінки побудованих нелінійних регресійних моделей для оцінювання кількості рядків коду Java-застосунків для навчальної та тестової вибірок суттєво не відрізняються, а отже це свідчить що вибірки мають високий рівень репрезентативності генеральної сукупності. Серед побудованих однофакторних моделей, однофакторна нелінійна регресійна модель із застосування перетворення десяткового логарифму найкраще описує тестову вибірку за R^2 та має менше значення MMRE для тестової вибірки. Але краще значення PRED(0,25) має однофакторна нелінійна регресійна модель із застосування перетворення Бокса-Кокса. Слід зазначити що значення R^2 , MMRE та PRED(0,25) суттєво не відрізняються для однофакторних нелінійних регресійних моделей між собою для обох вибірок. Побудована двофакторна нелінійна регресійна модель із застосування перетворення десяткового логарифма має найкращі показники серед побудованих нелінійних регресійних моделей. Це пояснюється тим, що введення додаткової незалежного фактору регресії підвищує достовірність оцінювання залежної змінної. Модель (16) має високі значення критеріїв якості R^2 та MMRE та задовільне значення критерію якості PRED(0,25), додаткова перевірка за критерієм PRED із збільшенням порогового значення до 0,30 показала що за таких умов модель досягає прийнятної рівня точності PRED(0,30) = 0,8, що може свідчити про задовільний рівень точності отриманої моделі.

Висновки

1. Вирішено задачу удосконалення оцінювання кількості рядків коду Java-застосунків на ранніх стадіях розробки проєкту за метриками діаграми класів шляхом побудови двофакторної нелінійної регресійної моделі.
2. Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що побудована на основі перетворення у вигляді десяткового логарифму двофакторна нелінійна регресійна модель має меншу середню величину відносної похибки, вище значення відсотка передбачення для рівня відносної похибки та вище значення коефіцієнту детермінації, що у порівнянні з існуючими моделями дозволяє підвищити достовірність оцінювання кількості рядків коду Java-застосунків.
3. Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці програмного забезпечення для автоматизації оцінювання розміру Java-застосунків, яке реалізує двофакторну нелінійну регресійну модель на базі нормалізуючого перетворення десяткового логарифму.
4. Перспективи подальших досліджень пов'язані із вдосконаленням багатофакторної нелінійної регресійної моделі за рахунок застосування багатовимірних нормалізуючих перетворень, збільшення набору даних навчальної вибірки, розширенні кількості незалежних факторів регресії для досягнення більшої достовірності оцінювання та побудови інтервалів прогнозування регресійної моделі.

Список використаної літератури

1. TIOBE Index. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата звернення 08.04.2024).
2. Munialo S.W. A Review of Agile Software Effort Estimation Methods. *International Journal of Computer Applications Technology and Research. Association of Technology and Science*. 2016. Vol. 5. pp. 612–618. DOI:10.7753/IJCATR0509.1009.
3. Tan H.B.K., Zhao Y., Zhang H. Estimating LOC for information systems from their conceptual data models. *Proceedings – International Conference on Software Engineering*. 2006. pp. 321–330. DOI:10.1145/1134285.1134331.
4. Tan H.B.K., Zhao Y., Zhang H. Conceptual Data Model-Based Software Size Estimation for Information Systems, *ACM Transactions of Software Engineering and Methodology*. 2009. Vol. 19. DOI:10.1145/1571629.1571630.
5. Приходько Н.В., Приходько С.Б. Нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру програмного забезпечення промислових інформаційних систем на Java. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 85. С. 81–88. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2018_85_14
6. Макарова Л.М., Приходько Н.В., Кудін О.О. Побудова нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру веб-додатків, реалізованих мовою Java. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2019. №2 (69). С. 145–153. URL: <http://eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/4443>
7. Приходько С.Б., Приходько Н.В., Смикодуб Т.Г. Чотирифакторна нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру JAVA-застосунків з відкритим кодом. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки* Том 31 (70) №2 Частина 1. 2020. С. 157–162. DOI:10.32838/2663-5941/2020.2-1/25
8. Port D., Korte M. Comparative studies of the model evaluation criteria MMRE and PRED in software cost estimation research. *Proceedings of the 2nd ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, New York, 2008. pp. 51–60. DOI:10.1145/1414004.1414015
9. Jia J., Qiu W. Research on an Ensemble Classification Algorithm Based on Differential Privacy. *IEEE Access*. 2020. P. 99. DOI:10.1109/ACCESS.2020.2995058
10. Mardia K. V., Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications, *Biometrika*. 1970. Vol. 57. pp. 519–530. DOI:10.1093/biomet/57.3.519
11. Prykhodko S., Prykhodko N., Mathematical Modeling of Non-Gaussian Dependent Random Variables by Nonlinear Regression Models Based on the Multivariate Normalizing Transformations, *Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020). Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. Vol. 1265. PP. 166–174. DOI:10.1007/978-3-030-58124-4_16
12. Prykhodko S., Prykhodko N., Makarova L., Pukhalevych A. Outlier Detection in Non-Linear Regression Analysis Based on the Normalizing Transformations, *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. Lviv-Slavske, Ukraine, 2020. pp. 407–410, DOI:10.1109/TCSET49122.2020.235464.
13. Olkin I., Sampson A.R. Multivariate Analysis: Overview. *International encyclopedia of social & behavioral sciences (eds.) 1st edn.*, Elsevier, Pergamon, 2001. pp. 10240–10247.

References

1. TIOBE (2024). TIOBE Index. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (Accessed 08.04.2024)
2. Munialo, S.W., & Muketha, G.M. (2016). A review of Agile Software effort estimation methods. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, 5 (9), 612–618. <https://doi.org/10.7753/ijcatr0509.1009>
3. Tan, H.B.K., Zhao, Y. & Zhang H. (2006). Estimating LOC for information systems from their conceptual data models, *Proceedings – International Conference on Software Engineering*, 321-330. doi:10.1145/1134285.1134331.
4. Tan, H.B.K., Zhao Y. & Zhang, H. (2009). Conceptual Data Model-Based Software Size Estimation for Information Systems. *ACM Transactions of Software Engineering and Methodology*, Vol. 9. doi:10.1145/1571629.1571630.
5. Prykhodko, N.V. & Prykhodko S.B. (2018). A nonlinear regression model for estimation of the size of Java enterprise information systems software. *Modeling and Information Technologies*, Vol. 85, 81–88. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2018_85_14 [in Ukrainian]
6. Makarova L.M., Prykhodko N.V. & Kudin O.O. (2019). Constructing the non-linear regression model for size estimation of WEB-applications implemented in JAVA. *Bulletin of Kherson National Technical University*, Vol. 69, P. 145–153. URL: <http://eir.nuos.edu.ua/handle/123456789/4443> [in Ukrainian]
7. Prykhodko, S.B., Prykhodko, N.V. & T. G. Smykodub. (2020). Four-factor non-linear regression model to estimate the size of open source Java-based applications, *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, Vol. 70, 157–162. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-1/25> [in Ukrainian]
8. Port, D. & Korte, M. (2008). Comparative studies of the model evaluation criterions MMRE and PRED in software cost estimation research. *Proceedings of the 2nd ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, New York, 51–60. doi:10.1145/1414004.1414015
9. Jia, J. & Qiu W. (2020). Research on an Ensemble Classification Algorithm Based on Differential Privacy. *IEEE Access*. 99. doi:10.1109/ACCESS.2020.2995058
10. Mardia, K.V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications, *Biometrika*, Vol. 57, 519–530. doi:10.1093/biomet/57.3.519.
11. Prykhodko, S. & Prykhodko, N. (2021). Mathematical Modeling of Non-Gaussian Dependent Random Variables by Nonlinear Regression Models Based on the Multivariate Normalizing Transformations, *Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020)*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 1265, 166–174. doi:10.1007/978-3-030-58124-4_16
12. Prykhodko, S. & Prykhodko, N., Makarova, L. & Pukhalevych, A. (2020). Outlier Detection in Non-Linear Regression Analysis Based on the Normalizing Transformations, *IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 407–410. doi:10.1109/TCSET49122.2020.235464.
13. Olkin, I. & Sampson, A.R. (2001). Multivariate Analysis: Overview, *International encyclopedia of social & behavioral sciences (eds.) 1st edn*, Elsevier, Pergamon, 10240–10247.

Б. В. ПАШКОВСЬКИЙ

кандидат технічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ORCID: 0000-0003-1082-6837

М. І. СЛАБІНОГА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ORCID: 0000-0002-7296-0356

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ДІЛЯНОК ТА МІСЦЬ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД НА ТЕРИТОРІЇ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ

В статті розглянуто процес удосконалення автоматизованого процесу визначення ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод, що знаходяться на території Івано-Франківської міської територіальної громади (МТГ). Відповідно до звіту наданого Департаментом Патрульної Поліції України у Івано-Франківській області проаналізовано 1626 дорожньо-транспортних пригод із потерпілими, що мали місце на території Івано-Франківської міської територіальної громади з 2017 по 2023 роки. Вихідні дані були перетворені в зручний для подальшої обробки вигляд з використанням мови програмування С# та занесено у реляційну базу даних.

Визначено координати кожної дорожньо-транспортної пригоди засобами сервісу Geocoding API від Google. Задля можливості ручної корекції координат проведено імплементацію можливості уточнення місця ДТП шляхом пересування маркера по карті. Реалізовано REST API з використанням ASP .NET та Entity Framework Core для можливості використання даних будь-якими веб та мобільними застосунками.

З метою виявлення місць концентрації дорожньо-транспортних пригод проведена кластеризація дорожньо-транспортних пригод на карті. Розроблено веб-застосунок та проведено візуалізацію пригод, шляхом нанесення їх на карту з використанням сервісу Google Maps Javascript API.

Реалізовано можливість фільтрації ДТП за роком вчинення, станом покриття, освітленістю, погодних умов, наявністю штучних споруд, залученістю пішоходів чи велосипедистів, наявністю загиблих чи важко травмованих, тощо.

Проведено статистичний аналіз кількості ДТП з загиблими та потерпілими за кожен рік окремо на території міста та ОТГ, проведено аналіз загиблих/важкотравмованих/легкотравмованих малозахищених учасників дорожнього руху (пішоходів та велосипедистів)

Виявлено 18 місць концентрації ДТП на території міста Івано-Франківська за 2021–2023 роки, для кожної з них проведено аналіз кількості ДТП за останній календарний рік та за останні три роки та переважаючий тип ДТП (лобове чи бокове зіткнення, наїзд на пішохода, велосипедиста, тощо). На засіданні з комісії безпеки дорожнього руху Івано-Франківської міської територіальної громади розглянуто наданий звіт та рекомендовано розробити заходи щодо удосконалення умов та організації дорожнього руху для забезпечення його безпеки і заходи щодо ліквідації причин виникнення ДТП.

Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, місце концентрації, геопросторові дані, безпека руху, Google Maps, REST API, C#, ASP .NET, EF Core.

B. V. PASHKOVSKIY

Candidate of Technical Science,
Associate Professor at the Department of Computer Systems and Networks
Ivano-Frankivsk Technical University of Oil and Gas
ORCID: 0000-0003-1082-6837

M. I. SLABINOHA

Candidate of Technical Science, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Computer Systems and Networks
Ivano-Frankivsk Technical University of Oil and Gas
ORCID: 0000-0002-7296-0356

WIMPROVEMENT OF THE AUTOMATED PROCESS OF DETERMINING AREAS AND PLACES OF CONCENTRATION OF ROAD AND TRANSPORT ACCIDENTS IN THE URBAN TERRITORIAL COMMUNITY OF IVANO-FRANKIV

The article examines the process of improving the automated process of determining areas and places of concentration of traffic accidents located on the territory of the Ivano-Frankivsk Urban Territorial Community (MTG). According to the report provided by the Department of the Patrol Police of Ukraine in the Ivano-Frankivsk region, 1,626 traffic accidents with victims that took place on the territory of the Ivano-Frankivsk urban territorial community from 2017 to 2023 were analyzed. The raw data were transformed into a form convenient for further processing using the C# programming language and entered a relational database.

The coordinates of each traffic accident were determined using the Geocoding API service from Google. For the possibility of manual correction of the coordinates, the possibility of clarifying the place of the accident by moving the marker on the map was implemented. Implemented a REST API using ASP .NET and Entity Framework Core for the ability of using data by any web and mobile applications.

In order to identify the places of concentration of traffic accidents, clustering of traffic accidents on the map was carried out. A web application was developed, and accidents were visualized by mapping them using the Google Maps Javascript API service.

The possibility of filtering road accidents by the year of occurrence, condition of the surface, lighting, weather conditions, the presence of road elements, the involvement of pedestrians or cyclists, the presence of dead or seriously injured people, etc. has been implemented.

A statistical analysis of the number of road accidents with fatalities and injuries for each year separately on the territory of the city and OTG was carried out, an analysis of dead/severely injured/slightly injured vulnerable road users (pedestrians and cyclists) was carried out.

18 places of concentration of road accidents in the territory of the city of Ivano-Frankivsk for the years 2021-2023 were identified, for each of them an analysis of the number of road accidents in the last calendar year and in the last three years and the predominant type of road accident (frontal or side collision, hitting a pedestrian, cyclist, etc). At the meeting of the traffic safety commission of the Ivano-Frankivsk urban territorial community, the provided report was reviewed and it was recommended to develop measures to improve the conditions and organization of road traffic to ensure its safety and measures to eliminate the causes of road accidents.

Key words: *traffic accident, place of concentration, geospatial data, traffic safety, Google Maps, REST API, C#, ASP .NET, EF Core.*

Постановка проблеми

Згідно зі статистикою Департаменту патрульної поліції [1] у 2023 році сталося 23 642 ДТП, в яких загинули 3 053 людини.

Понад 37% серед загиблих на дорогах – найвразливіші учасники дорожнього руху: пішоходи та велосипедисти. Водночас, більшість ДТП сталися з вини водіїв.

Найпоширенішими причинами аварій пригод були:

– перевищення безпечної та встановленої швидкості (41,7%);

– порушення правил маневрування (22%);

– порушення правил проїзду перехресть (8,5%);

На ці статті припадає 72,2% ДТП.

Загалом, більш ніж половина (56,2%) смертельних ДТП на дорогах України сталися через перевищення безпечної та встановленої швидкості.

Відповідно до порядку виявлення аварійно-небезпечних ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод [2] орган управління щороку до 15 березня здійснює виявлення місць (ділянок) концентрації ДТП та аварійно-небезпечних ділянок станом на 31 грудня попереднього календарного року. Органи управління отримують інформацію стосовно ДТП засобами єдиної інформаційної системи МВС або від органу (підрозділу) Національної поліції на підставі запиту протягом 30 днів.

Оскільки наразі відсутня система автоматизації визначення місць та ділянок концентрації ДТП, а інформація про ДТП надходить в форматі непридатності для її автоматичного опрацювання актуальними задачами є задача цифровізації, систематизації та кластеризації інформації про дорожньо-транспортні пригоди.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Автори [3] вирішують дану задачу використовуючи програмне забезпечення Excel із макросами з використанням мови програмування VBA [4] (Visual Basic for Application).

Проте даний підхід має ряд недоліків:

- Мова VBA застаріла і не має такої гнучкості, як сучасні мови програмування.
- Використання книги Excel як сховища даних унеможливорює використання сховища, як основного у веб та мобільних застосунках.
- Відсутня можливість автоматизованої корекції координат ДТП у випадку неточного відпрацювання геокодингу, через некоректно введену адресу ДТП.

Викладення основного матеріалу дослідження

Облікові картки ДТП надані Департаментом Патрульної Поліції у Івано-Франківській області. Приклад картки наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Облікова картка дорожньо-транспортної пригоди

Дата та час скоєння	Вид пригоди	Дорожні умови	Нас. пункт	Вулиця
22.03.2021 18:01:00	Наїзд на пішохода	Тип покриття: асфальтобетонне,	Івано-Франківськ	Академіка Сахарова
Додаткова прив'язка		Основна причина ДТП		ДТП – учасник
Перехрестя Сахарова-Чорновола		Порушення правил маневрування		Легко травмований

Для збереження даних ДТП використаємо Entity Framework Code First [5].

Клас C#, що моделює ДТП міститиме наступні властивості:

- public Guid Id – унікальний ідентифікатор ДТП;
- public DateTime Timestamp – дата скоєння ДТП;
- public string Type – тип ДТП (Зіткнення бокове, Зіткнення лобове, тощо);
- public List<string> Reasons – можливі причини ДТП (Недодержання дистанції, Перевищення безпечної швидкості, тощо). Слід зазначити, що одна дорожньо-транспортна пригода може мати декілька причин;
- public Address Address – адреса скоєння ДТП;
- public Environment Environment – умови ДТП;
- public List<string> Casualties – загиблі, важко травмовані, легко травмовані;
- public Coordinates Coordinates – координати ДТП.

Клас адреси у свою чергу міститиме наступні властивості:

- public string City – населений пункт (Івано-Франківськ, чи село в МТГ);
- public string Street – вулиця;
- public string AdditionalAddress – додаткова прив'язка (перехрестя, будинок, тощо).

Клас Environment:

- public string SurfaceType – тип покриття (Асфальтобетонне, чорнощобенове);
- public string SurfaceCondition – стан покриття (сухе, мокре);
- public string Lighting – освітленість (день, ніч, штучне освітлення);
- public string RoadElements – дорожні елементи (пряма, пішохідний перехід, перехрестя, тощо);
- public string Constructions – дорожні конструкції (міст, шляхопровід, тощо);
- public string Weather – погодні умови (хмарно, ясно, дощ, снігопад);
- public List<string> TrafficTools – засоби організації дорожнього руху (дорожні знаки, розмітка);

Клас Coordinates:

- public double? OriginalLatitude;
- public double? OriginalLongitude – координати визначені геолокацією;
- public double? ShiftedLatitude;
- public double? ShiftedLongitude – зміщені координати, у випадку повного накладання декількох точок одна на одну, причини та методи зміщення координат розглядають далі у матеріалі;
- public double? ManuallyCorrectedLatitude;
- public double? ManuallyCorrectedLongitude – скориговані вручну координати, не завжди геолокація дає вірні дані, особливе через невірні внесені адреси працівниками Патрульної Поліції;
- public bool? IsPlaceOfAccidentConcentration – чи є місцем концентрації ДТП за попередні роки.

З метою збереження всіх даних у одній таблиці було застосовувано підхід з використання `owned entities` і результаті отримали таблицю зображену на рисунку 1.

Column Name	Data Type	Allow Nulls
Id	uniqueidentifier	<input type="checkbox"/>
Timestamp	datetime2(7)	<input type="checkbox"/>
Type	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Reasons	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Address_City	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Address_Street	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Address_AdditionalAddress	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_SurfaceType	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_SurfaceCondition	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_Lighting	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_RoadElements	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_Constructions	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_Weather	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_TrafficTools	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_IsPlaceOfAccidentC...	bit	<input checked="" type="checkbox"/>
Environment_NotParsed	bit	<input checked="" type="checkbox"/>
Casualties	nvarchar(MAX)	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordinates_OriginalLatitude	float	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordinates_OriginalLongitude	float	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordinates_ShiftedLatitude	float	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordinates_ShiftedLongitude	float	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordinates_ManuallyCorrectedL...	float	<input checked="" type="checkbox"/>
Coordinates_ManuallyCorrectedL...	float	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 1. Дизайн таблиці `Accidents`

З метою автоматизовано заповнення бази даних, початкові дані було скопійовано у файл Excel та реалізовано парсер засобами мови `C#` з використання бібліотеки `ExcelDataReader` [6]. Причини ДТП у картках часто кодуються відповідно до таблиці 2, отже необхідно перетворити ці коди в текст.

Після занесення даних про ДТП у базу, виникає потреба отримати координати місця ДТП для подальшого нанесення його на карту. Це найскладніша задача через погану якісь вхідних даних: часто дані погано відформатовані, відсутні вулиця, будинок, тощо. Для автоматичного геокодування використовувався сервіс `Google Api Geocoding` [7].

Для кожної локації відправлявся запит за адресою `https://maps.googleapis.com/maps/api/geocode/json?key={key}&address={address}`

де `key` – персональний API ключ від сервісів Google, а `address` – конкатенація полів

```
{accident.Address.City}
```

```
{accident.Address.Street}
```

```
{accident.Address.AdditionalAddress}
```

У відповідь від API отримуємо json об'єкт, необхідні нам координати знаходяться за адресами

```
responseObject["results"][0]["geometry"]["location"]["lat"] та
```

```
responseObject["results"][0]["geometry"]["location"]["lng"].
```

Результати геокодування записуються у поля `Coordinates.OriginalLatitude` та `Coordinates.OriginalLongitude`. Доволі часто адреси співпадають, кому в результаті геокодації ми отримуємо ідентичні координати для декількох точок, для того щоб мати змогу їх розрізнити на карті у поля `Coordinates.ShiftedLatitude` та `Coordinates.ShiftedLongitude` записувалися зсунуті координати на `0.00001`.

З метою полегшення ручного коригування координат на карті – реалізована можливість зміни координат шляхом пересування маркера на карті. Для цього було використано `AdvancedMarkerElement` [8] з бібліотеки `Google Maps` та реалізовано POST точку доступу на API. Скориговані вручну координати записувалися у поля `Coordinates.ManuallyCorrectedLatitude` та `Coordinates.ManuallyCorrectedLongitude`.

Для зручного користування картою реалізована можливість фільтрації ДТП за критеріями. Загальний вигляд API зображено на рисунку 2.

Таблиця 2

Причини ДТП

Код	Причина
01	Керування транспортним засобом у нетверезому стані
02	Перевищення встановленої швидкості
03	Перевищення безпечної швидкості
04	Невиконання вимог сигналів регулювання
05	Порушення правил перевезення пасажирів
06	Порушення правил маневрування
07	Порушення правил проїзду пішохідних переходів
08	Порушення правил проїзду зупинок громадського транспорту
09	Порушення правил користування освітлювальними приладами
10	Порушення правил надання безперешкодного проїзду
11	Порушення правил зупинки і стоянки транспортного засобу
12	Порушення правил проїзду залізничних переїздів
13	Порушення правил перевезення вантажів
14	Порушення правил буксирування
15	Порушення правил обгону
16	Вїзд на смугу зустрічного руху
17	Порушення правил проїзду перехресть
18	Управління несправним транспортним засобом
19	Недоержання дистанції
20	Перевтома, сон за кермом
21	Порушення правил проїзду великогабаритних та великовагових ТЗ
22	Перехід у невстановленому місці
23	Невиконання вимог сигналів регулювання
24	Неочікуваний вихід на проїзну частину
25	Пішохід у нетверезому стані



Рис. 2. API

В результаті аналізу ДТП за 6 років отримали наступні статичні дані – рисунки 3–6.

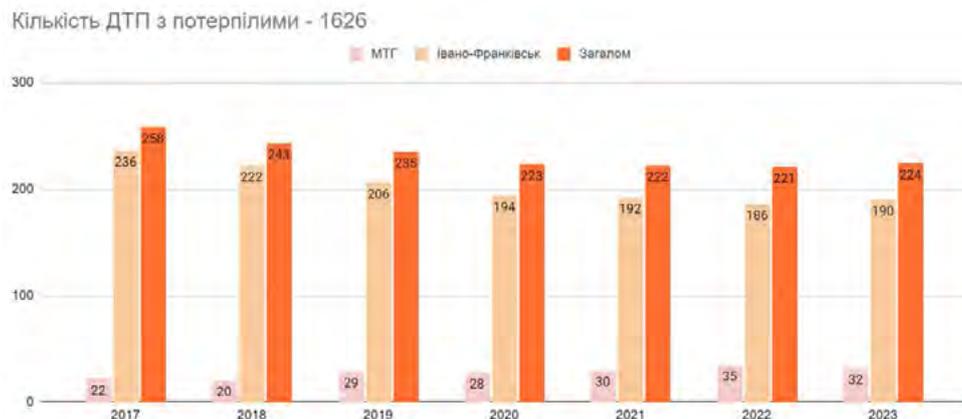


Рис. 3. Кількість ДТП з потерпілими за 2017–2023 роки



Рис. 4. Кількість ДТП з загиблими за 2017–2023 роки

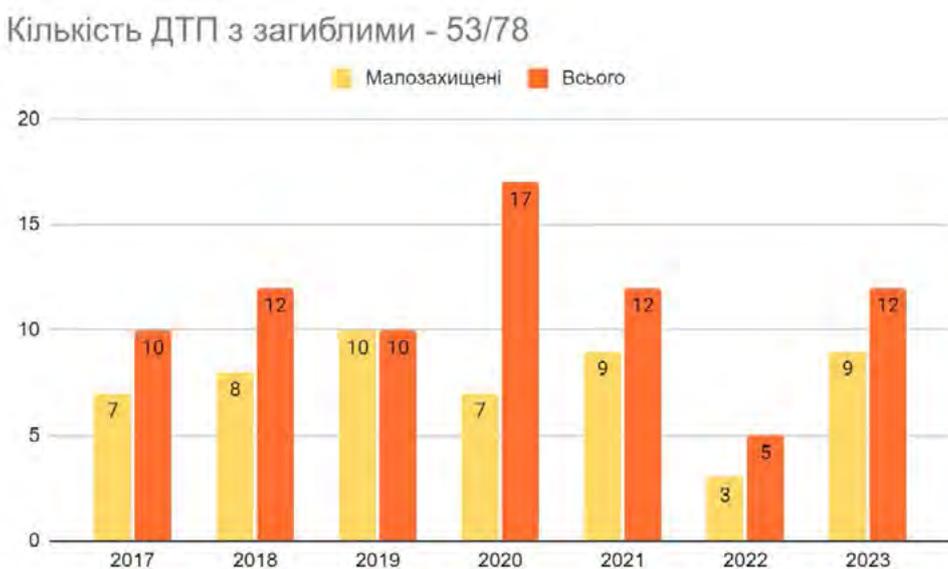


Рис. 5. Кількість загиблих у розрізі малозахищених учасників дорожнього руху

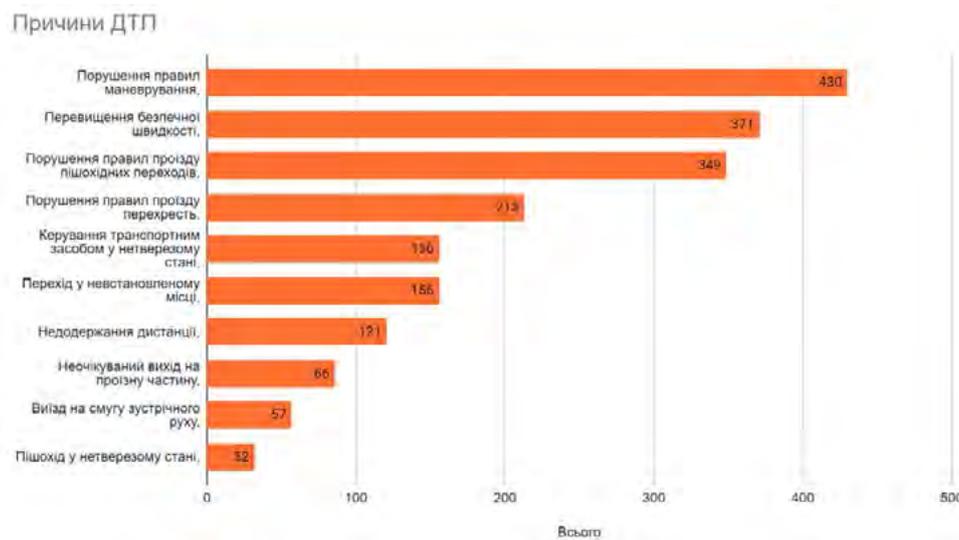


Рис. 6. Найбільш часті причини ДТП

Висновки

Використовуючи сервіс Geocoding API від Google, були визначені координати кожної ДТП, а також реалізована можливість ручної корекції місця пригоди. Дані були візуалізовані на карті за допомогою Google Maps Javascript API.

Реалізовано можливість фільтрації ДТП за різними параметрами, такими як рік вчинення, стан покриття, погодні умови тощо. Проведено статистичний аналіз кількості та типів ДТП, а також аналіз учасників дорожнього руху, що допомагає виявити проблемні аспекти безпеки на дорогах.

За допомогою кластеризації ДТП на карті було виявлено 18 місць концентрації подій на території міста. Для кожного такого місця проведено детальний аналіз кількості та типів пригод.

Показано, що більше половини загиблих і важкотравмованих при ДТП складають мало захищені учасники дорожнього руху.

На основі аналізу даних комісія безпеки дорожнього руху рекомендує розробити заходи щодо удосконалення умов та організації дорожнього руху для забезпечення безпеки та ліквідації причин виникнення ДТП.

Список використаної літератури

1. Статистика ДТП в Україні за 2023 рік. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/wp-content/uploads/2024/01/12.2023.xlsx>
2. Про затвердження Порядку виявлення аварійно-небезпечних ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод : Наказ Міністерства Інфраструктури України № 598. (2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1313-22#Text>
3. Пашковський Богдан, Слабінога Мар'ян. Автоматизація процесу визначення ділянок та місць концентрації дорожньо-транспортних пригод на території Івано-Франківської міської територіальної громади з використанням геокодування. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 2, No. 4, 2023, pp. 9–18. doi: 10.46299/j.isjea.20230204.02
4. Getting started with VBA in Office. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>
5. ASP.NET Core MVC with EF Core – tutorial series. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/data/ef-mvc/?view=aspnetcore-8.0>
6. ExcelDataReader. URL: <https://github.com/ExcelDataReader/ExcelDataReader>
7. Geocoding API overview. URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/overview>
8. Advanced Markers URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/reference/advanced-markers>

References

1. Statystyka DTP v Ukraini za 2023 rik.. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/wp-content/uploads/2024/01/12.2023.xlsx>
2. Pro zatverdzhennja Porjadku vyjavlennja avarijno-nebezpechnykh diljanok ta miscj koncentraciji dorozhno-transportnykh pryghod (Nakaz Ministerstva Infrastruktury Ukrainy) #598. (2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1313-22#Text>
3. Bohdan Pashkovsky, Maryan Slabinoga. (2023) Avtomatyzacija procesu vyznachennja diljanok ta miscj koncentraciji dorozhno-transportnykh pryghod na terytoriji Ivano-Frankivskojji misjkoji terytorialnoji ghromady z vykorystannjam gheokoduvannja.. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 2, No. 4, 2023, pp. 9–18. doi: 10.46299/j.isjea.20230204.02
4. Getting started with VBA in Office. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>
5. ASP.NET Core MVC with EF Core – tutorial series. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/data/ef-mvc/?view=aspnetcore-8.0>
6. ExcelDataReader. URL: <https://github.com/ExcelDataReader/ExcelDataReader>
7. Geocoding API overview. URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/overview>
8. Advanced Markers URL: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/reference/advanced-markers>

В. В. ПРАЧИКаспірант кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4820-6830**О. М. ЛЯШЕНКО**кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5429-8389

МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-РЯТУВАЛЬНОЇ СЛУЖБИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ДСНС УКРАЇНИ

Метою роботи є моделювання та аналіз програмного забезпечення для оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України.

При розробці програмного забезпечення було використано методологію об'єктно-орієнтованого програмування, технології крос-платформної розробки Java.

В роботі розроблено багаторівневу архітектуру програмного забезпечення. Багаторівневу архітектуру призначено для спрощення програмного забезпечення, оскільки можна розділити завдання між рівнями, які розташовано зверху донизу: презентаційний рівень знаходиться зверху, бізнес-рівень знаходиться у центрі, рівень даних знаходиться знизу.

Описано функціональні можливості програмного забезпечення. Побудовано діаграми класів та пакетів. Розглянуто процес моделювання станів програмного забезпечення. Побудовано діаграму станів. Діаграми станів є засобом опису поведінки систем, вони показують послідовності станів, викликаних послідовностями подій. За допомогою діаграм станів специфікуються всі можливі стани, в яких може бути конкретний об'єкт, а також процес зміни станів об'єкта в результаті настання деяких подій. Розглянуто процес моделювання взаємодій. Визначено ролі користувачів: керівник робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, який призначається для безпосереднього управління аварійно-рятувальними та іншими невідкладними роботами під час виникнення будь-якої надзвичайної ситуації, керівник оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, командир аварійно-рятувального відділення та командир пожежно-рятувального відділення оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Побудовано діаграму використання для ролі «Керівник робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації». Побудовано діаграму діяльності програмного забезпечення.

Також в роботі розроблено БД програмного забезпечення за допомогою MySQL Workbench – графічного інструменту для роботи з серверами та базами даних MySQL, розроблено інтерфейс користувача, наведено програмні приклади роботи програми.

Ключові слова: програмне забезпечення, цивільний захист, технології крос-платформної розробки, методологія об'єктно-орієнтованого програмування.

V. V. PRACHIKPostgraduate Student at the Department of Software Tools and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-4820-6830**O. M. LIASHENKO**Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Software Tools and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-5429-8389

SIMULATION AND DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE OPERATIONAL AND RESCUE SERVICE OF THE CIVIL PROTECTION OF THE SES OF UKRAINE

The purpose of the work is to simulate and development of software for the operational and rescue service of the civil protection of the State Emergency Service of Ukraine (SES).

When developing a software, the methodology of object-oriented programming, cross-platform Java development technologies were used.

The work developed a multi-level software architecture. The multi-level architecture is designed to simplify the software, since it is possible to divide tasks between levels that are located from top to bottom: the presentation level is at the top, the business level is in the center; the data level is at the bottom.

Describes the functionality of the software. Class and package diagrams are constructed. The process of modeling software states is considered. A state diagram is constructed. State diagrams are a means of describing the behavior of systems, they show the sequences of states caused by sequences of events. Using state diagrams, all possible states in which a particular object can be specified, as well as the process of changing the states of an object as a result of the occurrence of certain events, are specified. The process of modeling interactions is considered. The roles of users are defined: the head of the emergency response work, who is appointed to directly manage the emergency rescue and other urgent work during the occurrence of any emergency, the head of the operational rescue service of civil protection, the commander of the emergency department and the commander of the fire and rescue department of the operational rescue service of civil protection. A usage diagram has been constructed for the Emergency Response Manager role. Built a diagram of the software.

The work also developed a software database using MySQL Workbench – a graphical tool for working with MySQL servers and databases, developed a user interface, provided software examples of the program.

Key words: software, civil protection, cross-platform development technologies, object-oriented programming methodology.

Постановка проблеми

Нині практично відсутній огляд сучасних теоретико-методологічних підходів до проектування, моделювання та розроблення програмного забезпечення (ПЗ) для оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України.

Таким чином, проектування, моделювання та розроблення програмного забезпечення є актуальною науково-прикладною задачею, а його побудова потребує виявлення та аналізу сучасних тенденцій розвитку та застосування таких програм, насамперед, на основі провідних наукових публікацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [1] проведено аналіз залежності тактики дій керівника рятувальної операції від оперативної обстановки в зоні ДТП. Доведена перспективність, доцільність та практичність забезпечення та використання інформаційно-телекомунікаційних технологій при проведенні занять з особовим складом, визначення тактики подальших дій рятувальників під час слідування до місця ДТП. Вибрано комп'ютерне програмне забезпечення як один з основних видів технічного забезпечення підготовки особового складу та проведення ними аварійно-рятувальних робіт.

В роботі [2] виконано оцінку ефективності застосування інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з використанням глибоких нейронних мереж. Проведено оцінку точності прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті в ході функціонування гібридної нейронної мережі з використанням запропонованої інформаційної технології.

В роботі [3] розглянуті особливості функціонування ситуаційних центрів на різних стадіях розвитку надзвичайних ситуацій та особливості обґрунтування експертами антикризових рішень щодо функціонування органів державної влади, органів місцевого самоврядування, органів управління та сил цивільного захисту для забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності населення та території держави. Показано, що ефективність функціонування системи ситуаційних центрів залежить від науково-технічного рівня реалізації в державі системи цивільного захисту, системи моніторингу надзвичайних ситуацій, системи передачі даних про надзвичайні ситуації та системи захисту інформації, що циркулює у процесі функціонування єдиної державної системи цивільного захисту.

Роботу [4] присвячено вивченню способів розв'язання науково-практичного завдання щодо підвищення ефективності інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень під час виникнення надзвичайних ситуацій за рахунок зниження часу обробки моніторингових даних, а також підвищенню здатності інформаційних підсистем і компонентів до взаємодії та забезпечення розгортання єдиної інформаційної інфраструктури.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є моделювання та розроблення ПЗ для оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України із застосуванням методології об'єктно-орієнтованого програмування та технології крос-платформної розробки Java.

Викладення основного матеріалу дослідження

Основою сучасного підходу до моделювання ПЗ є методологія об'єктно-орієнтованого аналізу та проектування (ООАП).

Фундаментальними поняттями методології ООАП є поняття класу та об'єкта, а також її основні принципи: абстракція, інкапсуляція, поліморфізм та успадкування. На використанні вищезазначених принципів ґрунтується методологія побудови об'єктно-орієнтованих моделей [5–9].

Модель системи – формальний опис системи, у якому виділено основні об’єкти, що становлять систему, та відносини між цими об’єктами [8].

Процес побудови та подальшого застосування моделей називається моделюванням.

Програмну систему можна представити у вигляді сукупності моделей трьох типів: моделі класів, моделі станів та моделі взаємодій. Кожна з цих моделей описує певний рівень функціонування програмної системи [9].

Мета побудови моделі класів полягає в тому, щоб охопити ті реальні концепції, які важливі для програми, що проектується. Щоб добре зрозуміти систему, краще спочатку вивчити її статичну структуру, тобто структуру об’єктів і відносин між ними у фіксований момент часу, що і відображає модель класів [8; 9]. У мові UML вона відображається за допомогою діаграм класів (рис. 1).

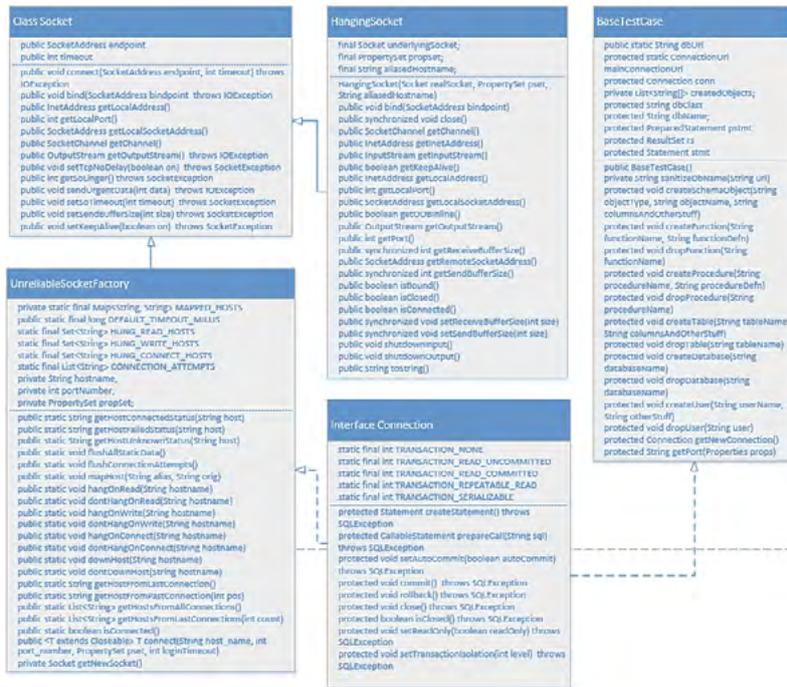


Рис. 1. Діаграма класів програмного забезпечення

В роботі було застосовано механізм пакетів для того, щоб розбивати великі моделі на частини, групуючи класи, що мають спільний функціонал. Це значною мірою спрощує розуміння та підтримку моделі (рис. 2).

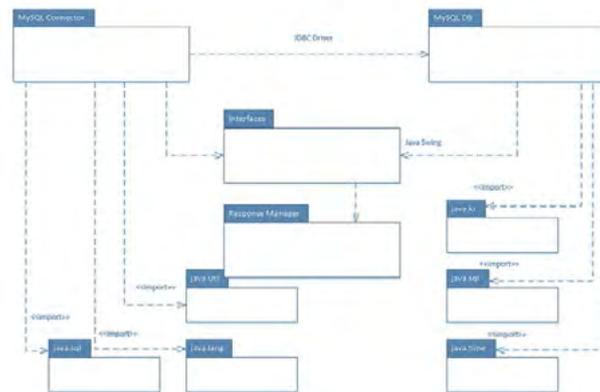


Рис. 2. Діаграма пакетів програмного забезпечення

Модель взаємодій визначає взаємодію об’єктів між собою. Моделювання взаємодій включає побудову трьох видів діаграм: діаграм варіантів використання, діаграм послідовності і діаграм діяльності [8; 9].

Основним елементом розробки та планування проекту програмного забезпечення є побудова моделі варіантів використання. Така модель описує функціональне призначення системи у найзагальнішому вигляді з погляду її користувачів і зацікавлених осіб [5–9].

Програмне забезпечення призначено для використання багатьма користувачами. Таким чином, перш за все необхідно визначити ролі користувачів.

Роль користувача представляє певний набір завдань або обов’язків, призначених групі користувачів у програмі. Призначення ролей користувачів дозволяє контролювати дії, які кожен користувач може виконувати в програмі, оптимізуючи робочий процес [5; 6; 9].

Ролі користувачів, що визначені для роботи з ПЗ:

1. Керівник робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації. Призначається для безпосереднього управління аварійно-рятувальними та іншими невідкладними роботами під час виникнення будь-якої надзвичайної ситуації.

2. Керівник Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

3. Командир відділення Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

4. Командир відділення (аварійно-рятувального) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

5. Командир відділення (пожежно-рятувального) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

На рис. 3 подано приклад діаграми варіантів використання для ролі «Керівник робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації».

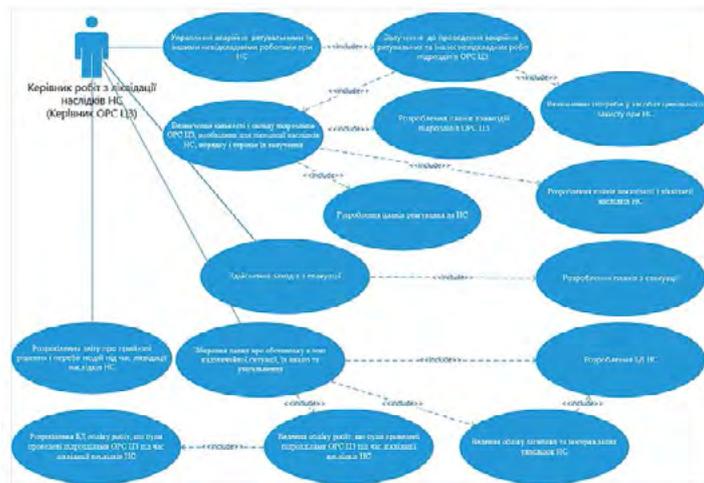


Рис. 3. Діаграма варіантів використання для ролі «Керівник робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації»

Керівник робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації здійснює:

- 1) збирання даних про обстановку в зоні надзвичайної ситуації, їх аналіз та узагальнення;
- 2) визначення головного напрямку ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, прийняття рішення щодо проведення аварійно-рятувальних робіт, захисту населення і території від наслідків надзвичайної ситуації та забезпечення життєдіяльності постраждалих;
- 3) розроблення оперативних планів заходів з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, зосередження в районі надзвичайної ситуації необхідних сил і технічних засобів та своєчасне введення їх у дію;
- 4) визначення кількості і складу аварійно-рятувальних формувань, необхідних для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, порядку і строків їх залучення згідно з планами реагування на надзвичайні ситуації і планами взаємодії;
- 5) ведення обліку робіт, що були проведені аварійно-рятувальними службами та формуваннями під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;
- 6) ведення обліку загиблих та постраждалих унаслідок надзвичайної ситуації;
- 7) проведення евакуаційних заходів, крім загальної або часткової евакуації населення.

Діаграми діяльності слугують для моделювання послідовності дій, які виконуються різними елементами, що входять до системи (рис. 4) [8; 9].

Для проєктування та розроблення бази даних програмного забезпечення було обрано MySQL Workbench – графічний інструмент для роботи з серверами та базами даних MySQL. Структурну схему бази даних програмного забезпечення подано на рис. 5. База даних ПЗ містить 12 таблиць.

У БД виділені наступні сутності: Надзвичайна_ситуація, Тип_Надзвичайної_ситуації, Рівень_Надзвичайної_ситуації, Сила, Посада, Категорія, Підпорядкованість, Засоби, Тип_Засобів, Виробник_Засобів, Призначення_Засобів.

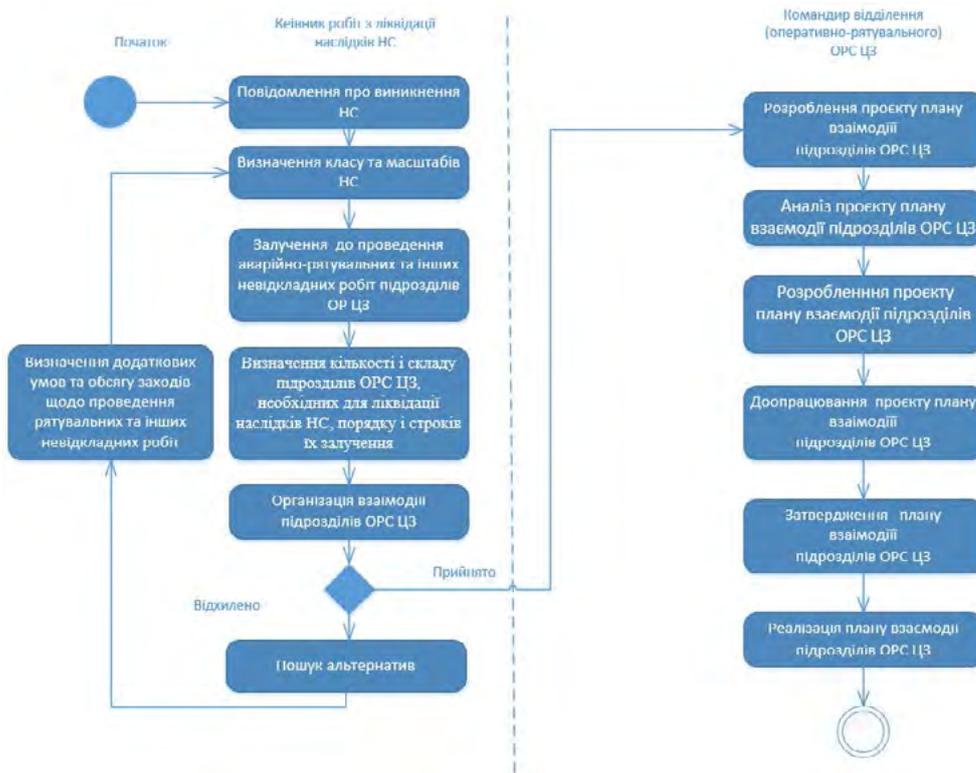


Рис. 4. Діаграма діяльності програмного забезпечення

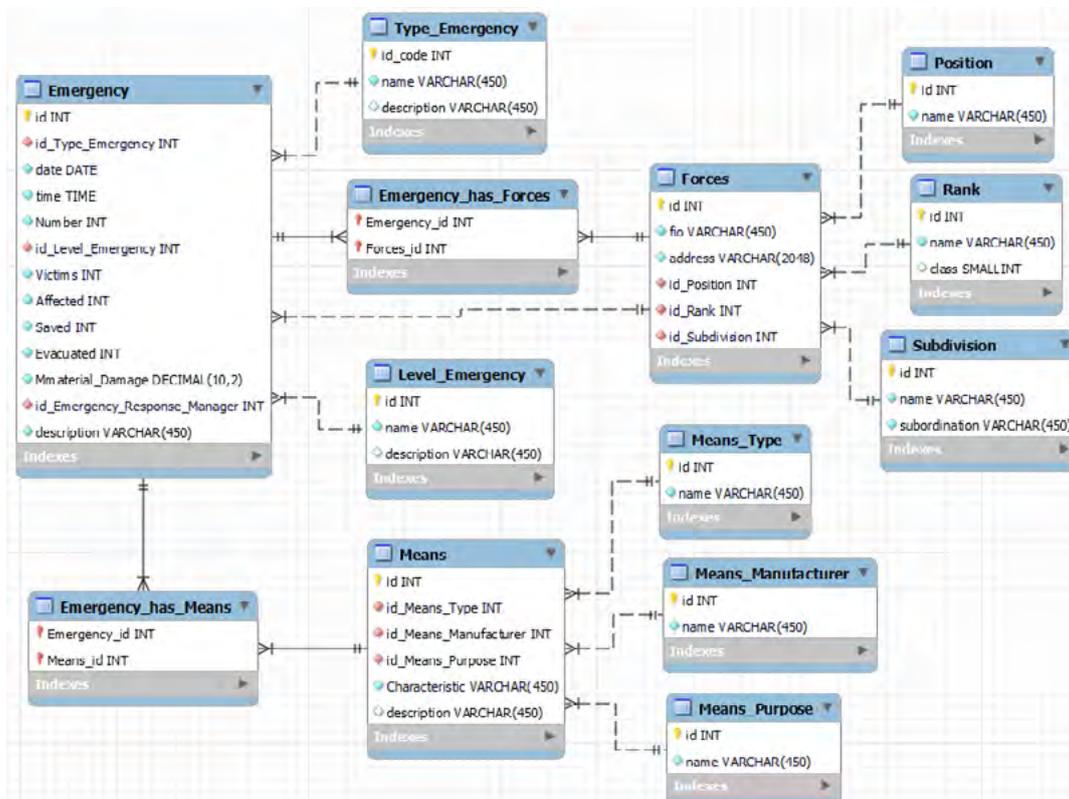


Рис. 5. БД програмного забезпечення

Сутності зі зв'язком 1 до N:

1. Надзвичайна_ситуація – Тип_Надзвичайної_ситуації.
2. Надзвичайна_ситуація – Рівень_Надзвичайної_ситуації.
3. Сила – Посада.
4. Сила – Категорія.
5. Сила – Підпорядкованість.
6. Засоби – Тип_Засобів.
7. Засоби – Виробник_Засобів.
8. Засоби – Призначення_Засобів.

Сутності зі зв'язком N до M:

1. Надзвичайна_ситуація – Сила.
2. Надзвичайна_ситуація – Засоби.

Програмне забезпечення має багаторівневу архітектуру. Діаграму архітектури ПЗ подано на рис. 6.

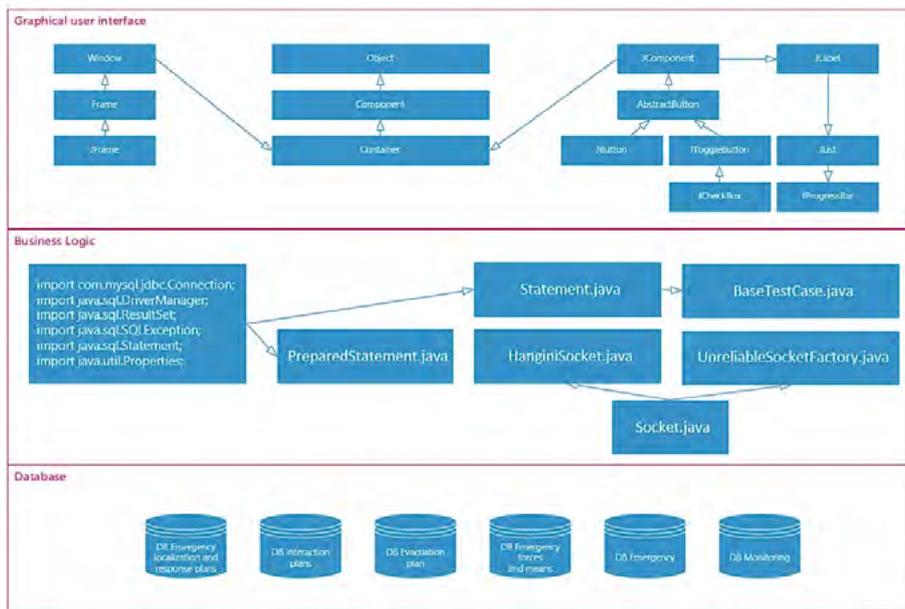


Рис. 6. Архітектура програмного забезпечення

Програмний додаток містить рівень подання (інтерфейс користувача), бізнес-рівень та рівень бази даних.

Для розроблення програмного забезпечення було обрано середовище розробки Apache NetBeans, СКБД MySQL та мову програмування java.

Приклади роботи ПЗ подано на рис. 7–8 [10].

Код НС	Тип НС	Дата	Час	Рівень НС	Вид НС	Кількість п...	Кількість п...	Кількість в...	Кількість в...	Матеріаль...	Керівник р...	Опис НС
001	Пожежа	23.10.2023	12:13	Ріпональний	Лісова пож...	0	5	0	12	150000	Борозенко...	Раденський...
002	Пожежа, ви...	24.10.2023	14:05	Місцевий	Пожежа (в...	2	5	1	17	380000	Агєєнко П.Р.	У результа...
003	Пожежа	24.10.2023	11:10	Місцевий	Пожежа	1	7	0	10	240000	Агєєнко П.Р.	У результа...
004	Пожежа	25.10.2023	13:10	Місцевий	Пожежа	3	8	2	17	450000	Станіславс...	У результа...
005	Вибух газу	25.10.2023	14:50	Місцевий	Вибух	4	14	6	45	500000	Боцман А.Н.	Локалізаці...
006	Вибух	25.10.2023	15:00	Місцевий	Вибух	7	24	7	150	500000	Бурмак О.О.	Вибух у буд...
007	Вибух	26.10.2023	15:00	Місцевий	Вибух	19	16	9	46	450000	Бурмак О.О.	Вибух у м...
008	Пожежа	26.10.2023	16:00	Місцевий	Пожежа	6	12	8	6	230000	Агєєнко П.Р.	У результа...
009	Пожежа	27.10.2023	12:30	Місцевий	Вибух	7	1	8	6	150000	Агєєнко П.Р.	Вибух у буд...
010	Вибух	27.10.2023	13:00	Місцевий	Вибух	8	5	4	3	45000	Агєєнко П.Р.	Вибух у буд...
011	Вибух	27.10.2023	13:30	Місцевий	Вибух	35	78	79	166	548000	Агєєнко П.Р.	Вибух у буд...
012	Вибух	27.10.2023	14:30	Місцевий	Вибух	72	56	37	4	156999	Агєєнко П.Р.	Вибух у буд...
013	Вибух	27.10.2023	15:00	Місцевий	Вибух	9	3	12	17	345000	Агєєнко П.Р.	Вибух у буд...
014	Вибух	28.10.2023	15:00	Місцевий	Вибух	10	15	5	9	807000	Агєєнко П.Р.	Вибух у буд...

Рис. 7. Робота з БД надзвичайних ситуацій

Тип	Виробник	Призначення	Кількість	Характеристика
Ан-32П	Україна	Літак для гасіння пожеж	5	Гасіння лісових пожеж за допо...
Ан-26	Україна	Військово-транспортний літак	2	Перевозить до 40 пасажирів з...
Ан-30	Україна	Літак повітряного спостережен...	2	Застосовується для вирішення...
Ми-8	Україна	Багатоцільовий гелікоптер	2	Використовується як пожежний...
Eurocopter EC145	Франція	Багатоцільовий гелікоптер	2	Призначений для перевезення...
Авіція H225 Super Puma	Франція	Багатоцільовий гелікоптер	2	Призначений для перевезення...
Транспортери плавачки	Україна	Транспортери плавачки	2	«ПТС», «ПТС-2», ПТС-М
Машина для вивантаження котлована	Україна	Машина для вивантаження котлована	4	«МДК-2» і МДК-3
Бульдозер колісний «БКТ-2РК»	Україна	Бульдозер колісний	5	Бульдозер колісний «БКТ-2РК»
Машина траншейна	Україна	ТМК-2 на базі колісного тягача	4	ТМК-2 на базі колісного тягача...
Крани автомобільні вантажолі...	Україна	На базі автомобілів «КрАЗ», «М...	8	На базі автомобілів «КрАЗ», «М...
Пересувна лабораторія РХБ ро...	Україна	На базі автомобілів «Газель»,...	7	«Газель», «Ford Transit»
Дезинфекційно душові установки	Україна	ДДЛ-66, ДДЛ-536 (ГАЗ-66)	4	ДДЛ-66, ДДЛ-536 (ГАЗ-66)

Рис. 8. Робота з БД засобів ліквідації НС

Висновки

Розглянуто основні поняття об'єктно-орієнтованого моделювання та розроблення програмного забезпечення. Побудовано діаграми класів та пакетів програмного забезпечення. Розглянуто процес моделювання станів програмного забезпечення. Побудовано діаграму станів. Розглянуто процес моделювання взаємодій. Визначено ролі користувачів. Побудовано діаграму використання для ролі «Керівник робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації». Побудовано діаграму діяльності програмного забезпечення. Розроблено БД, яка містить 12 таблиць, що знаходяться у третій нормальній формі Бойса-Кодда. Побудовано архітектурну діаграму ПЗ. Програмний додаток містить рівень подання (інтерфейс користувача), бізнес-рівень та рівень бази даних. Наведено приклади роботи ПЗ.

Список використаної літератури

1. Ковальчук В.М., Лоїк В.Б., Лозинський Ю.Р. Удосконалення організації та проведення аварійно-рятувальних робіт при реагуванні на дорожньо-транспортні пригоди. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 9. 2018. С. 7–13.
2. Гришманов Є.О., Хижняк І.А., Бердник П.Г. Оцінка ефективності застосування інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. *Системи обробки інформації*. 2(157). 2019. С. 134–139.
3. Тютюнник В.В., Ященко О.А., Рубан І.В., Тютюнник О.О. Особливості функціонування системи ситуаційних центрів на різних стадіях розвитку надзвичайних ситуацій. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 1 (43). 2022. С. 41–52.
4. Ткаченко В.В. Використання ІТ-технологій для розв'язання задач управління екологічною безпекою в ході ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 3. 2020. С. 25–32.
5. Michael Blaha, James Rumbaugh. Object-Oriented Modeling and Design with UML. Pearson. 2004. P. 496.
6. Ajit Singh. Object Oriented Modeling and Design with UML. *Priharch Innovations*. 2019. P. 894.
7. Karoly Nyisztor, Monika Nyisztor. UML and Object-Oriented Design Foundations: Understanding Object-Oriented Programming and the Unified Modeling Language (Professional Skills Book 1). *Priharch Innovations*. 2018. P. 124.
8. Куліков В.М., Рябцев В.В., Паршуков С.С. Об'єктно-орієнтоване програмування для фахівців з кібербезпеки: навч. посіб. ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2023. 365 с.
9. Щербачов О.В., Парфьонов Ю.Е., Федорченко В.М. Основи об'єктно-орієнтованого програмування: навчальний посібник. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця. 2019. 237 с.
10. Прачик В.В., Ляшенко О.М. Розроблення інформаційної системи моніторингу природних катастроф з використанням об'єктно-орієнтованої методології та технології Java SE 11. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 32 (71). № 4. 2021. С. 150–156.

References

1. Koval'chuk V.M., Loik V.B., Lozins'kij YU.R. (2018) Udoskonalennya organizacii ta provedennya avarijno-ryatuvai'nih robit pri reaguvanni na dorozhn'o-transportni prigodi [Improvement of organization and performance of rescue operations in response to road traffic accidents]. *Visnik L'viv's'kogo derzhavnogo universitetu bezpeki zhittediyal'nosti* [Bulletin of Lviv State University of Life Safety], 9, P. 7–13. [in Ukrainian].

2. Grishmanov Є.О., Hizhnyak І.А., Berdnik P.G. (2019) Ocinka efektyvnosti zastosuvannya informacijnoi tekhnologii avtomatizovanogo prognozuvannya nespriyatlivih aviacijnih podij v pol'oti [Evaluation of the effectiveness of the information technology for automated forecasting of adverse aviation accidents in flight]. *Sistemi obrobki informacii* [Information processing systems], 2(157), P. 134–139. [in Ukrainian].
3. Tyutyunik V.V., YAshchenko O.A., Ruban I.V., Tyutyunik O.O. (2022) Osoblivosti funkcionuvannya sistemi situacijnih centriv na riznih stadiyah rozvitku nadzvichajnih situacij [Features of the functioning of the system of situational centers at different stages of emergency development]. *Suchasni informacijni tekhnologii u sferi bezpeki ta obroni* [Modern information technologies in the field of security and defense], 1(43), P. 41–52. [in Ukrainian].
4. Tkachenko V.V. (2020) Viktoristannya IT-tekhnologij dlya rozv'yazannya zadach upravlinnya ekologichnoyu bezpekoyu v hodi likvidacii naslidkiv nadzvichajnih situacij [Using IT technologies to solve environmental safety management problems in the course of emergency response]. *Integrovani tekhnologii ta energozberezhenya* [Integrated technologies and energy saving], 3. P. 25–32. [in Ukrainian].
5. Michael Blaha, James Rumbaugh.(2004) *Object-Oriented Modeling and Design with UML*. Pearson, P. 496. [in English].
6. Ajit Singh. (2019) *Object Oriented Modeling and Design with UML*. Priharch Innovations, P. 894. [in English].
7. Karoly Nyisztor, Monika Nyisztor.(2018) *UML and Object-Oriented Design Foundations: Understanding Object-Oriented Programming and the Unified Modeling Language (Professional Skills Book 1)*. Priharch Innovations, P. 124. [in English].
8. Kulikov V.M., Ryabcev V.V., Parshukov S.S. (2023) Ob'ektno-orientovane programuvannya dlya fahivciv z kiberbezpeki: navch. posib. ISZZI KPI im. Igorya Sikors'kogo. Kiïv: KPI im. Igorya Sikors'kogo [Object-oriented programming for cybersecurity specialists: tutorials. ISZZI KPI them. Igor Sikorsky. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute]. P. 365 [in Ukrainian].
9. SHCHerbakov O.V., Parf'onov YU.E., Fedorchenko V.M. (2019) Osnovi ob'ektno-orientovanogo programuvannya: navchal'nij posibnik. Harkiv: HNEU im. S Kuznecya [Basics of object-oriented programming: tutorial. Kharkiv: KhNEU named after S Kuznets], P. 237. [in Ukrainian].
10. Prachik V.V., Lyashenko O.M. (2021) Rozroblennya informacijnoi sistemi monitoringu prirodnih katastrof z vikoristannyam ob'ektno-orientovanoi metodologii ta tekhnologii Java SE 11 [Development of an information system for monitoring natural disasters using object-oriented methodology and Java SE 11 technology]. *Vcheni zapiski Tavrijs'kogo nacional'nogo universitetu imeni V.I. Vernads'kogo. Seriya: Tekhnichni nauki* [Scientific notes of the Tauride National University named after V.I. Vernadsky. Series: Technical Sciences], 32 (71), № 4, P. 150–156. [in Ukrainian].

Н. П. СОКОЛОВА

кандидат технічних наук,
доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту
Національний авіаційний університет
ORCID: 0000-0001-5190-2934

І. В. ПРОХОРЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту
Національний авіаційний університет
ORCID: 0000-0002-3397-662X

Н. А. ТИМОШЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту
Національний авіаційний університет
ORCID: 0000-0002-9713-7876

Т. А. МАЗУР

кандидат технічних наук,
доцент кафедри автоматизації та енергоменеджменту
Національний авіаційний університет
ORCID: 0000-0001-8378-6763

Б. О. ДЕНИСЕНКО

студент V курсу
Національний авіаційний університет
ORCID: 0009-0003-8948-0468

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ

У роботі проводиться аналіз забезпечення належного рівня якості аеропортових послуг шляхом дослідження задоволення вимог споживачів. У сучасному світі транспорт забезпечує сталий розвиток інфраструктури і обслуговує динамічні міжнародні відносини. Одним із ключових факторів розвитку сучасної глобальної економіки в умовах інтернаціоналізації ринків та формування економічного простору є авіаційний транспорт.

Світовий ринок авіаційних перевезень є одним з основних елементів світового господарства та відіграє важливу роль у процесі закріплення взаємозв'язків між країнами. У сучасних умовах глобалізації основних процесів суспільної та економічної життєдіяльності людства можливість швидкого пересування людей та вантажів на далекі відстані в різні, включаючи найбільш важкодоступні, місця світу робить ринок авіаційних перевезень одним з найперспективніших та найдинамічніших транспортних ринків. Основна ціль аеропортових формальностей спрямована на забезпечення гарантії перевезення, дотримання умов безпеки польотів, а також виконання вимог різних державних органів, що застосовуються до громадян, які користуються послугами авіаперевізників.

Успішна діяльність аеропортів здійснюється не тільки традиційними методами управління, а в нових умовах, що динамічно розвиваються, реалізується через систему управління економічними потоковими процесами з використанням сучасних інформаційних технологій.

Продаж квитків пасажиром на літаки є однією з найважливіших операцій у загальному процесі організації перевезень на повітряному транспорті, так як на цьому етапі йде комплектування комерційного завантаження на літаки і встановлюються договірні відносини між пасажиром і перевізником. Важливою особливістю будь-якої авіаподорожі є бронювання авіаквитка, що дає пасажиру гарантію на закріплення за ним місця на повітряному судні, що здійснює обраний рейс, на певну дату. В роботі запропоноване програмне забезпечення для мобільного додатку «Aviation Assistant» для автоматизації купівлі авіаквитків. Даний додаток дозволить пасажиром зручно та швидко бронювати та купляти авіаквитки через заздалегідь відсортовані категорії авіаперельотів.

Ключові слова: інтегрована автоматизована система управління, авіапідприємство, пасажирські перевезення, пасажиропотік, база даних, клієнт-серверна архітектура.

N. P. SOKOLOVA

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Automation
and Energy Management
National Aviation University
ORCID: 0000-0001-5190-2934

I. V. PROKHORENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automation
and Energy Management
National Aviation University
ORCID: 0000-0002-3397-662X

N. A. TIMOSHENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automation
and Energy Management
National Aviation University
ORCID: 0000-0002-9713-7876

T. A. MAZUR

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Automation
and Energy Management
National Aviation University
ORCID: 0000-0001-8378-6763

B.O. DENYSENKO,

Student 5th year
National Aviation University
ORCID: 0009-0003-8948-0468

AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEM OF AIR TRANSPORTATIONS

The work analyzes the provision of the appropriate level of quality of airport services by studying the satisfaction of consumer requirements. In the modern world, transport ensures the sustainable development of infrastructure and serves dynamic international relations. One of the key factors in the development of the modern global economy in the context of the internationalization of markets and the formation of the economic space is air transport.

The world market of air transport is one of the main elements of the world economy and plays an important role in the process of strengthening relations between countries. In the modern conditions of globalization of the main processes of social and economic life of mankind, the possibility of rapid movement of people and goods over long distances to various, including the most inaccessible, places of the world makes the air transportation market one of the most promising and dynamic transport markets. The main purpose of airport formalities is aimed at ensuring the guarantee of transportation, compliance with the conditions of flight safety, as well as the fulfillment of the requirements of various government bodies that apply to citizens who use the services of air carriers.

The successful operation of airports is carried out not only by traditional methods of management, but in new, dynamically developing conditions, it is implemented through the management system of economic flow processes using modern information technologies.

The sale of tickets to passengers on airplanes is one of the most important operations in the general process of organizing air transportation, since at this stage commercial loading on airplanes is assembled and contractual relations between the passenger and the carrier are established. An important feature of any air travel is the reservation of a plane ticket, which gives the passenger a guarantee of securing a seat for him on the aircraft operating the selected flight on a certain date. The work proposes software for the mobile application "Aviation Assistant" for automating the purchase of airline tickets. This application will allow passengers to conveniently and quickly book and buy airline tickets through pre-sorted flight categories.

Key words: *integrated automated control system, airline, passenger transportation, passenger flow, database, client-server architecture.*

Постановка проблеми

Авіаційна індустрія є однією з найбільш технологічно розвинутих галузей господарства, де кожен детальний процес має велике значення для безпеки польотів та задоволення потреб пасажирів. Вона дає величезний внесок у світову економіку, підтримуючи мільйони робочих місць та перевозячи мільярди пасажирів [1]. Завдяки цій індустрії, автоматизуються і інтегруються різні процеси в межах підприємства, що сприяє швидкому доступу до необхідних даних. З кожним роком авіаційна індустрія розвивається все стрімкіше, стає більш конкурентоспроможною, в якому ефективно та дієве управління є ключовим чинником для успіху. З метою ефективного вирішення задач авіапідприємства, необхідна інтегрована автоматизована система управління, що дає можливість оптимізувати роботу всіх підрозділів підприємства та забезпечити більш високий рівень безпеки та якості обслуговування, а також впливатиме на точність прийняття рішень. Як приклад, інтегрована система може надавати інформацію про авіарейси, стан обладнання, максимальний допустимий пасажиропотік тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В досліджених роботах С. Батмунх, М.М. Дмитрієва, Є.М. Зайцева, О.В. Конікової, І.А. Козлюк, О.Л. Петрашевського, К.А. Поліщука, В.П. Маслакова, І. П. Садловської, Л.Ю. Филимонюка, Ю.А. Чередніченка, М. Janić, M. Hirst пропонуються методи забезпечення ефективного функціонування окремих авіапідприємств, та управління авіаційною галуззю в цілому. В деяких роботах науковці оперують поняттям авіатранспортна система (АТС), але трактування та, відповідно, об'єкти, предмети, методології досліджень є принципово різними.

Аналіз публікацій за цією проблемою показує, що в опублікованих роботах розглядаються окремі аспекти управління аеропортом. У цих роботах відсутнє викладення взаємодії потокових процесів в аеропорту з урахуванням усіх змін, що відбуваються у зовнішньому середовищі. Крім того, питанням встановлення та забезпечення якості аеропортових послуг присвячені останні наукові дослідження Запорожця В., Шматко М. [1], Кулалаєва Ю. [2], Мерхежа Р., Трихункова М., та ін.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є впровадження автоматизованої системи управління авіаперевезень для підвищення ефективного функціонування, конкурентоспроможності на ринку авіаційних послуг.

Для досягнення поставленої було вирішено наступні задачі:

- аналіз стану системи управління діяльності авіаційних послуг;
- розроблення мобільного застосунку для організації автоматизації авіаперевезень.

Викладення основного матеріалу дослідження

Управління авіапідприємством є складним і багатограним процесом, який включає в себе багато аспектів, таких як фінанси, економіку, технічне обслуговування, безпеку польотів, логістику та інші.

Одним з основних напрямків розвитку сучасного виробництва за останні два десятиліття є стрімке розширення сфери послуг. Аналіз показує, що із розвитком промислового виробництва і насичення ринку товарами попит зростає, насамперед, на послуги. Крім того, зазначена ситуація призводить до утворення нових видів діяльності [3–6]. На рис. 1 можна бачити велику кількість чинників, які впливають на якість управління послугами аеропорту.

Процес створення аеропортових послуг поділяється на внутрішні і зовнішні фактори впливу.

До внутрішніх чинників відносяться: персонал, інформація, матеріальна база та технологія.

Зовнішні чинники можна поділити на дві категорії: прямого та непрямого впливів.

Прямий вплив включає в себе постачальників обладнання та ресурсів, пасажирів аеропорту як споживачів, конкурентів та державні органи, які регулюють і координують діяльність аеропортів. Непрямий вплив включає політику та економіку країни, які безпосередньо впливають на ринок аеропортних послуг, законодавчу базу, що регулює розробку та надання послуг, стан ринку аеропортів, науково-технічний прогрес та міжнародні відносини, що впливають на надання аеропортових послуг (рис. 1) [4].

Один із основних аспектів процесу управління якістю в аеропортах полягає у встановленні стандартів та критеріїв якості для різних аспектів обслуговування. Ці стандарти можуть включати широкий спектр показників, таких як час очікування, якість обслуговування, безпека пасажирів, чистота та комфортність приміщень.

У сучасному світі, де авіація відіграє значну роль у переміщенні людей та вантажів, безпека та ефективне функціонування аеропортів стають надзвичайно важливими завданнями. Щоб забезпечити безперебійну роботу аеропорту та забезпечити максимальний комфорт для пасажирів і персоналу, використання програмного забезпечення управління аеропортом стає невід'ємною складовою його інфраструктури.

Модулі програмного забезпечення (ПЗ) управління аеропортом включають в себе різноманітні функціональність та можливості, спрямовані на ефективну координацію різних аспектів роботи аеропорту. Програмне забезпечення аеропорту служить для оптимізації всіх його операцій: обробки пасажирів, маркування та обробки багажу, операцій прибуття/вильоту, систем контролю вильоту, розповсюдження інформації та управління повітряним рухом.

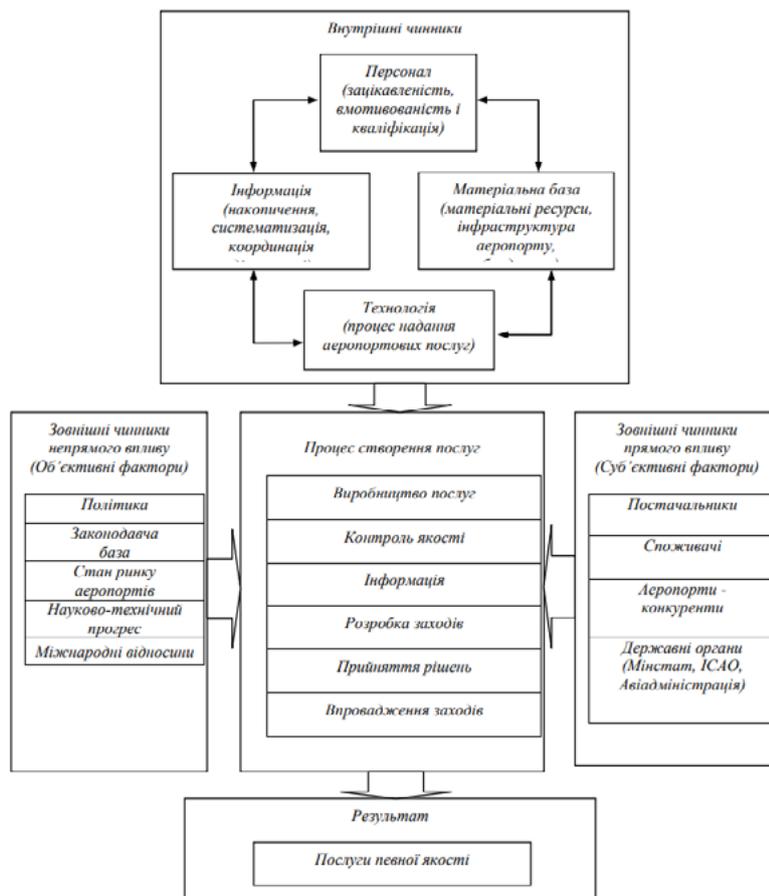


Рис. 1. Процес управління якістю послуг аеропортів

Для покращення якості обслуговування пасажирів, було створено мобільний додаток для системи Android – «Aviation Assistant». Для розробки була використана архітектура CSA (client-server architecture) – клієнт-серверна архітектура, суть якої полягає у тому, що є 2 об'єкта: сервер (так званий постачальник послуг) та клієнт (замовник послуг) [5]. Обробка даних відбувається завдяки API (Application Programming Interface) – це прикладний програмний інтерфейс, який дозволяє зв'язувати між собою різні комп'ютерні програми (наприклад, сервер та клієнт) (рис. 2).

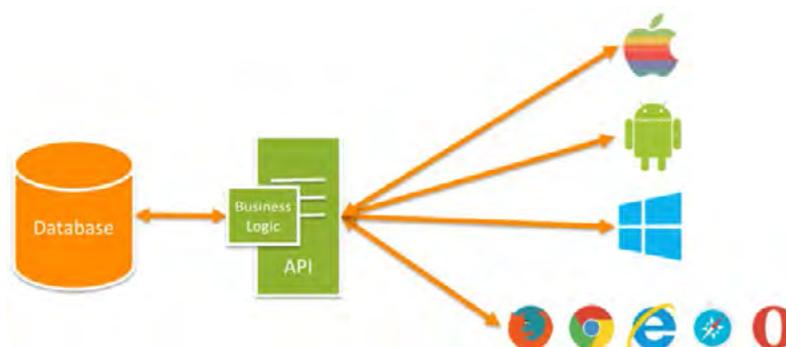


Рис. 2. Прикладний програмний інтерфейс [13]

Загалом, ця архітектура дозволяє розділити задачі між постачальником послуг та замовником послуг. Завдяки цій моделі можна просто посилати запити на сервер для отримання і завантаження необхідних даних.

Ця система розміщує, надає та керує більшістю ресурсів і послуг, які запитує клієнт. У цій моделі запити і послуги доставляються через так звану модель мережних обчислень (NCM).

Алгоритм роботи даного програмного застосунку та фрагмент коду програми «Aviation Assistant» зображено на рис. 3–4.

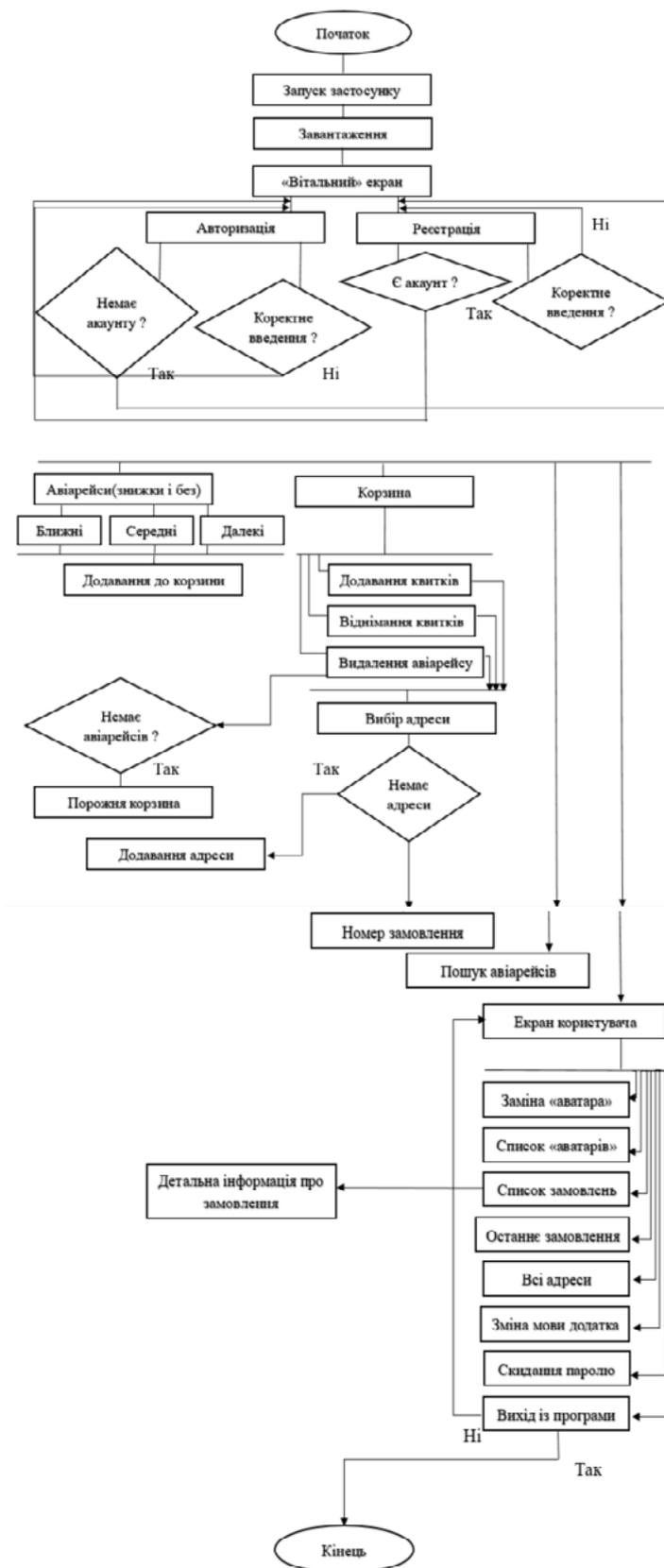


Рис. 3. Алгоритм програми «Aviation Assistant»

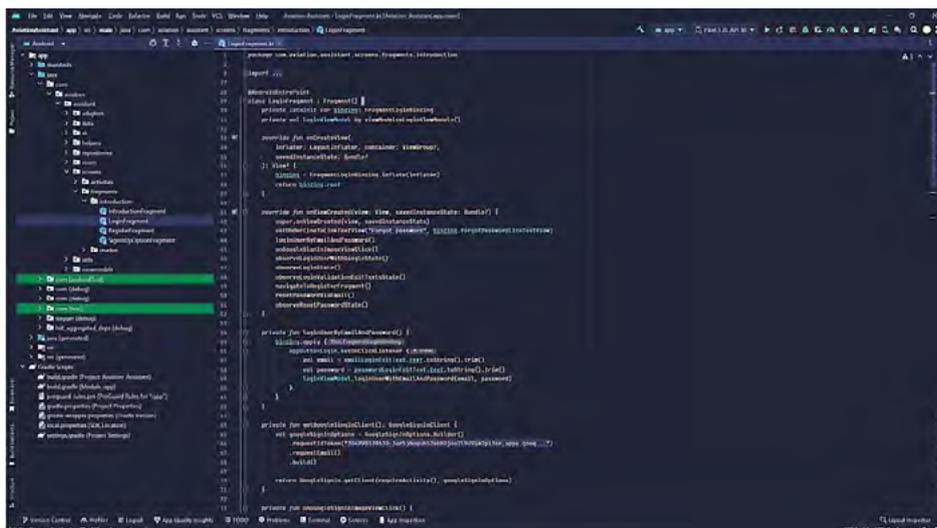
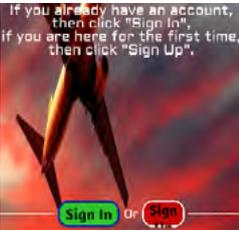


Рис. 4. Фрагмент коду програми «Aviation Assistant», який відповідає за Авторизацію акаунту

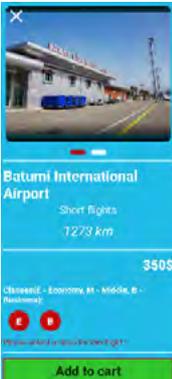
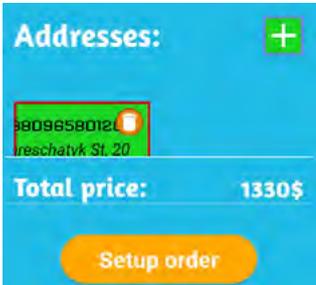
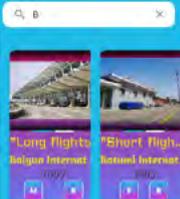
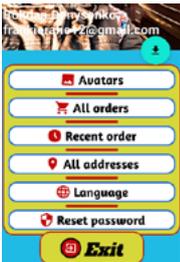
Етапи роботи застосунку «Aviation Assistant» відображені в табл. 1.

Таблиця 1

Функціональні етапи додатку «Aviation Assistant»

Етап		Опис
«Запуск застосунку»		Користувач натискає на значок програми.
«Вітальний екран»		Екран привітання з користувачем.
«Ввійти, чи зареєструватися»		Екран з можливістю обирання входу в акаунт, чи його створенню.
«Процес реєстрації або авторизації»		Процес, в якому користувач заповнює необхідні поля для входу або створення акаунту, при цьому пройшовши валідацію. Також є можливість входу в додаток через акаунт Google.

Продовження таблиці 1

«Авіарейси»		<p>Екран з категоріями авіаперельотів: ближні – до 1300км, середні – від 1300км і до 3600км, дальні – від 3600 км. Початкова точка виміру дистанції – Міжнародний аеропорт «Бориспіль» (як варіант). Авіарейси поділяються на 2 категорії: зі знижками, та без знижок.</p>
«Додавання до корзини»		<p>Детальна інформація про квиток. Існує три типи класів, які відрізняються між собою ціною: «Е» – економ, «М» – середній, «В» – бізнес.</p>
«Вибір адреси»		<p>Для придбання квитка, користувачу необхідно вибрати адресу. Якщо адреси немає, клієнту потрібно додати її, заповнивши такі поля, як: «ім'я», «прізвище», «країна», «місто», «вулиця» та «номер телефону». Після проходження валідації, адреса буде додана до списку. Користувач має можливість вибрати одну із списку адрес.</p>
«Пошук авіарейсів»		<p>Екран, де можна шукати всі доступні на даний момент авіаперельоти. Також є можливість голосового пошуку.</p>
«Екран користувача»		<p>Користувач може змінювати свій «аватар», переглядати всі покупки, останню покупку, всі створенні адреси, змінювати мову застосунку між англійською та українською, а також, якщо клієнт забув свій пароль, він може його відновити, натиснувши на відповідну кнопку та заповнивши поле для електронної адреси. Також є можливість виходу акаунту з програми.</p>

Для перевірки додатку на надійність, ефективність та швидкодію, було проведено необхідні розрахунки.

За один місяць використання застосунку було здійснено 225 операцій по купівлі квитків, серед яких 218 – успішних. Маючи ці дані, можна вирахувати показник ефективності системи за формулою:

Показник ефективності системи:

$$SE = \frac{N_o}{T_o} \times 100\%, \tag{1}$$

де: SE – System Efficiency;
 N_o – кількість успішних операцій;
 T_o – загальна кількість операцій.

$$SE = \frac{218}{225} \times 100\% = 96.8\% \tag{2}$$

Ефективність успішних операцій сягає майже 100 відсотків. Лише декілька транзакцій не завершилися успішно через помилку в програмному забезпеченні.

Як згадувалося вище, загальний час роботи додатку – 30 днів, серед яких 28 – безвідмовних. Вирахуємо надійність системи за формулою:

Показник надійності системи:

$$SR = \frac{U}{T} \times 100\%, \quad (3)$$

де: SR – System Reliability;

U – час безвідмовної роботи;

T – загальний час.

$$SR = \frac{28}{30} \times 100\% = 93.3\%. \quad (4)$$

Для визначення показника швидкодії системи потрібно знати середній час, який використовується для обробки системи відгуку. Він може бути різним: від завантаження детальної інформації про авіарейс (~0.5с) і до заповнення даних для бронювання квитка (~5с). Нехай середній час відгуку системи – 1.5с. За місяць функціонування додатку було здійснено 3868 запитів користувачів(запит на перегляд списку з авіарейсами, зміна картинки користувача, мови застосунку, додавання адреси і т.д.). Маючи ці дані, можна дізнатися показник швидкодії системи за формулою:

Показник швидкодії системи:

$$SRT = \frac{U_r}{S_r}, \quad (4)$$

де: SRT – System Response Time;

U_r – запити користувачів;

S_r – час відгуку системи.

$$SRT = \frac{3868}{1.5} \approx 2578 \times \text{зап/с} \quad (5)$$

Додаток «Aviation Assistant» може обробляти близько 2578 запитів за секунду, що є підтвердженням надійної роботи застосунку.

Отже, запропонований мобільний додаток «Aviation Assistant»:

- має високі показники ефективності, надійності та швидкодії системи;
- дозволить пасажиром зручно та швидко придбати авіаквитки без необхідності відвідувати агенства або сторінки в інтернеті через комп'ютер;
- завдяки додатку пасажир можуть швидко шукати та бронювати авіаквитки через заздалегідь відсортовані категорії авіаперельотів;

Додаток збирає дані про взаємодію пасажирів з клієнтом, такі як популярні маршрути та попит на певні класи авіаперельотів. Завдяки цьому, покращуються планування рейсів, розробляється маркетингова стратегія та підвищується ефективність авіапідприємства.

Висновки

Автоматизована система управління авіапідприємств є комплексним інструментом, що забезпечує ефективне функціонування підприємства та підвищує його конкурентоспроможність на ринку авіаційних послуг. Розроблено програмне забезпечення для мобільного додатку «Aviation Assistant» для автоматизації купівлі авіаквитків. Даний додаток дозволить пасажиром зручно та швидко бронювати та купувати авіаквитки через заздалегідь відсортовані категорії авіаперельотів. Додаток збирає дані про взаємодію пасажирів з клієнтом, такі як популярні маршрути та попит на певні класи авіаперельотів. Завдяки цьому, покращуються планування рейсів, розробляється маркетингова стратегія та підвищується ефективність авіапідприємства. Отримані дані розрахунку показників ефективності запропонованого застосунку (96.8% ефективності, 93.3% надійності та швидкодія складає майже 2578 запитів за секунду) вказують на його необхідність. Дана система сприятиме покращенню послуг аеропорту.

Список використаної літератури

1. Запорожець В., Шматко М. Аеропорт: організація, технологія, безпека. Київ: Дніпро, 2002. 168 с.
2. Кулаев Ю.Ф. Економіка цивільної авіації України: Монографія. Київ: Фенікс, 2004. 667 с.
3. Маліношевська К.І. Управління якістю обслуговування в аеропортах. URL: <https://www.econa.org.ua/index.php/econa/article/download/740/549>.
4. Сімкова. Т.О. Чинники забезпечення процесу управління якістю послуг аеропорту. URL: <https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/9751/1/Simkova.pdf>.

5. Siti Rosmaniza, Ab Rashid, Mahamod Ismail. Development of a Secured Database Access on Application Server. URL: https://www.researchgate.net/publication/266489198_Development_of_a_Secured_Database_Access_on_Application_Server#pf1 (дата звернення: 05.06.2023).
6. Regan Connor. PPC Investigative report: What are APIs. URL: <https://www.ppchero.com/what-an-api-is-and-how-it-can-enhance-ppc/>

References

1. Zaporozhets V., Shmatko M. (2002) *Aeroport: organizatsiya, tehnologiya, bezpeka* [Airport: organization, technology, safety]. Kyiv: Dnipro.
2. Kulaev Yu.F. (2004) *Ekonomika tsivilnoyi aviatsiyi Ukraini* [Economy of civil aviation in Ukraine] Kyiv: Feniks.
3. Malinoshevska K.I. (2015) Upravlinnya yakistyu obslugovuvannya v aeroportah [Maintenance management at airports], *Ekonomichnyy analiz [Economic analysis]*, 19(2), 6. Retrieved from <https://www.econa.org.ua/index.php/econa/article/download/740/549>.
4. Simkova. T.O. (2013) Chinniki zabezpechennya protsesu upravlinnya yakistyu poslug aeroportu [Factors of ensuring the quality management process of airport services] *Problemy pidvyshchennya efektyvnosti infrastruktury [Problems of improving infrastructure efficiency]*, 37, 7. Retrieved from <https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/9751/1/Simkova.pdf>.
5. Siti Rosmaniza, Ab Rashid, Mahamod Ismail. (2011) Development of a Secured Database Access on Application Server, *International Journal of Research and Reviews in Information Security and Privacy*, vol. 1, no. 3, pp 39–41. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/266489198_Development_of_a_Secured_Database_Access_on_Application_Server#pf1 ((accessed 5 June 2023).
6. Regan Connor.(2019) PPC Investigative report: What are APIs. *Paid Media Strategist at Brainlabs*. Retrieved from <https://www.ppchero.com/what-an-api-is-and-how-it-can-enhance-ppc/>

I. O. SUPRUNENKO

Postgraduate Student at the Department of Cybersecurity
at the Faculty of Information Technologies and Systems
Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0002-1188-4804

V. M. RUDNYTSKYI

Doctor of Engineering Science, Professor, Chief Researcher
State Scientific Research Institute of Armament
and Military Equipment Testing and Certification,
Professor at the Department of Cybersecurity
at the Faculty of Information Technologies and Systems
Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0003-3473-7433

COMPARISON OF MESSAGE PASSING SYSTEMS IN CONTEXT OF ADAPTIVE LOGGING METHOD

Computer software is an important part of technological progress. As it becomes more and more complex and sophisticated, so does the need to protect it. Apart from typical information security aspects of integrity, availability and confidentiality, the scale and complexity of modern computer systems require a high level of control and observability.

The main goal of this research is to build upon the foundations laid by the general idea of an adaptive logging method and introduce the next iteration of its design in the form of an appropriate message passing system to be used to propagate required changes to corresponding implementation in an effective and performant manner.

Four different message passing system models are introduced, based on different technologies such as RabbitMQ message broker, communication channels in PostgreSQL database management system, general web server architecture and Linux-based process signaling interface. For each of those an overview description and graphical model is presented.

Finally, the resulting comparison is conducted, comparing aspects such as reliance on third-party software, communication medium, error surface increase and authentication related considerations. As a result, the design based on process signaling approach is determined to be the most suitable for adaptive logging method, as it does not introduce any third-party software (and as such affects error surface in a somewhat negligible manner), binds directly to an observed application, is built using low level concepts that should be present in multiple different platforms and programming languages and should be able to reuse authentication logic that is already used when accessing computational machine where observed program is executed.

Key words: *information security, debugging, control, observability, adaptive logging method, message passing systems, message broker, notification channel, Linux signals.*

I. O. СУПРУНЕНКО

аспірант кафедри кібербезпеки
факультету інформаційних технологій і систем
Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-1188-4804

V. M. РУДНИЦЬКИЙ

доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння
та військової техніки,
професор кафедри кібербезпеки
факультету інформаційних технологій та систем
Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0003-3473-7433

ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ПОВІДОМЛЕНЬ В КОНТЕКСТІ МЕТОДУ АДАПТИВНОГО ЛОГУВАННЯ

Комп'ютерні технології складають важливу частину технологічного прогресу. З підвищенням їх складності, стає складніше забезпечувати належний рівень їх безпеки. Окрім типових аспектів інформаційної безпеки, а саме цілісності, доступності та конфіденційності, масштаб та складність сучасних комп'ютерних систем потребує високого рівня контролю та спостережності.

Мета цього дослідження полягає в тому, щоб використати основи закладені в загальну ідею методу адаптивного логування та представити наступну ітерацію його розвитку у вигляді відповідної системи обміну повідомленнями для передачі необхідних змін відповідній імплементації ефективно та з достатнім рівнем швидкодії.

В роботі представлено чотири різні моделі систем обміну повідомленнями, що базуються на різних технологіях: меседж брокер RabbitMQ, комунікаційні канали системи управління базою даних PostgreSQL, рішення на архітектурі типу веб-сервер та Linux-орієнтованого інтерфейсу передачі міжпроцесних сигналів. Для кожного з них представлено узагальнений опис та графічну модель.

Для фінального порівняння цих рішень використані такі аспекти, як: залежність від стороннього програмного забезпечення, механізм комунікації, збільшення поверхні для помилки, а також питання аутентифікації. В результаті найбільш відповідною до вимог методу адаптивного логування визначено модель, що базується на міжпроцесній взаємодії, оскільки вона не містить залежності від сторонніх бібліотек (а тому збільшенням поверхні для помилки можна знехтувати), напряду пов'язується із програмою, за якою ведеться спостереження, побудована з використанням низькорівневих механізмів що мають бути присутні в багатьох платформах та мовах програмування, а також має можливість використовувати вже існуючий механізм аутентифікації, що використовується для доступу до обчислювальної машини, де встановлена досліджувана програма.

Ключові слова: інформаційна безпека, debugging, контроль, спостережність, метод адаптивного логування, системи обміну повідомленнями, канал для нотифікацій, Linux сигнали.

Formulation of the problem

Information technologies play a huge part in everyday lives: from being able to read news online to managing multi server international financial transactions. And it is also growing constantly: according to “Digital 2023: Global Overview Report” [1] the number of people using mobile phones at the beginning of 2023 was estimated to be 5,44 billion (which is around 68% of total population) and the number of unique mobile users has increased by 168 million new users compared to previous year. Same can be stated about the Internet as one of the most widely used technologies in the world: the number of total Internet users in October 2022 was 5,07 billion, but as of January 2023 it was already around 5,16 billion.

But not only mobile and Internet technologies are affected, different other aspects of human lives become increasingly computerized. And in order to deal with such high demand, computer systems become more and more complex, grow to a scale never seen before and as a result – face new issues, threats and dangers. Those might be quite different, from algorithmic or communicational complexity to malicious actors seeking ways to compromise and harm other people. As such it is extremely important to have software operating with appropriate levels of information security, protecting users and their data. During COVID-19 pandemic it became evident that new challenges in the physical world require corresponding changes in technology and a prime example is the usage of virtual private network (VPN) technologies during initial outbreaks. As lots of people were forced to move to remote workspaces and work from home, it became critical to protect their communications amidst the growing number of cybercriminals trying to leverage pandemic and deal some serious damage. VPNs were used as a solution that would protect confidentiality of the exchange and the demand was so high, that some enterprises expanded from having 8000 daily users to 80000 relying on VPN every day [2].

But among all information security aspects, not only integrity, availability and confidentiality require taking appropriate protective measures and spending a sufficient amount of resources improving those, the same is also true for the aspect of control over the information system. It is typically expressed in a form of observability and it is equally important to know why things happen the way they do (in such huge complex systems like online banking applications), but also how can one tell whether system behaves as expected and if not – what is the fastest way to resolve the issue and restore required functionality. This research is focused on some aspects of observability in digital systems, with practical solutions described as a part of a more global software solution aimed to solve several control related drawbacks.

Analysis of recent research and publications

There exist different approaches aimed at bringing more control into software systems. One of those is called “software testing” and can be formally described as “the process of evaluating and verifying that a software product or application does what it’s supposed to do” [3]. Using this approach makes software products more predictable and reliable, aiding in tracking bugs and issues, but as it deals mainly with predefined setups and conditions, requires appropriate degree of design and planning. Even though the process of writing tests might be something that developers don’t exactly enjoy, Guilherme and Vincenzi [4] showed that it is possible to utilize software, such as ChatGPT, delegating the need of writing some simple testing cases to it. It should be noted that introducing new code, that in theory should make other code better, has some drawbacks. The study conducted by Peruma and Newman [5] showed that test files themselves might contain bugs, which in result affects software quality. Their result data showed that developers usually introduce fixes to functionality related files and testing related ones in separate commits, which is certainly a potential area of errors during development. Some of the test related issues can be solved using specific software, for example, “tsDetect” tool introduced by Peruma et al. [6], which detects possible issues in Java based test files with stated precision of 97%. Still not every issue can be accounted for using some automated solution. And as Ardic and Zaidman [7] conclude in their analysis of educational efforts related to testing, even though about a half of all analyzed curricula had a dedicated course about it,

there is still need for more knowledge in areas such as creating acceptance, security and performance oriented tests, which would require more expertise from developers.

In order to diagnose performance and runtime of a software system, a technique called monitoring is often used. Monitoring can be described as the task of assessing the health of a system and is accomplished by collecting predefined metrics during runtime execution of a software program, analyzing those afterwards [8]. It focuses on very general characteristics of a computer, such as central processing unit (CPU) utilization, memory usage, amount and throughput of disk operations, network traffic, etc. As a result, a wide variety of different software solutions can be monitored. Research conducted by Wang et al. [9] showed that it is possible to utilize natural language processing in order to run diagnostics and predict possible defects by extracting key data from the monitoring results. This can aid greatly in reducing human error and making routine tasks less irritating. Even areas as complex as Internet-of-Things are known to make use of monitoring and, as shown by Ma et al. [10], and complex software monitoring and early warning systems can be designed to keep track of system’s performance.

Presenting main material

Similar solution to monitoring using predefined metrics is software logging which can be seen as a process of describing program execution using small chunks of textual data called “logs”. Generally logging is implemented using “severity only” approach, where each chunk of data is coupled with a small string literal value describing so-called “severity” of a log invocation, which defines how critical this log message is (is it an error and requires immediate attention, or is it just some informational data and does not require urgent processing) [11]. An improvement of this approach is presented in [12] and is called “adaptive logging approach”. The formalization of it can be described using three main components. First part is an adaptive logging function (1) and its main distinctive feature is that it adds a third argument, which serves as a description-like primitive helping to identify particular log invocation:

$$f_{log\ adp} = f(S_{ev}, M, T_{incl}) \tag{1}$$

where S_{ev} – severity of current log invocation, M – message, T_{incl} – set of tags that describe current invocation.

The second component is method (2), that allows to both initialize and reinitialize current configuration for an adaptive logging method:

$$f_{init} = f(S_{ev}, C) \tag{2}$$

where S_{ev} – the lowest severity level runtime should report, C – special configuration object that maps tags to their corresponding action, include or exclude.

Finally, last component is a configuration object C (3) and it is basically what allows to compare and decide whether particular log invocation matches current logging setup:

$$C = T_{11}^{mod} \ \&\& \ T_{12}^{mod} \ \&\& \ \dots \ || \ T_{21}^{mod} \ \&\& \ T_{22}^{mod} \ \&\& \ \dots \ || \ \dots \tag{3}$$

where T_{ij} – particular tag, mod (modifier) – “include” or “exclude”, $\&\&$ – equivalent of logical “AND” operator, $||$ – equivalent of logical “OR” operator.

In order for this approach to become adaptive and flexible enough to match runtime requirements, that might change “on the fly”, any software solution utilizing adaptive logging method requires some sort of message passing mechanism. Several models describing typical setups with their corresponding message passing technology are described in this work and then comparison of those is conducted, outlining their advantages and drawbacks.

One typical solution to use when there is a need to exchange messages is a message broker, which is basically a piece of software that is responsible for receiving and delivering messages from producers to consumers. RabbitMQ [13] is an example of a message broker and it functions based on concepts such as producers, queues and consumers. Producer connects to a RabbitMQ instance and sends a message that is later forwarded to a consumer by the broker itself (Figure 1).

With this setup an external producer can initiate reconfiguration and all necessary parameters can come using payloads of the messages in the message broker’s queue.

A bit simpler (but still dependent on separate services) solution can be to utilize notification channel functionality of PostgreSQL object-relational database system [14]. It is similar to queues in RabbitMQ in that it also has concepts of producers and consumers, but it’s somewhat simpler. Basically, a database server acts as a centralized communication point, where all interested parties can subscribe to messages in a particular channel (using LISTEN clause) and anyone wanting to pass some information can use NOTIFY clause (with optional payload if needed) in order to pass it to all live subscribers. Compared to all the features that a typical message broker might have, like acknowledgment of message processing, retry logic if the consumer is busy, timeouts, etc. – PostgreSQL gives less functionality, but it should suffice for the needs of adaptive logging configuration override. Schematic model is presented in Figure 2.

While this looks similar to the model with message broker, main differences are that it’s more lightweight (as it lacks some functionality that RabbitMQ provides) and that it is a perfect fit for projects that already use this database system, as it does not require addition of new software to the codebase.

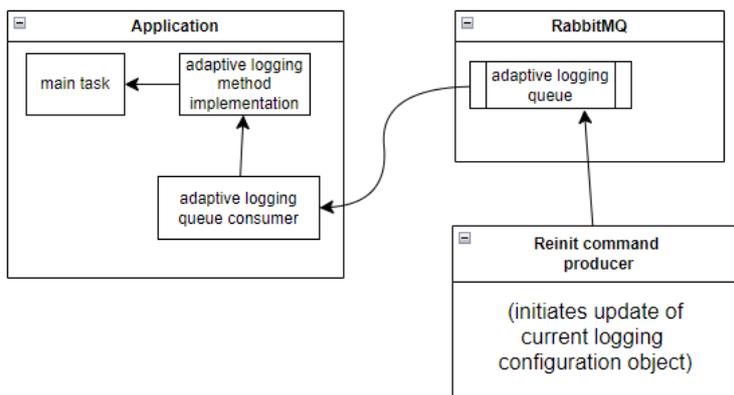


Fig. 1. Message passing model – RabbitMQ

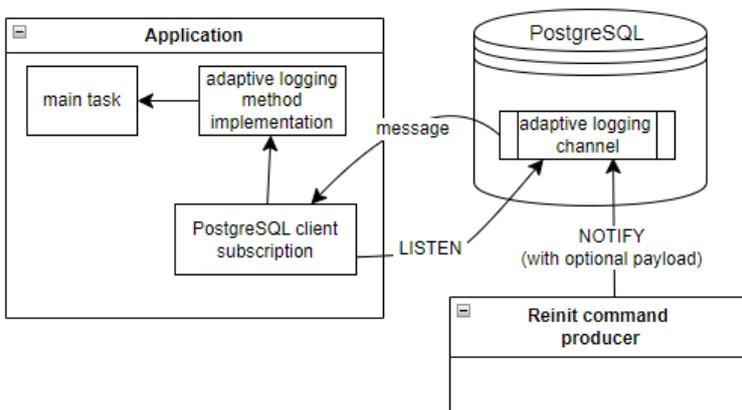


Fig. 2. Message passing model – PostgreSQL

Both models rely on some third party software to be implemented. This is fine if a project already relies on a required solution, but that would make the applicability of the adaptive logging method more limited than it should be. As the main requirement for propagation of reinitialization call is only to somehow trigger method (2) with new parameters, it is also possible to utilize a web server technology (those are pretty common in different programming languages and platforms) by subscribing to a particular web route in the same way as subscribing to queue or channel works. This design is much more flexible and portable, as it relies on a general concept rather than on a particular implementation. It is also more lightweight and as such, starting a small server is not as critical as with previous solutions. Figure 3 shows general scheme of this approach:

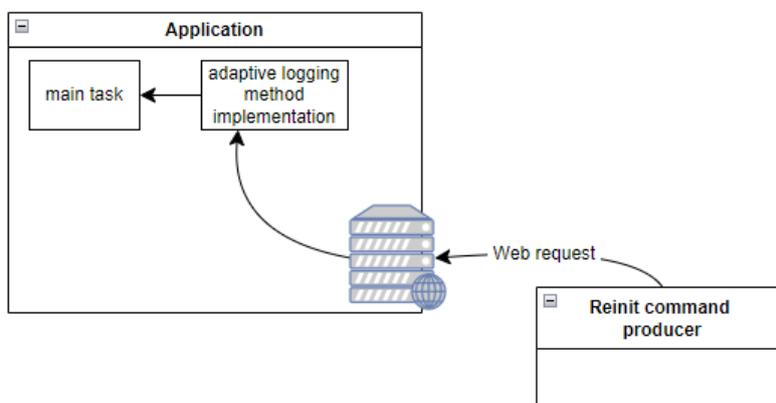


Fig. 3. Message passing model – Web server

Here the connection is more direct, going right to the application, which makes it more coupled than previous solutions, but that should not be a big problem as required communication is relatively limited and also client-server text-based information exchange is still pretty permissive.

For simplicity, the last model is described in terms of Linux-based systems with emphasis on process signaling mechanism [15]. In its very basic form, process signals function similarly to other message passing technologies presented previously, which means that it is possible to subscribe to some predefined signal and do some action after it occurs. Most of those signals are very specific and often have behavior connected to them by default (like with SIGTERM or SIGKILL). But there are also several mechanisms that can be used for user-defined signaling: real-time signals (defined by the macros SIGRTMIN and SIGRTMAX) and two user-defined signals (SIGUSR1 and SIGUSR2). Emitting these generally should not conflict with any default behaviors and gives a solution with lower overhead, compared to previous three, and decreased error surface as there is no third party dependency and no new components are introduced just to use a fraction of their capabilities. Figure 4 shows the corresponding model:

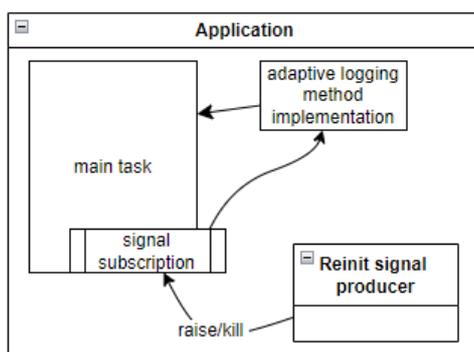


Fig. 4. Message passing model – process signals

Some important differences that should be emphasized right away are that with this setup reinitialization logic gets enclosed near the main task and there is no payload connected to a signal (but that can be solved differently).

With these four main models described, the comparison should focus on several important aspects, such as: reliance on third-party software, communication medium, authentication (this is a very important aspect as it is critical not to introduce any new vulnerabilities while adding capabilities aimed to help with debugging), error surface increase (whether proposed solution adds new potential “pain points” for developers to be aware of). Results of this comparison are presented in Table 1.

Table 1

	RabbitMQ	PostgreSQL	Web-server	Process signals
Reliance on third-party software	Yes	Yes	Maybe (some platforms and languages have built-in solutions)	No
Communication medium	Network	Network	Network	Local
Authentication	Provided by RabbitMQ	Provided by PostgreSQL	Has to be added manually	Shared with application
Error surface increase	Considerable (broker requires separate maintenance)	Considerable (RDBMS requires separate maintenance)	Minor (relatively small addition to existing codebase)	Negligible (works based on native mechanisms)

Conclusions

Software systems take a huge part in human lives and as they become more and more complex to satisfy corresponding needs, it is increasingly important to take care of aspects related to information security. As recent experience with COVID-19 shows, the demand for secure and protected products can increase very rapidly. And not only in terms of confidentiality, integrity and availability, but also with a high degree of control and observability. This work presented a further improvement of the “adaptive logging method” and demonstrated 4 possible solutions to the issue of effective and performant message passing process, based on message broker technology, capabilities of a PostgreSQL database management system, general web-server architecture and using process signaling approach in Linux-based systems.

The comparison of those 4 is then presented with emphasis on things such as reliance on third-party software, authentication considerations, required communication medium and increase of error surface. As a result, process signaling approach appears to be the most suited for the requirements of adaptive logging method: it does not introduce any new dependencies, functions based on local communication (completely eliminating network related issues), increase

in error surface is rather negligible as it uses native capability of an operating system and the authentication related concerns are handled using procedures that would already be in place and shared with the main application (such as establishing secure shell connection in order to configure application on a remote host). Given these advantages the number of applications that should be able to use adaptive logging should remain relatively high. One important limitation that should be mentioned is that process signaling does not give a developer a standard way to pass any payloads together with notification call, but as all of the communication is local by design this could be solved, for example, by reading from a local file.

As for further research, topics, such as developing a more complex logging behavior, that would allow to change log statement contents during program execution, and comparing the impact of general severity-based logging on program's execution flow and resource consumption with the one that is observed while using adaptive logging method, seem to have a lot of scientific potential.

Bibliography

1. Digital 2023: Global Overview Report – DataReportal – Global Digital Insights. URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report> (дата звернення: 20.04.2024).
2. Abhijith M. S., Senthilvadivu K. IMPACT OF VPN TECHNOLOGY ON IT INDUSTRY DURING COVID-19 PANDEMIC. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*. 2020. Vol. 5, Issue 5, P. 152–157. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2020.v05i05.027>.
3. What Is Software Testing? | IBM. URL: <https://www.ibm.com/topics/software-testing> (дата звернення: 20.04.2024).
4. Guilherme V., Vincenzi A. An initial investigation of ChatGPT unit test generation capability. In *Proceedings of the 8th Brazilian Symposium on Systematic and Automated Software Testing*. 2023. P. 15–24. <https://doi.org/10.1145/3624032.3624035>.
5. Peruma A., Newman C. D. On the Distribution of "Simple Stupid Bugs" in Unit Test Files: An Exploratory Study. *IEEE/ACM 18th International Conference on Mining Software Repositories (MSR)*, Madrid, Spain. 2021. P. 525–529. <https://doi.org/10.1109/MSR52588.2021.00067>.
6. Peruma A. et al. TsDetect: an open source test smells detection tool. In *Proceedings of the 28th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*. 2020. P. 1650–1654. <https://doi.org/10.1145/3368089.3417921>.
7. Ardic B., Zaidman A. Hey Teachers, Teach Those Kids Some Software Testing. *IEEE/ACM 5th International Workshop on Software Engineering Education for the Next Generation (SEENG)*, Melbourne, Australia. 2023. P. 9–16. <https://doi.org/10.1109/SEENG59157.2023.00007>.
8. Observability vs. monitoring: What's the difference? URL: <https://www.ibm.com/blog/observability-vs-monitoring/> (дата звернення: 20.04.2024).
9. Wang J., Liu B.J., He W., Xue J.K., Han X.Y. Research on computer application software monitoring data processing technology based on NLP. *The 10th International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*. 2021. Vol. 1043. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1043/3/032021>.
10. Ma H., Pljonkin A., Singh P.K. Design and implementation of Internet-of-Things software monitoring and early warning system based on nonlinear technology. *Nonlinear Engineering*. 2022. Vol. 11, no. 1. P. 355–363. <https://doi.org/10.1515/nleng-2022-0036>.
11. RFC 5424 – The Syslog Protocol. Gerhards, R. Adiscon GmbH, 2009.
12. Супруненко І.О., Рудницький В.М. Адаптивний підхід до логування як новий вимір спостережності за прикладним програмним забезпеченням. VII Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційна безпека та комп'ютерні технології”, м. Кропивницький, 1 листопада 2023. С. 45–46.
13. RabbitMQ tutorial – "Hello World!" | RabbitMQ. URL: <https://www.rabbitmq.com/tutorials/tutorial-one-javascript> (дата звернення: 21.04.2024).
14. PostgreSQL: Documentation: 16: 34.9. Asynchronous Notification. URL: <https://www.postgresql.org/docs/current/libpq-notify.html> (дата звернення: 21.04.2024).
15. Signal(7) – Linux manual page. URL: <https://man7.org/linux/man-pages/man7/signal.7.html> (дата звернення: 21.04.2024).

References

1. Digital 2023: Global Overview Report – DataReportal – Global Digital Insights. Retrieved from: <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report> (accessed 20.04.2024).
2. Abhijith M. S., Senthilvadivu K. (2020). IMPACT OF VPN TECHNOLOGY ON IT INDUSTRY DURING COVID-19 PANDEMIC. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, Vol. 5, Issue 5, pp. 152–157. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2020.v05i05.027>.

3. What Is Software Testing? | IBM. Retrieved from: <https://www.ibm.com/topics/software-testing> (accessed 20.04.2024).
4. Guilherme V., Vincenzi A. (2023). An initial investigation of ChatGPT unit test generation capability. In Proceedings of the 8th Brazilian Symposium on Systematic and Automated Software Testing (SAST '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 15–24. <https://doi.org/10.1145/3624032.3624035>.
5. Peruma A., Newman C. D. (2021). On the Distribution of "Simple Stupid Bugs" in Unit Test Files: An Exploratory Study. IEEE/ACM 18th International Conference on Mining Software Repositories (MSR), Madrid, Spain. P. 525–529. <https://doi.org/10.1109/MSR52588.2021.00067>.
6. Peruma A., Almalki K., Newman C. D., Mkaouer M. W., Ouni A., Palomba F. (2020). TsDetect: an open source test smells detection tool. In Proceedings of the 28th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering. P. 1650-1654. <https://doi.org/10.1145/3368089.3417921>.
7. Ardic B., Zaidman A. (2023). Hey Teachers, Teach Those Kids Some Software Testing. IEEE/ACM 5th International Workshop on Software Engineering Education for the Next Generation (SEENG), Melbourne, Australia. P. 9–16. <https://doi.org/10.1109/SEENG59157.2023.00007>.
8. Observability vs. monitoring: What's the difference? Retrieved from <https://www.ibm.com/blog/observability-vs-monitoring/> (accessed 20.04.2024).
9. Wang J., Liu B.J., He W., Xue J.K., Han X.Y. (2021). Research on computer application software monitoring data processing technology based on NLP. The 10th International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering. Vol. 1043. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1043/3/032021>.
10. Ma H., Pljonkin A., Singh P.K. (2022). Design and implementation of Internet-of-Things software monitoring and early warning system based on nonlinear technology. Nonlinear Engineering. Vol. 11, no. 1, P. 355–363. <https://doi.org/10.1515/nleng-2022-0036>.
11. Gerhards, R. (2009). RFC 5424 – The Syslog Protocol. Adiscon GmbH.
12. Suprunenko I., Rudnytskyi V. (2023). Adaptive logging method as a new observability dimension in software. Information security and computer technologies: materials of VII international scientific and practical conference, KNTU, pp. 45–46.
13. RabbitMQ tutorial – "Hello World!" | RabbitMQ. Retrieved from: <https://www.rabbitmq.com/tutorials/tutorial-one-javascript> (accessed 21.04.2024).
14. PostgreSQL: Documentation: 16: 34.9. Asynchronous Notification. Retrieved from: <https://www.postgresql.org/docs/current/libpq-notify.html> (accessed 21.04.2024).
15. Signal(7) – Linux manual page. Retrieved from: <https://man7.org/linux/man-pages/man7/signal.7.html> (accessed 21.04.2024).

Н. О. ФЕСЬОХА

доктор філософії,

старший викладач кафедри комп'ютерних інформаційних технологій

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

ORCID: 0000-0002-9797-5589

СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КІБЕРБЕЗПЕКИ В ЕПОХУ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ – АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАГРОЗ ТА ЗАХОДІВ ЗАХИСТУ

В статті наголошено, що кібератаки стають все більш поширеними і небезпечними в сучасному світі інформаційних технологій. Вони можуть призвести до серйозних наслідків для організацій та приватних осіб, включаючи крадіжку особистих даних, фінансові втрати, порушення конфіденційності, переривання бізнес-процесів і навіть загрозу національній безпеці. Щоб захиститися від кібератак, необхідно використовувати сучасні методи захисту та профілактичні заходи. Це включає в себе регулярне оновлення програмного забезпечення і антивірусних програм, навчання співробітників організацій безпеки інформації, використання багатофакторної аутентифікації і шифрування даних. Безпека інформації є ключовим питанням в сучасному світі, і важливо вживати всіх необхідних заходів для захисту себе і своєї організації від кіберзагроз.

Математичне забезпечення таких систем включає моделі процесів атаки на механізми захисту та блокування або усунення кіберзагроз. Описано модель для множин процесу захисту інформації з повним перекриттям загроз. Зроблено узагальнення про те, що система захисту інформації і кібербезпеки – це складний комплекс програмних, криптографічних, організаційних та інших засобів, методів і заходів призначених для захисту інформації та кібербезпеки.

Кібербезпека на державному рівні має спиратися на реалізацію функцій органів державної влади, які забезпечують національну кібербезпеку, впровадження стратегії, національної політики та сучасного ефективного інструментарію кіберзахисту. Зроблено висновок, що серед першочергових завдань, які стоять перед державними інститутами України в рамках забезпечення інформаційного та цифрового суверенітетів, є: здійснення автоматичного моніторингу свого інформаційного простору; впровадження законодавства про відповідальність за контент; впровадження законодавства, яке регулює фільтрацію інтернет-контенту; недопущення використання новітніх інформаційних технологій для поширення соціально шкідливих ідей і закликів.

Ключові слова: безпека, державна безпека, шифрування, інформаційна безпека, інформаційний захист, цифрова трансформація.

N. O. FESOKHA

PhD, Senior Lecturer at the Department of Computer Information Technologies

Krutyy Heroes Military Institute of Telecommunications

and Information Technology

ORCID: 0000-0002-9797-5589

THE STATE AND TRENDS OF CYBERSECURITY DEVELOPMENT IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION – ANALYSIS OF CURRENT THREATS AND PROTECTION MEASURES

The article emphasizes that cyberattacks are becoming increasingly widespread and dangerous in today's world of information technology. They can lead to serious consequences for organizations and individuals, including personal data theft, financial losses, confidentiality breaches, disruption of business processes, and even threats to national security. To protect against cyberattacks, it is necessary to use modern security methods and preventive measures. This includes regularly updating software and antivirus programs, training organizational staff in information security, using multi-factor authentication, and data encryption. Information security is a key issue in the modern world, and it is important to take all necessary measures to protect oneself and one's organization from cyber threats.

Mathematical support for such systems includes models of attack processes on defense mechanisms and blocking or eliminating cyber threats. A model for sets of information protection processes with complete threat coverage is described. It is generalized that the information security and cybersecurity system is a complex combination of software, cryptographic, organizational, and other means, methods, and measures designed to protect information and cybersecurity.

Cybersecurity at the state level should rely on the implementation of functions of state authorities responsible for national cybersecurity, the implementation of strategies, national policies, and modern effective cyber defense tools. It is concluded that among the priority tasks facing Ukrainian state institutions in ensuring information and digital sovereignty are: automatic monitoring of their information space; implementation of legislation on liability for content; implementation of legislation regulating internet content filtering; prevention of the use of advanced information technologies for the dissemination of socially harmful ideas and calls.

Key words: security, national security, encryption, information security, information protection, digital transformation.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день ІТ-ринок наповнений значною кількістю технологій, кожна з яких спрямована на покращення будь-якого аспекту роботи з інформаційними ресурсами, будь то зберігання, обробка або передача даних. Володіючи рядом серйозних переваг, дані тенденції представляють собою ще більший обсяг загроз і уразливостей. Вихід кожної наступної вдосконаленої версії продукту тягне за собою певні уразливості, які могли вже надаватися з первісною версією, а часто з'являються ще й додаткові уразливості. Це лише сприяє все більшому проникненню в корпоративні мережі, крадіжці інформації та інших негативних моментів. Існуюча значна кількість інформаційних джерел, легко доступних допоміжних програмних засобів сприяє збільшенню інтересу до чужої інформації, серверів, станцій, комп'ютерів. До основних загроз безпеки інформації та нормального функціонування ІС відносяться: витік конфіденційної інформації; компрометація інформації; несанкціоноване використання інформаційних ресурсів; помилкове використання інформаційних ресурсів; несанкціонований обмін інформацією між абонентами; відмова від інформації; порушення інформаційного обслуговування; незаконне використання привілеїв.

Швидкий розвиток інформаційних загроз в сучасному світі спонукав проведення різних систематичних досліджень, спрямованих на вивчення найбільш ефективних методів боротьби і запобігання загроз, трансляцію накопиченого досвіду в питаннях управління інформаційною безпекою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Важливості питань інформаційної безпеки нашої країни і формуванню механізму кібербезпеки приділяли увагу праці таких науковців, як Капітон А. [3], Капля О. М. [4], Мальцева І. Р. [6], Ткач Ю. [7]. Проте ці дослідження здебільшого зосереджені на сфері правового регулювання та формування системи інформаційної безпеки України.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає в аналізі стану та головних тенденцій розвитку кібербезпеки в епоху цифрової трансформації.

Викладення основного матеріалу дослідження

Перелік інформаційних загроз в наш час дуже широкий і їх список щодня розширюється. Сьогодні ці загрози можна поділити на дві основні групи: внутрішні і зовнішні.

Зовнішні загрози виходять з «зовнішнього світу» (звичай з мережі Інтернет), тоді як внутрішні загрози виходять з самої організації. Сьогодні також виділяють ще й деяку «проміжну» групу загроз, які пов'язані з роботою провайдерів послуг. Цими послугами користуються організації, і вони доповнюють її інформаційні ресурси.

Внутрішні загрози. Згідно даних Глобального дослідження тенденцій інформаційної безпеки помітна тенденція зростання внутрішніх загроз від колишніх співробітників компаній. При цьому, серед усіх джерел загроз найбільший приріст (58%), в порівнянні з попереднім роком, був відзначений у інцидентів, що пов'язані з колишніми постачальниками послуг і сервісів. Незважаючи на це необхідно відзначити, що помітна тенденція спаду кількості інцидентів інформаційної безпеки (ІБ) щодо діючих співробітників. Такий немаловажний факт, як витік інформації або її поширення з вини чинного співробітника досі актуальний і передбачається, залишиться таким, поки існує конкуренція і суперництво.

Причиною стрімкого зростання рівня внутрішніх загроз є швидке зростання кількості мобільних пристроїв і популярності хмарних обчислень, що істотно розширює горизонт атак. З появою принципово нових пристроїв і інфраструктур перед зловмисниками відкриваються нові можливості атак, що використовують непередбачені слабкі місця і погано захищені ресурси. Так само, повсюдний доступ з мобільних пристроїв до службової інформації компанії або до інформації, яка може зацікавити конкуруючу сторону, збільшує ризик її розкрадання [2].

Таким чином, компанії збільшуючи зростання безконтрольного застосування мобільних пристроїв для скорочення часу виконання завдань і функцій, збільшують імовірнісний відсоток навмисного розкрадання конфіденційних даних або атаки на внутрішні інформаційні ресурси.

Зовнішні загрози. На практиці зустрічаються різні типи шкідливого програмного забезпечення, використовуваного зловмисниками для отримання доступу до корпоративних мереж. Аналіз наукової літератури показав, що найчастіше зустрічається таке шкідливе програмне забезпечення (ПЗ): рекламне, шпигунське, програми небажаного перенаправлення, експлойти, що використовують iFrame, і програми фішингу [1].

Список ПЗ можна розглядати як програмні коди, що використовуються для отримання початкового доступу. Це найбільш економічні способи, що дозволяють з легкістю скомпрометувати великі обсяги користувачів. Існує багато різних типів кібератак, кожен з яких має свої унікальні характеристики та цілі. Деякі з найбільш поширених типів кібератак включають:

1. Віруси – це програми, які можуть заражати комп'ютери та інші пристрої, поширюватися через мережі та завдавати різних видів шкоди, таких як знищення даних, блокування роботи системи та навіть крадіжка конфіденційної інформації. На сьогоднішній день відомо більше 45000 вірусів, і їх число продовжує збільшуватися. Джерелами вірусної загрози є електронна пошта, переважна більшість вірусів проникає за допомогою послань через e-mail.

2. Черв'яки – це програми, які здатні поширюватися самостійно через мережі і заражати безліч комп'ютерів. Вони можуть завдати серйозної шкоди, блокуючи роботу системи та видаляючи файли [5].

3. Троянські коні – це програми, які можуть маскуватися під звичайні файли та заражати комп'ютери, надаючи зловмисникам віддалений доступ до пристрою та конфіденційної інформації.

4. Фішинг – це атака, яка призначена для отримання конфіденційної інформації, такої як паролі та номери кредитних карток, шляхом обману користувачів та надання їм неправдивої інформації.

5. DDoS-атаки – це атаки, які спрямовані на блокування роботи системи шляхом перевантаження її трафіком, що унеможливує доступ до ресурсу. Прикладом може бути атака на сайт компанії Twitter в 2016 році, коли ботнет Mirai перевантажив сайт і його сервіси [8].

6. Атаки на інфраструктуру – це атаки, спрямовані на руйнування фізичної інфраструктури, такої як електронні системи управління транспортом або електроживлення.

Крім того, існують і інші типи кібератак, такі як атаки на мобільні пристрої, атаки на хмарні сховища даних і багато інших. Важливо розуміти, що кожен тип кібератаки має свої унікальні методи та інструменти, і необхідно вжити відповідних заходів захисту, щоб запобігти їх проведенню та захистити свою систему та конфіденційну інформацію [9].

Експлуати JavaScript та шахрайство у Facebook (соціальна інженерія) виявилися найбільш використовуваними методами атаки. Не можна виключати і того факту, що до більшого ризику схильні компанії, що займаються фінансовою діяльністю, що оперують конфіденційними даними або ж надають різні інформаційно-комунікаційні послуги широкому колу користувачів мережі Інтернет. Зловмисники крадуть цінні дані або утримують під контролем цифрові активи користувачів заради викупу. Виходячи з усього, при відстеженні шкідливого ПЗ з Інтернету, недостатньо просто зосереджуватися на найбільш поширених типах загроз, необхідно розглядати повний спектр атак при організації захисту інформаційних ресурсів і проведення оцінки ефективності її роботи по закінченню заданого періоду часу роботи [3].

Метою визначення загроз безпеці інформації є встановлення того, чи існує можливість порушення конфіденційності, цілісності або доступності інформації, що міститься в інформаційній системі, і чи призведе це порушення хоча б однієї із зазначених властивостей безпеки інформації до настання неприйнятних негативних наслідків для володаря інформації або оператора, а в разі обробки персональних даних і для суб'єктів персональних даних.

Визначення загроз безпеці інформації повинно носити систематичний характер і здійснюватися як на етапі створення інформаційної системи та формування вимог щодо її захисту, так і в ході експлуатації інформаційної системи. Систематичний підхід до визначення загроз безпеці інформації необхідний для того, щоб визначити потреби в конкретних вимогах до захисту інформації та створити адекватну ефективну систему захисту інформації в інформаційній системі. Заходи захисту інформації, що вживаються власником інформації і оператором, повинні забезпечувати ефективне і своєчасне виявлення і блокування (нейтралізацію) загроз безпеки інформації, в результаті реалізації яких можливе настання неприйнятних негативних наслідків (збитку).

Проаналізуємо особливості математичного аналізу кіберзагроз. Нехай на інформаційну систему (ІС) в довільний момент часу t_i впливає і загроза. В результаті такого впливу ІС переходить із стану S_0 в стан S_i .

Нехай в момент часу $t < t_0$ ІС перебувала в стаціонарному стані попередньому впливу і загрози. Такий стан характеризує передісторію процесу-минулий стан ІС до моменту часу t_0 . У момент часу t_0 на ІС впливає і загроза, в результаті якої ІС за час $t_1 = t_0 + \tau$ переходить із стану S_0 – о в стан $S_{1..e}$. Якщо такий процес відповідає випадковому процесу, то можна передбачити такий перехід, враховуючи тільки даний стан ІС- S_0 і, забувши про її передісторію. Сам стан S_0 залежить від минулого, але як тільки він буде досягнутим, про минулий стан можна забути.

Отже, випадковий процес стосовно ІС називається Марковським, якщо для будь-якого моменту часу t_0 імовірнісні характеристики ІС в майбутньому залежать тільки від її стану в даний момент t_0 і не залежать від того, коли і як ІС прийшла в цей стан.

Постановка задачі. Нехай на ІС за кінцевий час τ впливає n найпростіших потоків загроз з інтенсивностями λ_i , $i = 1, n$. Нехай μ_i – інтенсивність парирування наслідків і загрози. Відповідно, R – ймовірність виявлення, а R_i – ймовірність не виявлення і загрози. Тоді, $\mu_i * R$ – інтенсивність парирування, а $\mu_i * R_i$ – інтенсивність не парирування наслідків впливу на ІС потоку загроз.

Припущення: потік виявлення і не виявлення загрози найпростіший; можливості по виявленню наслідків впливу на ІС і загрози необмежені, тобто $\mu_i \geq \lambda_i$; так як розглядаються найпростіші потоки, то поява одночасно двох і більше загроз є неможливою подією.

Для визначення ймовірності позитивного результату при впливі на ІС потоку N загроз представимо ІС у вигляді графа (рис. 1). Відповідно до рис. 1 можна скласти матрицю інтенсивностей переходу виду.

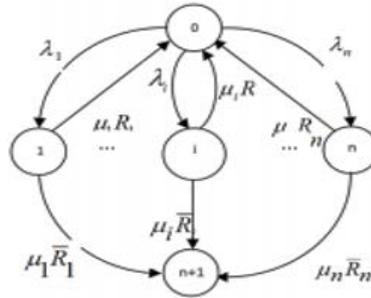


Рис. 1. Граф стану ІС

$$\|\lambda_{ik}\| = \begin{pmatrix} -\lambda_0 & \dots & \lambda_1 & \dots & \lambda_n & 0 \\ \mu_1 \cdot R_1 & \dots & -\mu_1 & \dots & 0 & \mu_1 R_i \\ \mu_n \cdot R_n & \dots & 0 & \dots & -\mu_n & \mu_n \cdot \bar{R}_n \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots 0 \end{pmatrix}, \tag{1}$$

де $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$; $j = k=1,2,\dots,n + 2$.

Відповідно до рис. 1 ІС в момент часу τ може перебувати в одному з наступних станів:

стан «0» – потік загроз за час τ не проявився;

стан «1»,..., i ,..., n – одна із загроз проявилася;

стан «n-1» – неблагополучний поглинаючий стан, при якому загроза реалізувалася.

Матриця володіє наступними властивостями: діагональні члени матриці рівні сумі інших елементів даного рядка, взятих із зворотним знаком; сума всіх елементів кожного рядка дорівнює нулю; число нульових рядків в матриці інтенсивностей переходів відповідає кількості поглинаючих станів; інтенсивність переходу дорівнює нулю при відсутності стрілки.

Для визначення ймовірностей переходу ІС в кожен можливий стан скористаємося системою диференціальних рівнянь, відповідно до яких можна написати:

$$\frac{dP_0(\tau)}{d\tau} = -P_0(\tau) \sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{i=1}^n \mu_i R_i P_i(\tau); \tag{2}$$

$$\frac{dP_i(\tau)}{d\tau} = \lambda_i P_0(\tau) - \mu_i P_i(\tau); \tag{3}$$

$$\frac{dP_{n+1}(\tau)}{d\tau} = \sum_{i=1}^n \mu_i \bar{R}_i P_i(\tau). \tag{4}$$

Застосовуючи до системи диференціальних рівнянь пряме перетворення Лапласа з урахуванням вихідних даних $P_0(0) = 1, P_i(0) = P_{n+1}(0) = 0$ і з урахуванням того, що $\int_0^\infty P_i(\tau) e^{-St} d\tau = -P_i(0) + SP_j(S)$, отримаємо наступні вирази для визначення ймовірностей відповідно до графу станів:

$$-P_0(0) + SP_0(S) = -\lambda_0 P_0(S) + \sum_{i=1}^n \mu_i R_i P_i(S); \tag{5}$$

$$-P_i(0) + SP_i(S) = \lambda_i P_0(S) - \mu_i P_i(S); \tag{6}$$

$$-P_{n+1}(0) + SP_{n+1}(S) = \sum_{i=1}^n \mu_i \bar{R}_i P_i(S). \tag{7}$$

Де $P_i(S) = \int_0^\infty P_i(\tau) e^{-St} d\tau$ – шукане зображення.

При початкових умовах система рівнянь набуде вигляду:

$$(S + \lambda_0)P_0(S) = \sum_{i=1}^n \mu_i R_i P_i(S) = 1; \tag{8}$$

$$-\lambda_i P_0(S) + (S + \mu_i)P_i(S) = 0; \tag{9}$$

$$-\sum_{i=1}^n \mu_i R_i P_i(S) + SP_{n+1}(S) = 0. \tag{10}$$

За правилом Крамера шукані зображення визначаються відношенням:

$$P_j(S) = \frac{\Delta_j(S)}{\Delta(S)}, j = 1, n. \tag{11}$$

Де $\Delta(S) = S[(S + \lambda_0) \prod_{i=1}^n (S + \mu_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i R_i \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)]$ – головний визначник системи;

$\Delta_j(S)$ – приватний визначник системи, знаходиться з головного визначника шляхом заміни j -го стовпця коефіцієнтами, що стоять в правих частинах рівнянь.

Окремі визначники, отримані за допомогою введення визначників по індукції, будуть рівні:

$$\Delta_0(S) = S \prod_{i=1}^n (S + \mu_i) \tag{13}$$

$$\Delta_i(S) = S \lambda_0 \prod_{i=1}^n (S + \mu_i) \tag{14}$$

$$\Delta_{n+1}(S) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i R_i \prod_{i=1}^n (S + \mu_i). \tag{15}$$

З урахуванням зазначеного і за умови, що $\rho_i(S) = \frac{\Delta_i(S)}{S}$, $\rho(S) = \frac{\Delta(S)}{S}$ система рівнянь набуде вигляду:

$$P_0(S) = \frac{q_0(S)}{\rho(S)} = \frac{\Delta_0(S)S}{S\Delta(S)} = \frac{\Delta_0(S)}{\Delta(S)} \tag{16}$$

$$P_i(S) = \frac{q_i(S)}{\rho(S)} = \frac{\Delta_i(S)S}{S\Delta(S)} = \frac{\Delta_i(S)}{\Delta(S)} \tag{17}$$

$$P_{n+1}(S) = \frac{q_{n+1}(S)}{\rho(S)} = \frac{\Delta_{n+1}(S)S}{S\Delta(S)} = \frac{\Delta_{n+1}(S)}{\Delta(S)} \tag{18}$$

Остаточно робоча формула буде мати такий вигляд:

$$P_0(S) = \frac{\prod_{i=1}^n (S + \mu_i)}{[(S + \lambda_0) \prod_{i=1}^n (S + \mu_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i R_i \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)]} \tag{19}$$

$$P_i(S) = \frac{\lambda_0 \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)}{[(S + \lambda_0) \prod_{i=1}^n (S + \mu_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i R_i \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)]} \tag{20}$$

$$P_{n+1}(S) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i R_i \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)}{[(S + \lambda_0) \prod_{i=1}^n (S + \mu_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i R_i \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)]} \tag{21}$$

Тоді впливає, що ймовірність благополучного результату від впливу на ІС n незалежних потоків внутрішніх загроз визначається наступним виразом: $P_{БІ}(\tau) = \sum_{i=1}^n P_i(\tau)$, а ймовірність протилежної події, тобто неблагополучного результату, буде дорівнює $P_{\bar{БІ}}(\tau) = 1 - \sum_{i=1}^n P_i(\tau) = P_{n+1}(\tau)$.

Окремий випадок: інтенсивність парирування i -го потоку загрози μ_i дорівнює інтенсивності впливу i -го потоку загрози λ_i . Нехай $\mu_i = \lambda_i$, тобто інтенсивність парирування наслідків i -го потоку загроз дорівнює інтенсивності i -го потоку загроз. Тоді зображення ймовірностей можна представити наступним чином:

$$P_0(S) = \frac{\prod_{i=1}^n (S + \mu_i)}{[(S + \lambda_0) \prod_{i=1}^n (S + \mu_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i^2 \mu_i R_i \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)]} \tag{22}$$

$$P_i(S) = \frac{\lambda_0 \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)}{[(S + \lambda_0) \prod_{i=1}^n (S + \mu_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i^2 \mu_i R_i \prod_{i=1}^n (S + \mu_i)]} \tag{23}$$

$$P_{n+1}(S) = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{R}_i P_i(S) \tag{24}$$

Функції $q_i(S)$ і $c_i(S)$ можуть бути представлені у вигляді поліномів з коефіцієнтами b_i і c_i , а саме:

$$q_0(S) = S^n + b_{n-1}S^{n-1} + \dots + b_1S + b_0 \tag{25}$$

$$q_i(S) = S^{n-1} + b_{n-2}S^{n-2} + \dots + b_1S + b_0 \tag{26}$$

$$\rho(S) = S^{n+1} + c_nS^n + \dots + c_1S + c_0 \tag{27}$$

З виразу випливає, що зображення ймовірностей $P_j(S)$ є правильними раціональними дробами, у яких ступеня поліномів чисельників чисельно менше поліномів знаменників.

Тоді застосовуючи табличне перетворення Лапласа, отримаємо наступний вираз для характеристичних оргіналів шуканих ймовірностей:

$$G^{-1}(P_j(S)) = \begin{cases} \sum_{k=1}^{\omega} \frac{1}{\rho_j'(s_k)} e^{s_k \tau}, \text{ если } P_j(S) = \frac{a}{\rho_i(S)}; \\ \sum_{k=1}^{\omega} \frac{q_j(s_k)}{\rho_j'(s_k)} e^{s_k \tau}, \text{ если } P_j(S) = \frac{q_i(S)}{\rho_i(S)}; \\ a \left[\frac{1}{\rho(0)} + \sum_{k=1}^{\omega} \frac{1}{s_k \rho_j'(s_k)} e^{s_k \tau} \right], \text{ если } P_j(S) = \frac{a}{s \rho_i(S)}. \end{cases} \tag{28}$$

Де ω – кількість коренів i -го характеристичного рівняння.

Тоді з урахуванням нормованої умови $\sum_{i=1}^n P_i = 1$, де p_i – ймовірність знаходження ІС в i -му стані, можна записати, що кінцева ймовірність:

$$P_{\text{БІ}}(\tau) = \sum_{i=1}^n P_j(\tau), \quad (29)$$

характеризує благополучний і неблагополучний результат.

$$Q_{\text{БІ}}(\tau) = 1 - \sum_{i=1}^n P_i(\tau) = P_{n+1}(\tau). \quad (30)$$

Таким чином, одним з основних методів захисту від кібератак є використання комплексних систем безпеки, які включають в себе антивірусне ПЗ, міжмережеві екрани, системи виявлення вторгнень і багато інших технологій.

В цілому, ефективний захист від кібератак вимагає комплексного підходу, який включає в себе використання різних технологій, навчання користувачів і підтримку спеціальних служб. Тільки так можна досягти високого рівня безпеки і захистити інформацію від кіберзагроз.

Деякі приклади сучасних методів захисту від кібератак включають:

багатофакторна автентифікація – це метод, який вимагає від користувача кількох форм автентифікації, таких як пароль та код, що надісланий на мобільний телефон або електронну пошту. Це ускладнює для зловмисників доступ до системи;

криптографія – шифрування даних може допомогти захистити конфіденційність інформації. Криптографічні алгоритми використовуються для захисту даних у дорозі та в сховищі;

файрволи – це програмні або апаратні пристрої, які моніторять і фільтрують вхідний і вихідний трафік в комп'ютерній мережі. Файрволи можуть бути налаштовані для блокування доступу до певних сайтів або додатків;

оновлення безпеки: оновлення програмного забезпечення, такі як патчі безпеки, можуть закривати вразливості, які можуть бути використані зловмисниками. Оновлення слід встановлювати якомога швидше після їх випуску;

моніторинг безпеки – це процес безперервного моніторингу мережі та систем на наявність можливих загроз. Можна використовувати спеціалізовані програми і пристрої, щоб відстежувати активність в мережі і виявляти підозрілу діяльність.

Висновки

Проаналізовано стан та перелічено головні тенденції розвитку кібербезпеки в епоху цифрової трансформації. Констатовано, що серед першочергових завдань, які стоять перед державними інститутами України в рамках забезпечення інформаційного та цифрового суверенітетів, є: здійснення автоматичного моніторингу свого інформаційного простору; впровадження законодавства про відповідальність за контент; впровадження законодавства, яке регулює фільтрацію інтернет-контенту; недопущення використання новітніх інформаційних технологій для поширення соціально шкідливих ідей і закликів (расизму, шовінізму, радикального націоналізму); правовий захист національної культури і мови від впливу домінуючих в інформаційному плані країн; знаходження соціально прийнятної балансу між свободою слова і поширенням інформації та невід'ємним правом держави забезпечувати незалежну політику; захист від культурної експансії зарубіжних інтернет-ресурсів; перехід державних установ на використання програмного та технічного забезпечення власної розробки і виробництва.

Список використаної літератури

1. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 18 березня 2022 року «Щодо реалізації єдиної інформаційної політики в умовах воєнного стану»: Указ Президента України від 19 березня 2022 року № 152/2022 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/152/2022>. Дата звернення: 26.03.2024.
2. Дрозд І., Маковець О. Кібербезпека як фактор фінансової безпеки підприємства. *Економіка. Фінанси. Право*. 2020. № 5/3, С. 31–35.
3. Капітон А. Перспективи розвитку кіберпростору та його соціально-психологічні наслідки. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. Полтава: ПНТУ, 2021. Т. 3 (65). С. 89–91. doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.089>.
4. Капля О. М. Правове регулювання інформаційної безпеки громадянина під час дії воєнного стану. *Експерт: парадигми юридичних наук і державного управління*. 2023. № 6 (24). С. 16–20. doi: [https://doi.org/10.32689/2617-9660-2022-6\(24\)-16-20](https://doi.org/10.32689/2617-9660-2022-6(24)-16-20).
5. Легомінова С., Гайдур Г. Аналіз сучасних загроз інформаційній безпеці організацій та формування інформаційної платформи протидії їм. *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2023. № 2(22), С. 54–67. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.22.5467>.
6. Мальцева І. Р. Аналіз деяких кіберзагроз в умовах війни. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2022. № 4 (16). С. 37–43. doi: [10.28925 / 2663–4023.2022.16.3744](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.16.3744).

7. Ткач Ю. Концептуальна модель безпеки кіберпростору. *Технічні науки та технології*. 2021. № 4 (22). С. 96–108. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4\(22\)-96-108](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4(22)-96-108).

8. Khlaponin Y., Kozubtsova, L., Kozubtsov, I., Shtonda, R. Функції системи захисту інформації і кібербезпеки критичної інформаційної інфраструктури. *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2022. № 3(15), С. 124–134. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.15.1241341>.

9. Onyshchenko S., Hlushko A. Аналітичний вимір кібербезпеки України в умовах зростання викликів та загроз. *Науковий журнал «Економіка і регіон»*, 2022. № 1(84), С. 13–20. [https://doi.org/https://doi.org/10.26906/EiR.2022.1\(84\).2540](https://doi.org/https://doi.org/10.26906/EiR.2022.1(84).2540).

References

1. Pro rishennja Rady nacionalnoji bezpeky i oborony Ukrainy vid 18 bereznja 2022 roku «Shhodo realizaciji jedynoji informacijnoji polityky v umovakh vojennoho stanu»: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 19 bereznja 2022 roku # 152/2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/152/2022>. Data zvernennja: 26.03.2024.

2. Drozd, I., Makovec, O. (2020). Kiberbezpeka jak faktor finansovoji bezpeky pidprijemstva. *Ekonomika. Finansy. Pravo*. 5/3, 31–35.

3. Kapiton, A. (2021). Perspektyvy rozvytku kiberprostoru ta jogho socialjno-psykhologhichni naslidky. Systemy upravlinnja, navigacijy ta zv'jazku. *Zbirnyk naukovykh pracj*. Poltava: PNTU, T. 3 (65). 89–91. doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.089>.

4. Kaplja, O. M. (2023). Pravove rehuljuvannja informacijnoji bezpeky ghromadjanyna pid chas diji vojennoho stanu. *Ekspert: paradyghmy jurydychnykh nauk i derzhavnogho upravlinnja*. 6 (24). 16–20. doi: [https://doi.org/10.32689/2617-9660-2022-6\(24\)-16-20](https://doi.org/10.32689/2617-9660-2022-6(24)-16-20).

5. Leghominova, S., Ghajdur, Gh. (2023). Analiz suchasnykh zagroz informacijnij bezpeci orghanizacij ta formuvannja informacijnoji platformy protydiji jim. *Elektronne fakhove naukove vydannja «Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika»*, 2(22), 54–67. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.22.5467>.

6. Maljceva, I. R. (2022). Analiz dejakykh kiberzagroz v umovakh vijny. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika*. (16). 37–43. doi: [10.28925/2663-4023.2022.16.3744](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.16.3744).

7. Tkach, Ju. (2021). Konceptualjna modelj bezpeky kiberprostoru. *Tekhnichni nauky ta tekhnologhiji*. 4 (22). 96–108. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4\(22\)-96-108](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4(22)-96-108).

8. Khlaponin, Y., Kozubtsova, L., Kozubtsov, I., Shtonda, R. (2022). Funkciji systemy zakhystu informaciji i kiberbezpeky krytychnoji informacijnoji infrastruktury. *Elektronne fakhove naukove vydannja «Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika»*, 3(15), 124–134. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.15.1241341>.

9. Onyshchenko, S., Hlushko, A. (2022). Analitychnyj vymir kiberbezpeky Ukrainy v umovakh zrostannja vyklykiv ta zagroz. *Naukovyj zhurnal «Ekonomika i rehion»*, 1(84), 13–20. [https://doi.org/https://doi.org/10.26906/EiR.2022.1\(84\).2540](https://doi.org/https://doi.org/10.26906/EiR.2022.1(84).2540).

О. Ю. ЧАПЛЯ

Postgraduate Student at the Department of Specialized Computer Systems
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0009-0005-9298-3538

Н. І. КЛЫМ

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Specialized Computer Systems
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0001-9927-0649

MICROSERVICE ARCHITECTURE FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Cyber-Physical Systems connect the physical and digital worlds. They are composed of hardware connected to the physical world, software, and potentially other types of systems. They are utilized across various industries, including robotics, healthcare, smart cities, automotive, industry, and space. These systems are very complex to design and implement. Cloud computing technologies provide an excellent environment for the Cyber-Physical Systems software and tools for maintaining and scaling the infrastructure. One of the main challenges is how to design cloud systems properly for Cyber-Physical Systems. Currently, microservice architecture is broadly used for software in the cloud. At its core, Microservices provide flexibility, availability, scalability, and independence of modules, as well as agile development and deployment processes. These advantages are well-aligned with the needs of Cyber-Physical Systems.

However, many challenges still exist in implementing a microservice architecture for Cyber-Physical Systems. The challenges include complex distributed system networking, real-time data processing, microservice software architecture, microservice availability, and reliability of the system components. This paper provides a study whose primary goal is to give the main microservice architectural principles and patterns used, summarize the advantages and challenges, and improve the knowledge of the microservice architecture used for Cyber-Physical Systems. At first, a literature review of modern research papers was conducted. Then, each paper was analyzed. A summary of all selected research papers was produced. The results and conclusion sections deliver the summaries and give future research directions.

Key words: cloud computing, cyber-physical systems, Industry 4.0, Internet of Things, microservices.

О. Ю. ЧАПЛЯ

аспірант кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0009-0005-9298-3538

Г. І. КЛИМ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0000-0001-9927-0649

МІКРОСЕРВІСНА АРХІТЕКТУРА ДЛЯ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

Кіберфізичні системи з'єднують фізичний і цифровий світи. Вони складаються з апаратного забезпечення, пов'язаного з фізичним світом, програмного забезпечення та, можливо, інших типів систем. Вони використовуються в різних галузях, включаючи робототехніку, охорону здоров'я, розумні міста, автомобілебудування, промисловість і космос. Ці системи дуже складні в проектуванні та реалізації. Технології хмарних обчислень забезпечують чудове середовище для програмного забезпечення та інструментів кіберфізичних систем для підтримки та масштабування інфраструктури. Одна з головних проблем полягає в тому, як правильно проектувати хмарні системи для кіберфізичних систем. В даний час мікросервісна архітектура широко використовується для програмного забезпечення в хмарі. За своєю суттю мікросервіси забезпечують гнучкість, доступність, масштабованість і незалежність модулів, а також гнучкі процеси розробки та розгортання. Ці переваги добре узгоджуються з потребами кіберфізичних систем.

Однак все ще існує багато проблем у впровадженні мікросервісної архітектури для кіберфізичних систем. Виклики включають складну розподілену мережу системи, обробку даних у реальному часі, мікросервісну архітектуру програмного забезпечення, доступність мікросервісів та надійність компонентів системи. У цій статті представлено дослідження, основною метою якого є наведення основних принципів та шаблонів проектування мікросервісної архітектури, що використовуються, узагальнення переваг та проблем, а також покращення знань про мікросервісну архітектуру, що використовується для кіберфізичних систем. Спочатку був проведений

огляд літератури сучасних наукових робіт. Потім була проаналізована кожна робота. Підготовлено резюме всіх вибраних наукових робіт. Розділи з результатами та висновками містять підсумки та дають подальші напрямки досліджень.

Ключові слова: хмарні обчислення, кіберфізичні системи, індустрія 4.0, інтернет речей, мікросервіси.

Introduction

Combining digital technologies with physical processes has created a complex and dynamic domain called cyber-physical systems (CPS) [1]. These systems bring together computation, networking, and physical processes. Within these systems, embedded computers, networks, and cloud computing systems monitor and control the physical processes [1]. Feedback loops enable the physical processes to impact computations and vice versa [1]. CPS includes industries such as autonomous vehicles, healthcare, robotics, industrial automation, green technologies, smart cities, and space technology [1]. Cyber-physical Systems often operate on a scale that demands dynamic resource allocation and reallocation [1].

Cyber-physical systems (CPS) have been extensively researched, focusing on integrating physical and computational processes [1]. However, the combination and use of Microservice Architecture (MSA) for CPS is still being explored [2]. While CPS is significantly explored in the context of embedded devices, physical processes, real-time data processing, and system responsiveness, these insights have not been fully applied to the development and optimization of MSA [2].

Cyber-physical systems (CPS) and Microservice Architecture (MSA) share similar architectural pros and challenges. MSA decomposes applications into more minor, independent services [2][3]. Each service can be developed, deployed, and scaled independently [2][3]. By aligning the principles of CPS and MSA, industries can leverage each other's strengths to develop more efficient systems [1][2]. It's a paradigm shift that promises to effectively address the challenges of building complex, scalable, and adaptable software systems [4]. Adopting DevOps practices is also crucial in microservices and is very usable for building CPS [6]. DevOps practices enable rapid development and deployment cycles, allowing for swift adaptation without extensive downtime or overhauling the entire system [6]. Testing CPS in another exciting direction that provides better validation of the results [7].

Existing MSA architectures, design patterns, and technologies evolve from the design and development of cloud systems, for example, for banking, finance, healthcare, streaming, automotive, and entertainment [2; 3]. However, CPS provides an additional layer of complexity, real-time or near-real time processing, big data, and chaotic physical processes [1]. More analysis, testing, and validation are necessary to adapt the microservice architecture for CPS [2].

This paper aims to analyze modern approaches to microservice architecture that are applied to CPS systems to find challenges, drawbacks, and places for improvements. This paper reviews research papers about CPSs that use microservice architecture. Then, challenges, drawbacks, pros, and cons are defined. A summary is presented based on the microservice architecture analysis of different papers. The summary is the basis for the further study of the microservice patterns and approaches used in CPS systems. After analyzing the results, a plan for further improvements is defined.

Research questions

This chapter outlines the key research questions for this study on Microservice Architecture (MSA) in Cyber-Physical Systems (CPS). The paper delves into the present conditions, challenges, uses, and future possibilities of MSA in CPS, focusing on microservices' design patterns and qualities. A literature search and review provide a foundation for this research. The first research question answers what microservice resilience, reliability, and availability architectural patterns are used in Cyber-Physical Systems (RQ1). The second research question addresses the gaps, challenges, and drawbacks of the presented microservice architectures for CPS by completing a thorough analysis of the selected papers (RQ2). The final result of this paper is a summary of reviewed research papers, as well as defined patterns and drawbacks of MSA for CPS.

Materials and methods

This research paper was conducted to answer the research questions related to integrating Microservice Architecture (MSA) within Cyber-Physical Systems (CPS). The research questions were formulated to provide a structured and comprehensive approach to understanding MSA's current landscape, challenges, applications, and prospects in the context of CPS.

The literature search used electronic databases, including Google Scholar, ACM Digital Library IEEE Xplore, ScienceDirect, and Springer Link. Only available and open-access research papers are selected for this research. The search was limited to articles published between 2022 and 2024 and only included articles in English.

The inclusion criteria for the articles were that they should be peer-reviewed, provide relevant insights into the research questions, and be published in high-quality academic journals or conference proceedings. The exclusion criteria were articles irrelevant to the research questions, articles not peer-reviewed, or articles not published in high-quality academic journals or conference proceedings.

Exclusion criteria were defined to ensure a finite number of results. Excluded items are short papers with less than four pages, papers without available full-text, papers not published in English, published before 2022, not peer-reviewed, and duplicated papers.

The articles that met the criteria were reviewed, and the relevant information was extracted. The extracted data was then analyzed and synthesized to answer the research questions.

The data analysis was conducted using a thematic analysis approach. The extracted information was grouped based on the research questions and analyzed to identify key themes and patterns.

The results of the data analysis were presented in a narrative format, with each research question addressed in a separate section. The literature review also included a discussion of the study’s limitations and the implications for future research.

Overall, this literature review research paper provides valuable insights into the current state, challenges, applications, and prospects of Microservice Architecture in the context of Cyber-Physical Systems.

The search terms used are: “Cyber-Physical Systems,” “Microservices,” “Microservice Architecture,” “Resilience,” “Reliability,” and “Availability.” Logical combinations of search terms are defined by “AND” and “OR.”

The first 20 research papers provided for each combination of the search keywords are taken into review to have a finite number of literature. When the same research paper appears in another digital library, it is excluded from the literature review to prevent duplicates. Fig. 1 represents the research paper selection and review process algorithm.

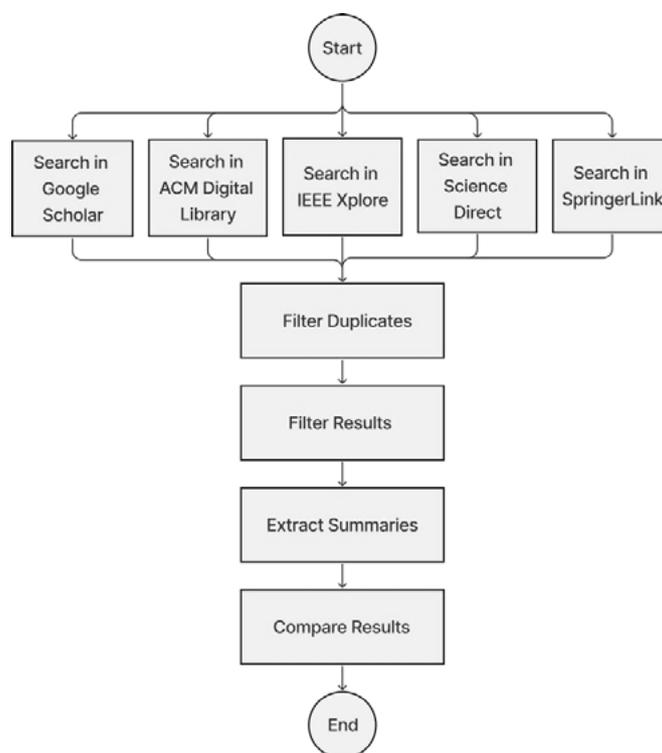


Fig. 1. Literature review algorithm

Literature review

This chapter presents the research paper selection process and paper review based on the methodology described previously.

For this review, 40 unique research papers published from 2022 to 2024 were initially selected based on the search terms provided before. These research papers are about Cyber-Physical Systems, which use microservices as an architectural pattern for implementing improved methods and approaches described by the authors. Then, each research paper was reviewed, and some were filtered according to the relevance criteria. As defined previously, the requirements include the necessity of a microservice architecture for Cyber-Physical Systems and the focus or mention on resilience, reliability, and availability.

The results of the review of selected papers are provided in the following chapters. Because of the similarity of the approaches, a detailed review of other documents is not included. Then, the pros, cons, gaps, and conclusions were defined and provided for this literature review.

The applications of microservice architecture for cyber-physical systems

This chapter provides summaries and results of selected research papers for review according to the defined methodology and answers the first research question (RQ1).

The first paper, titled “A microservice-based framework for multi-level testing of cyber-physical systems” [7] by Aldalur et al., explores the adoption of microservice architectures in the development, maintenance, and testing of Cyber-Physical Systems (CPSs), mainly focusing on their integration within the Internet of Things (IoT) domains.

Aldalur et al. propose a microservice-based testing framework to facilitate multi-level CPS testing (e.g., SiL, HiL, Operation). This framework integrates with a DevOps ecosystem, enabling continuous deployment, monitoring, and validation of CPS. It leverages microservices for validation orchestrators and agents to facilitate continuous deployment, monitoring, and validation, enabling efficient multi-level testing. This setup enhances system resilience and reliability by supporting scalable and adaptable testing processes.

Specific Microservice Architecture (MSA) patterns like dynamic configuration, service discovery, or circuit breakers aren't explicitly mentioned. Instead, the focus is on the operational methodology of microservices within the framework, highlighting their roles in improving testing efficiency, reducing costs, and underscoring the benefits of microservices in enhancing system testing scenarios. Docker was used as the leading technology for deploying microservices. The microservice code uses REST API as the primary communication protocol.

The study “Towards high-availability cyber-physical systems using a microservice architecture” by Mena et al. (2023) [4] examines enhancing cyber-physical systems (CPS) for high availability using microservices, focusing on the Digital Dice framework. The framework utilizes the Web of Things (WoT) to define interaction. It implements resilience, reliability, and availability strategies, including efficient communication with IoT devices, scalable microservice deployment, and robust internal and external communication protocols. The paper compares IoT, WoT, and Digital Dice for reliability properties. The paper states that high fault tolerance is achieved by the implementation of Digital Dice and its isolation. Also, high recoverability is achieved due to saving snapshots. The authors of this paper provided a comprehensive and profound description of the reliability and availability properties of microservices and provided a comparison between different systems and approaches. Docker and Kubernetes were used as container technology. Replication was one of the main approaches to resilience. Also, as described in the paper, Digital Dice uses service mesh Istio and Envoy proxy to solve communication problems. Circuit Breaker and Load Balancer patterns are used to handle possible issues with requests. More patterns may be implemented under the hood of Istio and Envoy.

The paper concludes that the Digital Dice framework significantly enhances the management and efficiency of CPS through improved scalability, resilience, and testing efficiency.

The paper “An Integrated Scalable Framework for Cloud and IoT-Based Green Healthcare System” explores the creation of a scalable, cloud, and IoT-based framework to enhance healthcare systems with a focus on sustainability and efficiency [8]. It introduces an innovative approach to healthcare, where wearable sensors and hierarchical clustering algorithms are utilized for real-time health data collection and analysis. This approach aims to improve patient care and facilitate doctor-patient interaction through an interactive user interface.

The paper emphasizes scalability as the main property of the proposed approach design with an existing foundation in cloud technology. The paper states that disaster recovery, backup, and auto-scaling solutions are implemented without describing internal details. A load balancer, servers, containers, a database and storage layer, and monitoring tools are also included in the primary design of the proposed system. The document does not directly mention specific microservice patterns such as Circuit Breakers, Retries, Limiters, and others. Instead, the paper focuses on the architectural and operational strategies leveraging IoT and cloud technologies.

The paper “Investigating Data Risk Considerations in Emergent Cyber-Physical Production Systems” by Ward and Janczewski (2022) delves into the complexities and risks associated with the integration of Cyber-Physical Production Systems (CPPS) within the Industrial Internet of Things (IIoT) framework [9]. This research highlights the necessity for asset managers to evaluate risks across multiple domains due to the interconnected nature of CPPS, where raw materials, machines, and operations form a tightly integrated network.

The research explicitly addresses connections to microservices in CPPS by examining the role of technologies such as Cloud, Fog, and Mist in facilitating flexible manufacturing automation hierarchies. A key focus is on employing containerized microservices to support CPPS's adaptability and resilience, indicating a move towards a more modular and scalable approach to system architecture.

The paper does not explicitly detail specific MSA patterns implemented within the proposed framework regarding microservice resilience, reliability, and availability. However, it does state the use of containerized microservices for CPPM. This paper presents informative and deep research regarding security issues.

The paper “A Survey on Observability of Distributed Edge & Container-Based Microservices” by Usman et al. (2022) presents a comprehensive review of the state-of-the-art observability for distributed systems, mainly focusing on edge computing and microservices [10]. While this work is not directly connected to CPS, it covers topics tightly related – IoT and IIoT.

Key points related to microservices include exploring how edge computing is a technical enabler for emerging network technologies such as 5G and the Industrial Internet of Things (IIoT).

Topics on microservice resilience, reliability, and availability highlighted in the paper revolve around the observability of distributed edge and container-based microservices using Docker and Kubernetes, among others. The authors describe that observability and monitoring are primary tools to know what happened during or before the outage and then execute root cause analysis. Health checks, metrics, logs, tracing, events, and checking dependencies are critical metrics for monitoring the system. Then, the issue may be fixed. The shift towards observability and monitoring also lies in the cloud infrastructure and the microservice management tools. Therefore, resiliency and reliability are stirred among the cloud infrastructure and the microservices.

The paper “On Evaluating Self-Adaptive and Self-Healing Systems using Chaos Engineering” by Naqvi et al. (2022) proposes CHESSE, a systematic approach for evaluating self-adaptive and self-healing systems based on chaos engineering principles [11]. This method addresses the need for systematic evaluation methods for such systems, especially those dealing with unanticipated failures in critical and highly dynamic environments. The approach involves subjecting a system to unexpected conditions to assess its resilience and fault-tolerance capabilities. Crucial aspects of microservices include exploring chaos engineering to build resilient microservice architectures and cyber-physical systems. Self-healing and self-adaptive systems are challenging to implement and manage. Various approaches can provide resilience, including static, reactive, or dynamic solutions, or inspired by control engineering, bio-inspired algorithms, or AI. This paper also provides a profound overview of the chaos engineering approach, self-healing, self-recovery, and failure scenarios in microservices. Containers are also mentioned as a valuable tool to manage microservices. The paper mentions health checks, auto-scaling, and multiple replicas regarding specific patterns.

The paper “Osmotic Cloud-Edge Intelligence for IoT-Based Cyber-Physical Systems” by Loseto et al. (2022) investigates the integration of IoT technologies with cloud-edge computing to enhance the capabilities of the Cyber-Physical Systems (CPS) [12]. The research introduces an “osmotic computing” model that leverages microservices to enable dynamic resource allocation between cloud and edge layers, aiming to optimize CPS performance, resilience, and scalability. This model addresses the challenges associated with data volume, velocity, and the computational demands of IoT devices in CPS by facilitating efficient data processing and decision-making closer to the data sources.

The paper proposes a Cloud-Edge AI microservices approach that includes containerized architecture and microservice encapsulation of each architectural module. Considering the location and distribution context, microservices are automatically adapted to deployment sites. Additionally, the orchestrator binds the runtime of each microservice to its reference location. Dynamic service orchestration based on a feedback loop is achieved.

The orchestrator component is mentioned to manage microservice containers. It schedules migration from Edge to Cloud and vice versa. It can also reassign containers in case of Edge node failures. The prototype implemented in this paper describes the optimistic approach when the infrastructure is available. Scaling the workload is suggested to overcome possible availability issues.

This paper provides a detailed description and summary of its proposed approach based on osmotic computing principles.

The paper “Data Twin-Driven Cyber-Physical Factory for Smart Manufacturing” by Jwo et al. (2022) introduces a novel concept termed “Data Twin” and a deployable service known as the Data Twin Service (DTS) to support simulation in manufacturing, particularly in the aerospace and defense industries [13]. This concept aims to simplify the creation of high-fidelity virtual models in digital twin technologies by adopting machine learning approaches. The main focus is developing a microservice software architecture for a Cyber-Physical Factory (CPF) that simulates the shop floor environment, leveraging the DTS to manage and integrate actual and simulated data for enhanced manufacturing processes.

Regarding microservices, the CPF architecture embodies a microservice approach by facilitating the deployment and interaction of various services (DTSs) within a containerized environment. This paper also describes containerized solutions as a way of organizing and repairing services after failures. Additional information regarding patterns and recovery approaches was not mentioned in this paper.

The paper “Containerized Edge Architecture for Manufacturing Data Analysis in Cyber-Physical Production Systems” by Garcia et al. (2022) focuses on developing a microservice-based containerized edge architecture aimed at simplifying the integration of asynchronous job management for data analysis within manufacturing lines [14]. This approach addresses the complexity barriers posed by the integration of Cyber-Physical Production Systems (CPPS) into real-world manufacturing scenarios, particularly emphasizing the challenges faced by small and medium-sized enterprises (SMEs) lacking in Information Technology (IT) expertise.

The architecture proposed is designed to support a common task in CPPS: the asynchronous management of manufacturing data analysis jobs utilizing a containerized, microservice-based structure. This architecture is validated through a real computer vision quality inspection task, highlighting its practical applicability in the industry for tasks requiring data analysis, such as quality inspections using computer vision technologies.

The paper elaborates on designing and deploying a containerized, micro-service-based edge architecture. It addresses Docker containers as a solution to package and deploy microservices. The proposed system does not mention specific reliability microservice patterns.

The paper “Towards Digital Twin-enabled DevOps for CPS Providing Architecture-Based Service Adaptation & Verification at Runtime” by Dobaj et al. (2022) investigates the application of DevOps principles, traditionally utilized in IT, to the domain of Cyber-Physical Systems (CPS) with a focus on Industrial Product-Service Systems (IPSS) [15]. The main objective is to enhance CPS service delivery and adaptation to evolving needs and environments through Digital Twins (DTs). This aims to reduce design and operational uncertainties, thus ensuring IPSS integrity and availability, particularly for design and service adaptations at runtime.

The DevOps lifecycle practices are applied to reduce provider risks and design uncertainties. The self-adaptive CPS model maps the Information Technology to the concept of the Operational Technology domain of CPS IPSS. The paper describes deployment approaches with downtime and zero-downtime approaches (Blue-Green, Canary, A/B testing, shadow deployment approaches). Load balancers are decoupled from the system and manage the traffic to individual services. The load balancer ensures service availability during deployment (i.e., zero downtime). Shadow deployments allocate and deploy all resources alongside the current release. The A/B testing allocates only resources required for 30 % of the overall user traffic. Then, user requests are split and processed by the current and new service releases. The main focus in the context of microservices and DevOps in this paper is that redundancy and shadow deployments provide no downtime while deploying new components.

Summary of the reviewed papers

This chapter summarizes the review of selected papers described before and answers the first research question (RQ2).

Table 1 on microservice approaches across various papers highlights the diversity and commonalities in implementing microservice architectures for cyber-physical systems (CPS) and related domains.

The commonalities across the papers on microservice approaches for Cyber-Physical Systems and related areas highlight a strong preference for containerization technologies and patterns to enhance scalability, resilience, and deployment efficiency. Containers, prominently featuring Docker, emerge as a foundational element in developing microservice architectures, offering an efficient way to package, deploy, and manage applications across various environments [16]. Kubernetes is frequently mentioned as a critical orchestration tool, facilitating the management of containerized applications at scale, indicating its pivotal role in handling complex deployments and ensuring high availability [16]. Additionally, REST APIs are noted for enabling communication between microservices, underscoring the importance of standardized interfaces for service interaction.

Several papers introduce specific microservice patterns and tools such as Digital Dice, Snapshots, Replication, Istio, Envoy, Circuit Breaker, and Load Balancer, pointing to a broader ecosystem of technologies aimed at enhancing system reliability, monitoring, and network communication. The mention of disaster recovery, backup, auto-scaling, and health checks across various studies further emphasizes the focus on system resilience and the ability to maintain service continuity in the face of failures or demand fluctuations, but no specific implementation details were provided.

Moreover, deployment strategies like Blue-Green, Canary, A/B testing, and shadow deployment are explored in the context of enabling continuous integration and delivery (CI/CD) within the DevOps framework, highlighting the move towards more dynamic and adaptive CPS. These commonalities reflect a collective movement towards leveraging microservice architectures and container technologies to address the challenges of developing, deploying, and managing CPS and IoT systems in a more agile, reliable, and scalable manner.

As a result, a common tendency for all microservice approaches is based on DevOps practices and containers (Docker, Kubernetes). Cloud providers like Amazon AWS, Microsoft Azure, IBM Cloud, and others also provide their own Service-Level Agreement (SLA) that covers the reliability, resilience, and availability of cloud systems, mainly hardware and virtualization software, provided to the user [17]. The more SLAs are available, the more expensive they are [17].

Service Mesh Istio, also mentioned before, is an open-source project that provides a uniform way to connect, manage, and secure microservices [18]. It integrates with Kubernetes but can be used with other environments, too. Istio simplifies the configuration and operation of microservices networks, offering critical features like traffic management, service identity and security, policy enforcement, and observability across your services. By deploying a lightweight proxy alongside your services, Istio enables advanced routing, load balancing, and secure service-to-service communication without requiring changes to the service code.

Envoy Proxy is an open-source edge and service proxy designed for cloud-native applications [19]. It operates as a sidecar to mediate and manage all inbound and outbound traffic for network services. It offers advanced features such as dynamic service discovery, load balancing, TLS termination, HTTP/2 and gRPC support, observability through detailed metrics, and logging, making it versatile for handling microservices communications efficiently. Envoy is designed to be extensible and is used in conjunction with service mesh implementations like Istio to provide a comprehensive networking solution for microservices architectures.

Load balancing and auto-scaling approaches help to achieve some reliability, but their primary purpose is to balance the network load and provide scalability for performance improvements [20].

Deployment strategies like Blue-Green, Canary, A/B testing, and shadow deployment are essential methodologies in the continuous delivery pipeline to manage and mitigate risks associated with releasing new software versions, ensuring high system availability and user satisfaction [21].

Blue-Green Deployment switches traffic between two identical environments after testing the new version in the inactive one, enabling quick rollback and minimal downtime. Canary Deployment slowly introduces changes to a small user group, testing the latest version’s stability before a full rollout. A/B Testing compares versions by splitting traffic to determine the better performer based on specific criteria, focusing on user preference. Shadow Deployment duplicates traffic to a new version without affecting users, allowing observation under natural conditions. Each strategy reduces software update risks, maintains service continuity, and facilitates quick rollback if necessary.

Table 1

Summary of the Reviewed Papers

Title	Microservice Approaches
“A microservice-based framework for multi-level testing of cyber-physical systems”	The focus is on the operational methodology of microservices; Docker; REST API;
“Towards high-availability cyber-physical systems using a microservice architecture”	Containers; Docker; Kubernetes; Digital Dice; Snapshots; Replication; Istio; Envoy; Circuit Breaker; Load Balancer;
“An Integrated Scalable Framework for Cloud and IoT-Based Green Healthcare System”	Containers; disaster recovery, backup, and auto-scaling, load balancer, monitoring tools included, but no description provided;
“Investigating Data Risk Considerations in Emergent Cyber-Physical Production Systems”	Containers;
“A Survey on Observability of Distributed Edge & Container-Based Microservices”	Containers; Docker; Kubernetes;
“On Evaluating Self-Adaptive and Self-Healing Systems using Chaos Engineering”	Containers; chaos engineering; health checks, auto-scaling; replication;
“Osmotic Cloud-Edge Intelligence for IoT-Based Cyber-Physical Systems”	Containers; orchestrator;
“Data Twin-Driven Cyber-Physical Factory for Smart Manufacturing”	Containers;
“Containerized Edge Architecture for Manufacturing Data Analysis in Cyber-Physical Production Systems”	Containers; Docker;
“Towards Digital Twin-enabled DevOps for CPS Providing Architecture-Based Service Adaptation & Verification at Runtime”	Containers; Docker; Blue-Green, Canary, A/B testing, shadow deployment;

Conclusions

The combination of CPS and MSA complements each other because of similarities in the design. Although pros exist, some challenges also arise within the system’s complexity. System architecture, complex connections between CPS and MSA, development process, maintenance, CI/CD, security, reliability, and availability are some of the main challenges. CPS needs to operate in real-time or with precise timing, which increases the complexity of supportive systems like microservices. Achieving and maintaining high availability is very important in these cases.

This study examined the MSA used for CPS. It reviewed design patterns for the cloud system and their reliability and availability. A literature review summary provided a foundation for a deeper understanding of MSA architecture and patterns. Gaps and challenges in MSA were detected.

Containerization like Docker and Kubernetes are used very often. DevOps practices with CI/CD pipelines support continuous development and deployment. Extensive attention is given to cloud system availability. Reliability and resilience patterns are widely used to overcome failure events. The failure events that can occur within a microservice architecture often. These failures can range from cloud provider and infrastructure failures to specific issues such as OS system-level failures, microservice failures, and dependency problems. The study has demonstrated that although developers may not have complete control over external cloud failures, they can significantly influence the configuration of microservices, the management of cloud resources, and the implementation of resilience patterns that can dramatically improve the system’s overall reliability and availability. Patterns like health checks, auto-scaling, replication, retry, response caching, and load balancing can help strengthen the system against potential failures. Health check provides knowledge about service uptime for system monitoring. Auto-scaling improves system performance and availability by adding more service instances managed by a cloud provider but at an additional cost. Retry patterns can eliminate outage time by allowing multiple attempts at executing operations. Response Caching can provide immediate fallback responses to ensure uninterrupted service, even during backend failures. Load Balancing can distribute traffic and computational load evenly across service instances, preventing outages due to resource overutilization and enhancing overall system performance and availability. The summary of reviewed papers emphasizes the importance of adopting a proactive, multi-faceted system design that anticipates and mitigates potential failures at every level of the service stack.

Future directions

Integrating Microservice Architecture (MSA) into Cyber-Physical Systems (CPS) presents a promising yet complex frontier, blending digital innovation with real-world applications. This union notably transforms industries by enabling smarter, faster, and more resilient systems. A prime example is the synergy between MSA and IoT [22], significantly

benefiting sectors like robotics, autonomous driving, and industrial automation [23] by reducing latency and facilitating real-time decision-making.

Further, incorporating AI and Machine Learning (ML) into MSA-equipped CPS paves the way for systems capable of predictive analytics and autonomous operation. This can be seen in smart cities, where traffic management systems learn and adapt to traffic flow patterns in real-time, improving congestion and safety [24].

Security within these systems, especially as they underpin critical infrastructure, is a crucial area of focus [25]. Future developments aim to enhance security through secure service communication and decentralized models like blockchain, which can offer new levels of integrity and trust in distributed environments [26].

In essence, MSA's journey in CPS is about leveraging digital transformation to create systems that are efficient, scalable, and deeply integrated with the physical world, driving innovations across various sectors such as transportation, manufacturing, and urban planning [27]. The path forward involves continuous exploration, adaptation, and collaboration.

References

1. Tyagi, A. K., Sreenath N., (2021). *Cyber Physical Systems: Analyses, challenges and possible solutions*, Internet of Things and Cyber-Physical Systems, vol. 1, pp. 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2021.12.002>.
2. Serôdio, C., Mestre, P., Cabral, J., Gomes, M., Branco, F., (2024). *Software and Architecture Orchestration for Process Control in Industry 4.0 Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies*, Applied Sciences, vol. 14, no. 5, Art. no. 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14052160>.
3. Pontarolli, R. P., Bigheti, J. A., De Sá L. B. R., Godoy, E. P., (2023). *Microservice-Oriented Architecture for Industry 4.0*, Eng, vol. 4, no. 2, pp. 1179–1197, DOI: <https://doi.org/10.3390/eng4020069>.
4. Blinowski, G., Ojdowska, A., & Przybylek, A. (2022). *Monolithic vs. Microservice Architecture: A performance and scalability evaluation*. IEEE Access, 10, 20357–20374. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3152803>.
5. Mena, M., Criado, J., Iribarne, L., Corral, A., Chbeir, R., Manolopoulos, Y., (2023). "Towards high-availability cyber-physical systems using a microservice architecture," *Computing*, vol. 105, no. 8, pp. 1745–1768. <https://doi.org/10.1007/s00607-023-01165-x>.
6. Fritzsch, J. et al., (2023). "Adopting microservices and DevOps in the cyber-physical systems domain: A rapid review and case study," *Softw Pract Exp*, vol. 53, no. 3, pp. 790–810. <https://doi.org/10.1002/spe.3169>.
7. Aldalur, I., Arrieta, A., Agirre, A., Sagardui, G., Arratibel, M., (2024). "A microservice-based framework for multi-level testing of cyber-physical systems," *Software Qual J*, vol. 32, no. 1, pp. 193–223. <https://doi.org/10.1007/s11219-023-09639-z>.
8. Islam, Md. M., Bhuiyan, Z. A., (2023). "An Integrated Scalable Framework for Cloud and IoT Based Green Healthcare System," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 22266–22282, 2023. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3250849>.
9. Ward, G., Janczewski, L., (2022). "Investigating Data Risk Considerations in Emergent Cyber Physical Production Systems," *JSCI*, vol. 20, no. 2, pp. 51–62. <https://doi.org/10.54808/JSCI.20.02.51>.
10. Usman, M., Ferlin, S., Brunstrom, A., Taheri, J., (2022). "A Survey on Observability of Distributed Edge & Container-Based Microservices," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 86904–86919. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3193102>.
11. Naqvi, M. A., Malik, S., Astekin, M., Moonen, L., (2022). "On Evaluating Self-Adaptive and Self-Healing Systems using Chaos Engineering," in *2022 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems (ACSOS)*, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1109/ACSOS55765.2022.00018>.
12. Loseto, G. et al., (2022). "Osmotic Cloud-Edge Intelligence for IoT-Based Cyber-Physical Systems," *Sensors*, vol. 22, no. 6, Art. no. 6. <https://doi.org/10.3390/s22062166>.
13. Jwo, J.-S., Lee, C.-H., Lin, C.-S., (2022). "Data Twin-Driven Cyber-Physical Factory for Smart Manufacturing," *Sensors*, vol. 22, no. 8, p. 2821. <https://doi.org/10.3390/s22082821>.
14. Garcia, A., Franco, J., Sáez, F., Sánchez, J. R., Bruse, J. L., (2022). "Containerized edge architecture for manufacturing data analysis in Cyber-Physical Production Systems," *Procedia Computer Science*, vol. 204, pp. 378–384. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.046>.
15. Dobaj, J., Riel, A., Seidl, M., Macher, G., Egretzberger, M., (2022). "Towards digital twin-enabled DevOps for CPS providing architecture-based service adaptation & verification at runtime," in *Proceedings of the 17th Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems*, Pittsburgh Pennsylvania: ACM, pp. 132–143. <https://doi.org/10.1145/3524844.3528057>.
16. Muzumdar, P., Bhosale, A., Basyal, G. P., Kurian, G., (2024). "Navigating the Docker Ecosystem: A Comprehensive Taxonomy and Survey," *AJRCoS*, vol. 17, no. 1, pp. 42–61. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2024/v17i1411>.
17. Bernal, A., Cambronero, M. E., Núñez, A., Cañizares, P. C., Valero, V., (2022). "Evaluating cloud interactions with costs and SLAs," *J Supercomput*, vol. 78, no. 6, pp. 7529–7555. <https://doi.org/10.1007/s11227-021-04197-2>.
18. Elkhatib, Y. Poyato, J. P., (2023). "An Evaluation of Service Mesh Frameworks for Edge Systems," in *Proceedings of the 6th International Workshop on Edge Systems, Analytics and Networking*, in *EdgeSys '23*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, pp. 19–24. <https://doi.org/10.1145/3578354.3592867>.

19. Aslanpour, M. S., Toosi, A. N., Cheema, M. A., Chhetri, M. B., Salehi, M. A., (2024). "Load balancing for heterogeneous serverless edge computing: A performance-driven and empirical approach," *Future Generation Computer Systems*, vol. 154, pp. 266–280. <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.01.020>.
20. Boor, M. V., Borst, S. C., Van Leeuwen, J. S. H., Mukherjee, D., (2022). "Scalable Load Balancing in Networked Systems: A Survey of Recent Advances," *SIAM Rev.*, vol. 64, no. 3, pp. 554–622. <https://doi.org/10.1137/20M1323746>.
21. Giamattei, L. et al., (2024). "Monitoring tools for DevOps and microservices: A systematic grey literature review," *Journal of Systems and Software*, vol. 208, p. 111906. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111906>.
22. Guo, X. et al., (2021). "Towards scalable, secure, and smart mission-critical IoT systems: review and vision," in *Proceedings of the 2021 International Conference on Embedded Software, Virtual Event: ACM*, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1145/3477244.3477624>.
23. Eze, C., (2024). "Internet of Things Meets Robotics: A Survey of Cloud-based Robots." *arXiv*, Feb. 20, 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.02586>
24. Al-Doghman, F., Moustafa, N., Khalil, I., Sohrabi, N., Tari, Z., Zomaya, A. Y., (2023). "AI-Enabled Secure Microservices in Edge Computing: Opportunities and Challenges," *IEEE Trans. Serv. Comput.*, vol. 16, no. 2, pp. 1485–1504. <https://doi.org/10.1109/TSC.2022.3155447>.
25. Aldea, C. L., Bocu, R., Vasilescu, A., (2023). "Relevant Cybersecurity Aspects of IoT Microservices Architectures Deployed over Next-Generation Mobile Networks," *Sensors*, vol. 23, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23010189>.
26. Alshudukhi, K. S., Khemakhem, M. A., Eassa, F. E., Jambi, K. M., (2023). "An Interoperable Blockchain Security Frameworks Based on Microservices and Smart Contract in IoT Environment," *Electronics (Switzerland)*, vol. 12, no. 3. <https://doi.org/10.3390/electronics12030776>.
27. Ali, Z. et al., (2023). "A Generic Internet of Things (IoT) Middleware for Smart City Applications," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 1. <https://doi.org/10.3390/su15010743>.

В. Г. ШЕРСТЮК

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-9096-2582

Р. М. ЗАХАРЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-4650-3095

ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПОЗИТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ НЕДОБРОЧЕСНИХ СТУДЕНТІВ

Управління якістю освіти – ключовий елемент будь-якої сучасної освітньої системи, який вимагає ефективних засобів об'єктивного контролю навчальних досягнень студентів та виключення прояву недоброчесності. В Україні активно впроваджується в практику навчального процесу цілий комплекс методів оцінки навчальних успіхів як в звичайному режимі так і в дистанційному.

Тема штучного інтелекту, навчання нейронної мережі та проведення досліджень у цьому напрямку є важливим критерієм для вимірювання технічного рівня дослідницьких установ, учбових закладів або підприємств.

Можливості використання нейронних мереж не вивчені остаточно. Ще багато років вони будуть як засіб розвитку інформаційних технологій та потребуватимуть висококваліфікованих ІТ-спеціалістів.

В статті проведено огляд, систематизація і узагальнення публікацій по питанням навчання нейронної мережі. Запропоновано за їх допомогою виявляти факти недоброчесності при здачі іспитів, заліків та мінімізувати ризики хибного визначення рівня підготовленості студентів.

В роботі використані методи наукових досліджень такі як: експеримент, аналіз результатів діяльності. Із теоретичних методів дослідження використані: аналіз, синтез, порівняння.

Основні результати дослідження. Для проведення експерименту було створено базу зображень поведінки людини в ситуації стресу та напруги на прикладі рольової інтелектуальної гри «Мафія» та з використанням стандартних методів бібліотеки Keras. Виділення обличчя виконується за допомогою методу Віолі-Джонса. Метод використовує технологію ковзного вікна. В результаті проведення експерименту були вибрані зображення з обраними особами, які при здачі іспиту вели себе не доброчесно.

Точність достатньо висока, але помилки можливі.

Наукова новизна. Для виявлення шахрайства в освітній сфері при здачі заліків та іспитів пропонується використання можливостей згорткової нейронної мережі, робота якої буде спрямована на класифікацію зображень відносно доброчесності.

Для вияву шахрайства, при визначенні рівня підготовленості студентів, було використано алгоритм:

1. Перетворення кадру на чорно-біле зображення.
2. Виділення обличчя для аналізу.
3. Підготовка зображення для обробки нейронною мережею.
4. Класифікація поведінки студента.

Ключові слова: штучний інтелект, нейронна мережа, згорткова нейронна мережа, класифікація, інтелектуальні системи, мінімізація ризиків академічної недоброчесності.

V. G. SHERSTYUK

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Software and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-9096-2582

R. N. ZAKHARCHENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Software and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-4650-3095

USING THE POSSIBILITIES OF A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK TO DETECT POSITIVE ASSESSMENT OF DISCONTINUED STUDENTS

Management of the quality of education is a key element of any modern educational system, which requires effective means of objective control of students' educational achievements and exclusion of dishonesty. In Ukraine, a whole set of methods for evaluating educational success is actively being implemented in the practice of the educational process, both in the regular mode and in the remote mode.

The topic of artificial intelligence, neural network training and research in this direction is an important criterion for measuring the technical level of research institutions, educational institutions or enterprises.

The possibilities of using neural networks have not been fully explored. For many more years, they will be a means of information technology development and will require highly qualified IT specialists.

The article reviews, systematizes, and summarizes publications on neural network training. It is suggested that with their help, facts of dishonesty can be detected when passing exams and assessments and minimize the risks of falsely determining the level of preparation of students.

The methods of scientific research used in the work are: experiment, analysis of activity results. Among the theoretical research methods used: analysis, synthesis, comparison.

The main results of the study. To conduct the experiment, a database of images of human behavior in a situation of stress and tension was created using the example of the intellectual role-playing game "Mafia" and using standard methods of the Keras library. Face selection is performed using the Viola-Jones method. The method uses sliding window technology. As a result of the experiment, images were selected with selected persons who did not behave virtuously when passing the exam.

The accuracy is quite high, but errors are possible.

Scientific novelty. In order to detect fraud in the educational field when taking tests and exams, it is proposed to use the capabilities of a convolutional neural network, the work of which will be aimed at classifying images with respect to integrity.

To detect fraud, when determining the level of preparation of students, the following algorithm was used:

- 1. Converting the frame to a black and white image.*
- 2. Selecting a face for analysis.*
- 3. Image preparation for neural network processing.*
- 4. Classification of student behavior.*

Key words: *artificial intelligence, neural network, convolutional neural network, classification, intelligent systems, minimizing the risks of academic dishonesty.*

Постановка проблеми

Освітній процес повинен бути якісно організований. Протягом останніх кількох років високотехнологічний обман поступово витісняє простий обман. Студенти стають все більш технічно підковані, що дає можливість використовувати більш хитрі методи обману при здачі іспитів та заліків.

Для того, щоб мінімізувати ризики недобросовісності при визначенні рівня знань студентів, є необхідним використання інтелектуальних систем для допомоги викладачам у їх роботі. Для побудови такої системи можна використати можливість загорткової нейронної мережі, яка б виконувала класифікацію нетипової поведінки здобувачів освіти під час іспитів, особливо в он-лайн режимі. Щоб навчити нейронну мережу виявляти нетипову поведінку, коли студент списує чи користується іншими матеріалами, необхідно створити базу даних, яка б містила достатній набір кадрів з такою поведінкою. Метою розпізнавання є об'єднання осіб на зображеннях в непересічні класи.

Рішення завдання розпізнавання емоцій відноситься до задачі класифікації, тобто нейронна мережа повинна віднести отриманий набір до певного класу. Для отримання результатів дослідження високої точності необхідно навчити нейронну мережу відповідним чином. По-перше необхідно переконатися в добре підготовлених даних для навчання. По-друге, враховуючи складність проблеми обрати архітектуру нейронної мережі. Наступний

крок – провести експерименти з різними параметрами: швидкість навчання, кількість епох та ін. Для запобігання перенавчання необхідно застосувати техніки регуляризації L1/L2. L1 (Lasso) та L2 (Ridge) регуляризація є двома популярними техніками у машинному навчанні для уникнення перенавчання моделі. L1 регуляризація додає абсолютні значення ваг до функції втрат, тоді як L2 регуляризація додає квадрати ваг. L1 регуляризація часто використовується для відбору ознак, оскільки вона схильна до створення розріджених моделей з нульовими вагами для деяких ознак. З іншого боку, L2 регуляризація зазвичай допомагає уникнути великих значень ваг, що може призвести до перенавчання. Обидві техніки можуть бути використані окремо або разом як Elastic Net регуляризація, яка комбінує як L1, так і L2 штрафи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [1] описано навчання глибоких нейронних мереж, яке ускладнюється тим фактом, що розподіл вхідних даних кожного шару змінюється під час навчання, оскільки змінюються параметри попередніх шарів. Відзначається, що це уповільнює навчання, вимагаючи більш низької швидкості навчання і ретельної ініціалізації параметрів.

У статті [2] описаний метод безперервного навчання нейронної мережі. Мережа росте у вигляді дерева, щоб пристосуватися до нових класів даних, не втрачаючи можливості ідентифікувати раніше навчені класи. Автори пропонують ієрархічну глибоку нейронну мережу з CNN.

У статті [3] приводиться розбір алгоритму Віоли-Джонса для вирішення завдання виявлення об'єкта на статичному зображенні.

В [4] цієї статті представлена нова потокова архітектура для запуску QNN на ПЛІС. Пропонована архітектура масштабується краще, ніж альтернативні, що дозволяє використовувати переваги систем з декількома ПЛІС.

В [5] автори описують максимальне об'єднання, тобто процес дискретизації на основі вибірки. Мета полягає в тому, щоб зменшити дискретизацію вхідного уявлення (зображення, вихідна матриця прихованого шару і т. д.). Це зроблено для того, щоб полегшити переоснащення шляхом надання абстрактної форми подання. Крім того, це знижує обчислювальні витрати за рахунок зменшення кількості параметрів для вивчення і забезпечує базову інваріантність трансляції для внутрішнього уявлення.

В [6] статті подано короткий огляд досягнень, досягнутих в області глибокого навчання (DL), починаючи з глибокої нейронної мережі (DNN). Розглядаються згортокова нейронна мережа (CNN), рекуррентна нейронна мережа (RNN), включаючи довгу короткострокову пам'ять (LSTM) і закриті рекуррентні блоки (GRU), автоматичний кодувальник (AE), мережа глибокого переконання (DBN).

В [7–8] дається огляд сучасного стану та перспектив розвитку досліджень по машинному інтелекту, розглядаються як класичні, так і сучасні моделі глибокого навчання.

В [8] описано цінності академічної доброчесності в освітній сфері

Проблема доброчесності в освітній сфері може мати серйозні наслідки для якості освіти та довіри до академічної системи.

Для розвитку теорії навчання нейронної мережі і на основі наведеного вище аналізу літератури пропонується, використовувати її можливості для мінімізації ризику позитивного оцінювання недоброчесних здобувачів освіти при визначенні рівня їх підготовленості.

Формулювання мети дослідження

Якісна освіта необхідна для розвитку особистості та суспільства. Це передбачає надання здобувачам освіти знань, навичок і цінностей, необхідних для досягнення успіху в житті. Оцінка якості також має вирішальне значення в освіті, оскільки вона допомагає педагогам зрозуміти, наскільки добре студенти чи учні навчаються, і визначити сфери, які потрібно вдосконалити. Використовуючи інноваційні методи оцінювання, такі як проектне навчання та формувальне оцінювання, викладачі можуть гарантувати, що учні отримають всебічну освіту, яка готує їх до майбутнього. Надання чесних і точних оцінок може допомогти здобувачам освіти зрозуміти їхній прогрес і можливості для вдосконалення. Це створює відчуття відповідальності та сприяє створенню позитивного середовища для навчання. Основною метою даного дослідження є створення системи, яка б могла виявляти прояви недоброчесності під час оцінювання навчальних досягнень студентів з використанням можливостей штучного інтелекту.

Виклад основного матеріалу дослідження

Штучний інтелект в освіті швидко змінює спосіб навчання студентів, учнів і викладання вчителів. За допомогою штучного інтелекту можна створити персоналізований досвід навчання для кожного учня на основі його індивідуальних потреб і вподобань. Штучний інтелект також може надавати студентам зворотний зв'язок у режимі реального часу, дозволяючи їм відстежувати їхній прогрес і розуміти, де вони потребують вдосконалення. Крім того, ШІ може допомогти вчителям виставляти оцінки, планувати уроки та навіть навчати учнів. Загалом, інтеграція штучного інтелекту в освіту може революціонізувати традиційне середовище в освітніх закладах та зробити навчання більш захоплюючим і ефективним для студентів та учнів.

Штучний інтелект (ШІ) може бути корисним на заняттях для сприяння інтерактивному навчанню та індивідуалізації процесу навчання:

- персоналізоване навчання із ШІ це можливість аналізувати здібності кожного здобувача освіти і пропонувати індивідуалізовані завдання або матеріали;
- автоматизована ретроспектива із ШІ це можливість створити автоматизовані звіти про навчальний прогрес кожного здобувача освіти та підказати, де потрібно працювати більше;
- зворотний миттєвий зв'язок із ШІ це можливість відповідати на питання здобувачів освіти негайно та пояснювати складні концепції у доступній формі;
- використання ігор для навчання із ШІ це можливість створювати навчальні ігри, які допомагатимуть здобувачам освіти закріпити матеріал;
- пошукові завдання із ШІ це можливість надавати здобувачам освіти завдання для пошуку інформації, де викладач може перевірити результати.

Інтеграція ШІ на заняттях може допомогти покращити якість навчання та зробити процес більш цікавим для здобувачів освіти. Якісна освіта необхідна для розвитку та успіху особистості. Це передбачає не лише запам'ятовування фактів і цифр, але й критичне мислення, навички вирішення проблем, креативність і здатність працювати разом з іншими. Високоякісна освіта має бути інклюзивною, справедливою та орієнтованою на індивідуальні потреби та сильні сторони кожного здобувача освіти. Отримані знання мають відповідати реальному світу та надавати можливості для практичного їх застосування. Крім того, якісну освіту слід постійно оцінювати та вдосконалювати, щоб переконатися, що вона відповідає мінливим потребам студентів і суспільства.

Якісна освіта для студентів передбачає поєднання ефективних методів навчання, відповідної навчальної програми, відповідних ресурсів і сприятливого навчального середовища. Однак оцінка ефективності цієї освіти може бути складною через різні чинники, такі як стандартизоване тестування, суб'єктивні системи оцінювання та відсутність консенсусу щодо того, що є успіхом у навчанні. Педагогам і політикам важливо постійно оцінювати та вдосконалювати методи оцінювання, щоб гарантувати, що учні отримують високоякісну освіту, яка готує їх до успіху в майбутньому. Управління якістю освіти – ключовий елемент будь-якої сучасної освітньої системи, який вимагає ефективних засобів об'єктивного контролю навчальних досягнень здобувачів освіти та виключення прояву недоброчесності.

Як можна уникнути недоброчесностей здобувачів освіти під час здачі екзаменів:

- забезпечити нагляд за студентами під час тестування, використовуючи камери спостереження або моніторинг програм;
- регулярно змінювати тестові завдання, щоб уникнути можливості копіювання;
- створювати штрафні санкції для студентів, які виявляють недоброчесність під час екзаменів;
- надавати студентам індивідуальні завдання або завдання, які полягають у застосуванні знань, а не просто у запам'ятовуванні інформації;
- пропонувати студентам можливість проходження регулярних оцінювань, щоб вони могли продемонструвати свої знання без потреби в недоброчесностях під час екзаменів.

В 2019 році через епідемію в освітніх закладах було активне впровадження проведення занять в он-лайн режимі. Починаючи з 2022 року, з початку вторгнення росії в Україну, більшість занять в освітніх закладах проводяться в он-лайн режимі. За ці роки, студенти та школярі стали все більш технологічно підготовленими, переглядаючи в Інтернеті детально описані хитрі методи обману (списування та ін.). Високотехнологічний обман, при визначенні рівня підготовленості здобувачів освіти, в наш час, потребує нових технологій для його викоринення. Це можна зробити за допомогою використання інтелектуальних систем.

Запропоновано для виявлення фактів недоброчесності при здачі екзаменів використати можливості штучного інтелекту: згорткову нейронну мережу, метод ковзного вікна (найбільш поширений метод згладжування, метод ковзного середнього (рухомого вікна), суть якого в тому, що в рухомому уздовж всієї кривої вікні, що містить кілька вихідних точок, середня точка обчислюється як середнє арифметичне усіх точок, що входять в це вікно.

Розроблена інтелектуальна система, за допомогою камер спостереження і можливостей штучного інтелекту повинна визначати тип емоції на обличчі та звертати увагу на нестипову, неприродну поведінку людини, на те, що здобувач освіти дещо приховує. Щоб визначити емоції на обличчі, зазвичай використовують програмне забезпечення для аналізу виразів обличчя та розпізнавання емоцій. Такі системи використовують алгоритми машинного навчання для визначення настрою або емоції особи на зображенні. Вони можуть розпізнавати такі емоції, як радість, смуток, здивування, гнів та багато інших. Штучний інтелект може аналізувати текстові та візуальні дані, щоб розпізнавати емоції людей. Такі технології застосовуються в соціальних мережах, медіа, маркетингу та інших галузях для покращення користувацького досвіду. Важливо звертати увагу на різні ознаки, такі як мова тіла, вираз обличчя, тон голосу та словесні сигнали. Під час іспитів студенти можуть проявляти ознаки стресу, тривоги, розчарування, впевненості або навіть нудьги. Будучи спостережливими та чуйними, викладачі можуть краще розуміти та підтримувати студентів у разі їхніх емоційних коливань під час іспитів. Важливо, щоб студенти

керували своїми емоціями, щоб показати себе якнайкраще на іспитах. Деякі студенти можуть відчувати себе приголомшеними або напруженими, тоді як інші можуть почуватися впевнено та підготовленими. Для викладачів важливо створити сприятливе середовище для студентів під час іспитів, щоб допомогти тим, хто добре підготувався – досягти успіху. Для тих здобувачів освіти, які хочуть отримати позитивне оцінювання недоброчесно, створити всі умови щоб цього не відбулося.

При проведенні дослідження, для експерименту задіяні були 10 груп студентів. На вхід подавався кольоровий кадр з веб-камери, який перетворювався на чорно-білий. Перетворення кадру на чорно-біле зображення необхідне для того, щоб позбавитися від зайвих даних (кольорові зображення містять у собі три компоненти (RGB), а чорно-білі всього одну).

Виділення обличчя виконувалося за допомогою методу Віюлі-Джонса. Метод використовує технологію ковзного вікна. Тобто рамка розміром меншим ніж вихідне зображення рухається з деяким кроком по зображенню, і за допомогою каскаду слабких класифікаторів визначає, чи є в даному вікні обличчя. Під час підготовки зображення відбувається його переформатування під нейронну мережу [3].

Для класифікації отриманих зображень було використати згорткову нейронну мережу (рис. 1).

Робота згорткової нейронної мережі зазвичай інтерпретується як перехід від конкретних особливостей зображення до більш абстрактних деталей, і далі до ще більш абстрактних деталей аж до виділення понять високого рівня. При цьому мережа самоналаштовується і виробляє сама необхідну ієрархію абстрактних ознак, послідовності карт ознак, фільтруючи незначні деталі і виділяючи істотне. У ній в операції згортки використовується лише обмежена матриця ваг невеликого розміру, яку «рухають» по всьому оброблюваному шару (на самому початку – безпосередньо по вхідному зображенню), формуючи після кожного зсуву сигнал активації для нейрона наступного шару з аналогічною позицією. Тобто для різних нейронів вихідного шару використовується одна і та ж матриця ваг, яку також називають ядром згортки. Її інтерпретують як графічне кодування якої-небудь ознаки. Тоді наступний шар, що вийшов в результаті операції згортки такою матрицею ваг, показує наявність даної ознаки в оброблюваному шарі і її координати, формуючи так звану карту ознак [7].

В згортковій нейронній мережі набір ваг не один, а ціла гама, що кодує елементи зображення (наприклад лінії і дуги під різними кутами). При цьому такі ядра згортки не закладаються заздалегідь, а формуються самостійно шляхом навчання мережі класичним методом зворотного поширення помилки. Прохід кожним набором ваг формує свій власний примірник карти ознак, роблячи нейронну мережу багатоканальною [4]. В згортковій нейронній мережі (CNN) набір ваг складається з ядер згортки (кожне ядро відповідає за розпізнавання певного ознаки у вхідних даних), бісів (додаткових параметрів для кожного ядра, які дозволяють моделі зрушитися від початкової нульової ваги) та опціональних параметрів, таких як розміри згорток та крок згортання. Кожне ядро має ваги, які використовуються для згортки по вхідних даних, після чого застосовується для виконання функції активації. Набір ваг в згортковій нейронній мережі використовується для виявлення ознак у вхідних даних та побудови глибоких представлень для подальшого аналізу даних.

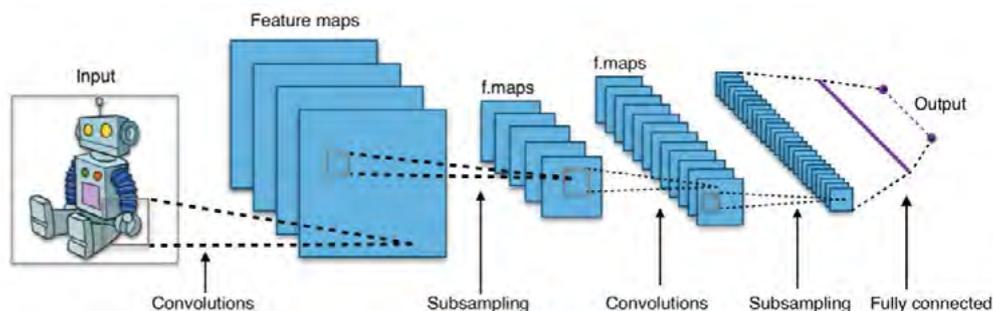


Рис. 1. Типова архітектура згорткової нейронної мережі

Субдискретизація виконує зменшення розмірності сформованих карт ознак. У даній архітектурі мережі вважається, що інформація про факт наявності шуканої ознаки важливіше точного знання її координат, тому з кількох сусідніх нейронів карти ознак вибирається максимальний і приймається за один нейрон ущільненої карти ознак меншої розмірності. За рахунок цієї операції, крім прискорення подальших обчислень, мережа стає більш інваріантною до масштабу вхідного зображення [5].

Мережа складається з великої кількості шарів (рис. 3). Після початкового шару (вхідного зображення) сигнал проходить серію шарів згортки, в яких чергуються власне згортка і субдискретизація (pooling). Чергування шарів дозволяє складати «карти ознак» з карт ознак, на кожному наступному шарі карта зменшується в розмірі, але збільшується кількість каналів. На практиці це означає здатність розпізнавання складних ієрархій ознак. Зазвичай

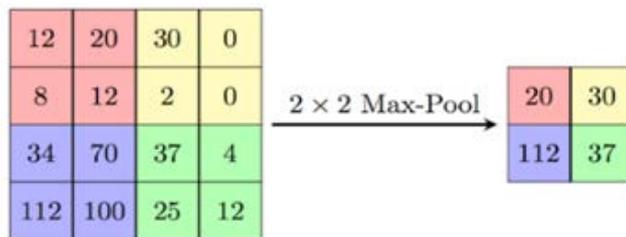


Рис. 2. Процес субдискретизації

після проходження декількох шарів карта ознак вироджується в вектор або навіть скаляр, але таких карт ознак стають сотні. На виході шарів згортки мережі додатково встановлюють кілька шарів нейронної мережі (перцептрон), на вхід якого подаються кінцеві карти ознак [6].

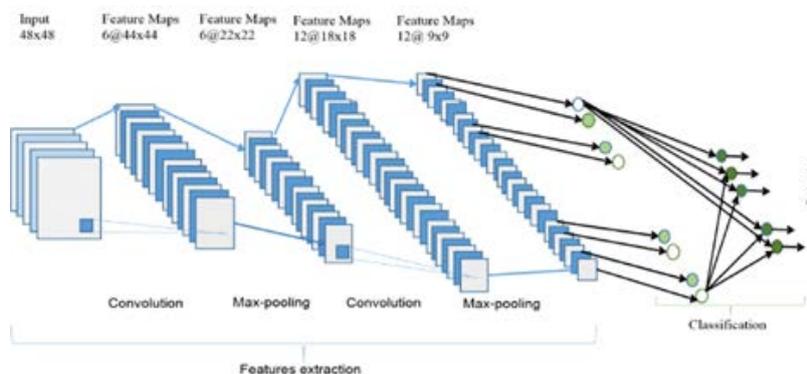


Рис. 3. Шари згорткової нейронної мережі

Для створення системи, що буде контролювати добросовісність, необхідно, щоб нейронна мережа не просто визначала тип емоції на обличчі, а звертала увагу на нетипову, неприродну поведінку людини, на те, що студент дещо приховує.

Нейромережева модель навчається на великій кількості зображень або безперервному відео потоці в режимі реального часу. Під час навчання модель отримує велику кількість зображень і відповідних міток (які показують, що призначено для кожного зображення), і змінює внутрішні параметри шляхом пошуку оптимального способу розділення. Це дозволяє моделі «навчитися» знаходити шаблони і розпізнавати об’єкти на зображеннях.

Мімічні реакції кожної людини мають певний набір параметрів проявів і діляться на дві категорії: геометричні та поведінкові. Наприклад, коли людина сміється, її обличчя утворює геометричні форми, такі як змійка або «краплини». Поведінкові реакції можуть також бути міміковані шляхом імітації жестів або рухів іншої людини.

Для опису кількісних і якісних параметрів особи (довільних і мимовільних) використовують систему кодування рухів обличчя. Система кодування рухів обличчя, також відома як Система кодування дій обличчя (FACS), – це метод, який використовується для аналізу виразів обличчя шляхом їх розбиття на окремі рухи м’язів обличчя. Його розробили психологи Пол Екман і Уоллес В. Фрізен у 1970-х роках. Ця система широко використовується в дослідженнях емоцій, спілкування та невербальної поведінки. Відеопотік даних являє собою послідовний набір кадрів. Метою розпізнавання є об’єднання осіб на зображеннях в непересічні класи.

Рішення завдання розпізнавання емоцій відноситься до задачі класифікації, тобто нейронна мережа повинна віднести отриманий набір до певного класу. Для цієї задачі, пропонується застосувати для навчання нейронної мережі рольову інтелектуальну гру – мафія. Згідно правилам, перед початком, учасники гри випадково отримують карти, що визначають їх роль у грі: шість мирних гравців та один шериф формують команду мирних, один дон мафії та дві рядові мафії формують команду мафії. Мета команди мирних – знайти та вигнати мафію. Мирні гравці не мають ніякої додаткової інформації, не знають жодних ролей крім своєї, тому їх поведінка відверта, вони кажуть лише те, що бачать. Мафія знає одне одного та всіх мирних, крім шерифа, що змушує їх іноді свідомо брехати про роль іншого гравця, адже їх задача зробити так, щоб мирними вважали саме їх, а більше шести мирних не буває. Саме ця особливість змушує осіб, що грають за мафію вести себе неприродно, вони вимушені приховувати додаткову інформацію, що мають, для вигоди у грі. Те саме стосується шерифа, що кожен ігрову ніч відкриває для себе одну роль, але він уже вимушений ховатися від мафії. Така поведінка схожа на поведінку студентів, що використовують недоброчесні методи для виконання завдань, при складанні іспиту.

Для навчання мережі пропонується обрати декілька наборів ігор у мафію, що транслюються в Інтернеті на відкритих майданчиках, таких як Twitch та YouTube. Для підвищення точності експерименту, для аналізу беруться лише турнірні ігри, де всі гравці відчувають підвищену напругу та відповідальність, що імітує умови проходження важливого тестування або здачі екзамену. Таких ігор є достатня кількість у джерелах: <https://www.youtube.com/channel/UCZGeFNcc4oVpDPBDlojAplg>; <https://www.twitch.tv/playmafia>.

Ця база постійно поповнюється, а так як нейронна мережа використовує окремі кадри, то отриманої інформації буде більш ніж достатньо для створення наборів даних. У наборі тренувальних ігор мережі будуть розкриті всі дані про ролі гравців і система повинна буде встановити для себе типові патерни поведінки гравців різних команд. У іншому наборі – тренувальному, система сама буде визначати ролі кожного гравця. Для меншого навантаження на систему, буде використана класифікація, що ділить зображення на 2 типи: такі, що показують природні та неприродні виявлення.

Тому для виявлення шахрайства в освітній сфері пропонується використання можливостей нейронної мережі, робота якої буде спрямована на класифікацію зображень відносно доброчесності. Існують декілька критеріїв оцінки якості даної роботи. Більшість критеріїв базуються на так званій матриці передбачень, що позначається c_{ij} , діагональ якої містить кількість правильних прогнозів [1; 2]. Якщо припустити, що $t_i = \sum_{j=1}^k c_{ij}$ буде числом навчальних зразків для класу i , тоді найбільш узагальненим критерієм якості є точність (accuracy), виражена формулою:

$$accuracy(c) = \frac{\sum_{j=1}^k c_{jj}}{\sum_{j=1}^k t_j} \in [0,1]. \quad (1)$$

Одна з проблем точності, як критерію якості – це відхилення від оцінки класу. Якщо один клас є більш узагальненим за інші, то найпростішим способом оцінювання будь-якого іншого класу високим балом буде його постійна класифікація як узагальненого [2; 5]. Для вирішення цієї проблеми можна використовувати усереднене значення точності. Однак окрім такого критерію як точність класифікації, на практиці важливими є також і інші критерії якості: швидкість оцінки та аналізу нових зображень, що надаються мережі; затримка часу навчання, стійкість, розмірність архітектури мережі та ін.

За результатами дослідження були виявлені зображення з особами, які при здачі іспиту вели себе недоброчесно. Отримана точність достатньо висока – 87%, але помилки можливі.

Висновки

Дослідження нейронних мереж є неймовірно важливими для розвитку технологій штучного інтелекту. Нейронні мережі є ключовим компонентом багатьох систем ШІ, оскільки вони можуть імітувати те, як функціонує людський мозок, обробляючи величезні обсяги даних і розпізнаючи шаблони. Вивчаючи нейронні мережі, дослідники можуть покращити продуктивність систем ШІ в таких сферах, як розпізнавання зображень і мови, обробка природної мови та автономне прийняття рішень. Це дослідження в кінцевому підсумку допомагає підвищити можливості та ефективність технологій штучного інтелекту, зробивши їх більш корисними та впливовими в різних галузях. Дослідження нейромереж – це одна з найперспективніших областей в даний час, оскільки в майбутньому вони будуть застосовуватися практично всюди, в різних областях науки і техніки, так як вони здатні значно полегшити працю, а іноді і забезпечити людину від невірного прийняття рішення.

В статті розглянуто проблеми недоброчесності в освітній сфері та способи їх викорінення за допомогою використання сучасних ІТ. В нашій країні гостро стоїть питання саме протидії академічній нечесності. Чесність і працьовитість повинні бути основою вашого навчання. Якщо у здобувачів освіти є проблеми з освітою, краще звернутися за підтримкою та допомогою, ніж шукати недоброчесні способи. Дана стаття націлена на те, щоб за допомогою сучасних інформаційних технологій мінімізувати ризик позитивного оцінювання недоброчесних здобувачів освіти. Як відомо, академічне cheating – така поведінка студентів, коли в ході виконання навчальних завдань вони використовують в корисливих цілях недозволені матеріали, інформацію чи інші допоміжні засоби. Запропоновано для протидії масштабній академічній недоброчесності розроблену інтелектуальну інформаційну систему, яка використовує можливості згортової нейронної мережі та алгоритми: перетворення кадру на чорно-біле зображення, виділення обличчя для аналізу, підготовка зображення для обробки нейронною мережею та класифікація поведінки студента.

Як базу даних для навчання нейронної мережі запропоновано використання наборів ігор у мафію, що транслюються в Інтернеті на відкритих майданчиках, таких як Twitch та YouTube.

Отримані результати проведених досліджень мають достатню точність.

Список використаної літератури

1. Ioffe, S., Szegedy, C.: "Batch normalization: Accelerating deep network training by re-ducing internal covariate shift," arXiv preprint arXiv:1502.03167, Feb. (2015). URL: <https://arxiv.org/abs/1502.03167/> (дата звернення: 01.02.2024).
2. Xiao, T., Zhang, J.: et al., "Error-driven incremental learning in deep convolutional neural network for large-scale image classification," in International Conference on Multi-media, no. 22. ACM, pp. 177–186 (2014)
3. Тымчук, А.: «Метод розпознавання лиц Виолы-Джонса (Viola-Jones).(2015). URL: <https://oxozle.com/2015/04/11/metod-raspoznavaniya-lic-violy-dzhonsa-viola-jones/> (дата звернення: 01.02.2024).
4. Baskin, C., Natan, L., Avi, M., Zheltonozhskii, E. (2017). Streaming Architecture for Large-Scale Quantized Neural Networks on an FPGA-Based Dataflow Platform.
5. Max pooling / pooling. (2018). Режим доступу: https://computersciencewiki.org/index.php/Max-pooling/_Pooling/ (дата звернення: 11.02.2024).
6. Alom, Md., Z., Taha., T., Yakopcic, C., Westberg, S., Sidike, P., Nasrin., M., Hasan, M., Essen, B., Awwal, A., Asari, V.: A State-of-the-Art Survey on Deep Learning Theo-ry and Architectures. (2019). Electronics. 8. 292. 10.3390/electronics8030292.
7. Gibson, A., Patterson, J.: Deep Learning. O'Reilly Media, Inc., (2017). URL: <https://www.safaribooksonline.com/library/view/deep-learning/9781491924570/>(дата звернення: 11.02.2024).
8. Fishman T. (2012). The Fundamental Values of Academic Integrity (2nd edition). In-ternational Center for Academic Integrity, Clemson University. URL: http://www.academicintegrity.org/icai/assets/AUD_Integrity_Quotes.pdf

References

1. Ioffe, S., Szegedy, C.: "Batch normalization: Accelerating deep network training by re-ducing internal covariate shift," arXiv preprint arXiv:1502.03167, Feb. (2015). URL: <https://arxiv.org/abs/1502.03167/>(Last accessed: 01.02.2024).
2. Xiao, T., Zhang, J.: et al., "Error-driven incremental learning in deep convolutional neural network for large-scale image classification," in International Conference on Multi-media, no. 22. ACM, pp. 177–186 (2014)
3. Tymchuk, A.: "Viola-Jones face recognition method". (2015). URL: <https://oxozle.com/2015/04/11/metod-raspoznavaniya-lic-violy-dzhonsa-viola-jones/>(Last accessed: 01.02.2024).
4. Baskin, C., Natan, L., Avi, M., Zheltonozhskii, E. (2017). Streaming Architecture for Large-Scale Quantized Neural Networks on an FPGA-Based Dataflow Platform.
5. Max pooling / pooling. (2018). URL:https://computersciencewiki.org/index.php/Max-pooling/_Pooling/ (Last accessed: 11.02.2024).
6. Alom, Md., Z., Taha., T., Yakopcic, C., Westberg, S., Sidike, P., Nasrin., M., Hasan, M., Essen, B., Awwal, A. ., Asari, V.: A State-of-the-Art Survey on Deep Learning Theory and Architectures. (2019). Electronics. 8. 292. 10.3390/electronics8030292.
7. Gibson, A., Patterson, J.: Deep Learning. O'Reilly Media, Inc., (2017). URL:<https://www.safaribooksonline.com/library/view/deep-learning/9781491924570/>(Last accessed: 11.02.2024).
8. Fishman T. (2012). The Fundamental Values of Academic Integrity (2nd edition). International Center for Academic Integrity, Clemson University. Available at: http://www.academicintegrity.org/icai/assets/AUD_Integrity_Quotes.pdf

УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 338.1:658.1

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.36>

Ю. О. ДЖЕРЕЛЮК

доктор економічних наук, професор,
професор кафедри менеджменту, маркетингу і туризму
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2213-8444

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ АДАПТАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНТИКРИЗОВОЇ СТІЙКОСТІ ТУРИСТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Збереження високого рівня антикризової стійкості є ключовим для забезпечення успішного розвитку туристичних підприємств на довгострокову перспективу в умовах постійних змін і конкуренції. Туристичним підприємствам необхідно мати високий рівень гнучкості, адаптивності та здатності до швидкого реагування на зміни. За таких умов для підприємства основним завданням діяльності є формування адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості. У статті теоретично обґрунтовано методичний підхід до оцінювання адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства. Визначено ключові показники оцінки адаптаційних можливостей туристичного підприємства для успішної адаптації до змін у бізнес-середовищі. Наведено результати оцінки впливу адаптаційних можливостей на забезпечення складових антикризової стійкості, розрахунку адаптаційного потенціалу забезпечення складових антикризової стійкості туристичного підприємства. Зазначено, що оцінювання адаптаційного потенціалу сукупно з функціональними складовими антикризової стійкості вирішує проблему мобілізації внутрішніх резервів туристичного підприємства задля створення умов ефектної діяльності підприємств в умовах нестабільності ринку. Для забезпечення своєчасної адаптивної реакції на зміну чинників зовнішнього середовища запропоновано управлінські рішення для окремих рівнів адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості (високий, достатній, задовільний, низький), практична реалізація яких створює можливість нівелювання негативного впливу чинників зовнішнього середовища та використання внутрішніх адаптаційних можливостей туристичного підприємства.

Ключові слова: антикризова стійкість, адаптаційний потенціал, адаптаційні можливості, резерви підвищення, оцінювання, складові стійкості, туристичне підприємство.

J. O. DZHERELIUK

Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor at the Department of Management, Marketing and Tourism
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-2213-8444

METHODICAL APPROACH TO THE ASSESSMENT OF THE ADAPTATION POTENTIAL OF ENSURING ANTI-CRISIS SUSTAINABILITY OF THE TOURISM ENTERPRISE

Maintaining a high level of anti-crisis sustainability is key to ensuring successful long-term development of tourism enterprises in conditions of constant change and competition. Tourism companies need to have a high level of flexibility, adaptability and ability to respond quickly to changes. Under such conditions, the main task of the tourism enterprise is the formation of adaptation potential to ensure anti-crisis sustainability. The article theoretically substantiates the methodological approach to assessing the adaptation potential of ensuring the anti-crisis sustainability of a tourism enterprise. The key indicators for assessing the adaptive capabilities of a tourism enterprise for successful adaptation to changes in the business environment have been determined. The results of the assessment of the impact of adaptation opportunities on ensuring the components of anti-crisis sustainability, the calculation of the adaptation potential of ensuring the components of anti-crisis sustainability and the assessment of potential reserves for increasing the components of anti-crisis sustainability of the tourism enterprise are given. It is noted that the assessment of the adaptation potential together with the functional components of anti-crisis sustainability solves the problem of mobilizing the internal reserves of the tourism enterprise in order to create the conditions for the effective operation of enterprises in conditions of market instability. In order to ensure a timely adaptive response to changes in external environmental factors, management solutions are proposed for individual levels of the adaptive potential of ensuring anti-crisis sustainability (high, sufficient, satisfactory, low), the practical implementation of which creates the possibility of leveling the negative impact of external environmental factors and using the internal adaptive capabilities of the tourism enterprise.

Key words: anti-crisis sustainability, adaptation potential, adaptation opportunities, promotion reserves, evaluation, components of sustainability, tourism enterprise.

Постановка проблеми

Сучасні туристичні підприємства функціонують в умовах, що характеризуються високою динамічністю та нестабільністю ринку. Підприємствам потрібно постійно пристосовуватися до змін, щоб зберегти або покращити своє конкурентне положення. За таких умов підприємствам необхідно мати високий рівень гнучкості, адаптивності та здатності до швидкого реагування на зміни. Зовнішнє середовище включає широкий спектр чинників, які не контролюються самим підприємством, але можуть впливати на антикризову стійкість. Ефективна реакція на кризові ситуації вимагає попереднього планування, уважного аналізу та прийняття стратегічних рішень для забезпечення стійкості та успішності бізнесу. Туристичні підприємства мають бути гнучкими і адаптивними до змін, що відбуваються в кризових ситуаціях, бути готовими швидко переключати свої ресурси, стратегії та процеси, щоб відповідати новим умовам функціонування. За таких умов для туристичного підприємства основним завданням діяльності є формування адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості. Збереження високого рівня адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості є ключовим для успіху підприємства в умовах постійних змін і конкуренції, адаптаційний потенціал дозволяє бізнесу не лише пристосовуватися до змін, але й активно реагувати на них, утримуючи свою конкурентоспроможність та забезпечуючи успішний розвиток на довгострокову перспективу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню різних аспектів антикризового управління на підприємствах присвячені праці таких провідних зарубіжних та вітчизняних дослідників, як: В. О. Василенко, Н. В. Зленко, Л. О. Лігоненко, О. І. Маслак, В. І. Павлюк, С. Т. Пілецька, О. О. Терещенко, Р. С. Шаранов, З. Є. Шершньова та ін. Питання забезпечення стійкості підприємств досліджувалися в працях О. В. Герєги, Т. В. Пономаренко, Д. С. Ревенка, О. В. Семененко, В. М. Ячменьової та інших. Дослідженню теорії адаптаційного потенціалу підприємств, питанням його оцінювання та різних аспектів управління присвячено наукові праці Т. Т. Аскерова, В. А. Гросул, О. Г. Нефедової, О. Б. Поліщук, Я. В. Юхман та ін., але незважаючи на велику кількість досліджень і наукових розробок в даному напрямку, недостатньо опрацьованим залишається питання обґрунтування методичного підходу до оцінювання адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є обґрунтування методичного підходу до оцінювання адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства.

Викладення основного матеріалу дослідження

Стійкість туристичних підприємств є важливою, оскільки туристична галузь піддається впливу різноманітних чинників, таких як економічні коливання, природні катастрофи, політичні нестабільності, зміни в смаках та уподобаннях споживачів, технологічні зміни та інші.

Автором сформовано цілісну систему показників оцінювання рівня забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства. Формування показників блоку «внутрішня антикризова стійкість» необхідно для характеристики рівня забезпечення операційної антикризової стійкості; маркетингово-інноваційної антикризової стійкості; фінансово-інвестиційної антикризової стійкості; кадрової антикризової стійкості; управлінської антикризової стійкості; інформаційної антикризової стійкості. Формування показників блоку «зовнішня антикризова стійкість» необхідно для характеристики ступеня антикризової стійкості підприємства щодо факторів мезооточення: антикризова стійкість щодо партнерів, антикризова стійкість щодо попиту на продукцію, антикризова стійкість щодо конкурентів [1].

До основних теоретичних підходів щодо сутності поняття «адаптація» слід віднести наукові трактування, що базуються на розумінні адаптації як властивості системи; процес пристосування або процес реакції на зміни зовнішнього та внутрішнього середовища діяльності; здатність змінювати параметри та функції при зовнішніх впливах; здатність реагувати на мінливість умов функціонування; процес встановлення динамічної стійкої рівноваги між зовнішнім та внутрішнім середовищами підприємства; складова управління змінами підприємства [2–3]. Проведений аналіз теоретичних підходів до змістовного наповнення поняття «адаптація» показав, що майже всі визначення не враховують здатність суб'єкта до безкризового функціонування. На думку Грінченко Р. В. [4] саме здатність гнучко реагувати на зміну зовнішніх умов шляхом пристосування внутрішніх характеристик і є адаптаційними можливостями підприємства. Отже, адаптаційні можливості є ключовим елементом для підвищення рівня антикризової стійкості підприємства. Оцінка адаптаційних можливостей туристичного підприємства може включати різноманітні показники, які відображають його здатність ефективно реагувати на зміни в середовищі та впроваджувати необхідні зміни для забезпечення антикризової стійкості. Адаптаційні можливості підприємства в сучасних ринкових умовах залежать від вміння керівництва підприємства управляти його адаптаційним потенціалом. У сучасних ринкових умовах туристичні підприємства мають важливу потребу у розвитку та використанні адаптаційних можливостей для успішної адаптації до змін у бізнес-середовищі. Ключовими показниками оцінки адаптаційних можливостей туристичного підприємства є: використання новітніх технологій та цифрових інновацій для бізнес-процесів, покращення комунікації з клієнтами, підвищення ефективності управління та створення

нових цифрових турпродуктів, розробка та підтримка вебсайту, мобільних додатків та інших цифрових платформ для бронювання, планування подорожей та забезпечення зручності для клієнтів (AM₁); стратегічне партнерство – розвиток стратегічного партнерства, університетами або іншими учасниками для спільного вирішення викликів та використання нових можливостей (AM₂); спрямованість на потреби та вимоги клієнтів шляхом впровадження стратегій CRM, персоналізованих послуг та програм лояльності, розширення асортименту послуг відповідно до змін потреб та уподобань споживачів (AM₃); можливість забезпечення високого рівня якості обслуговування та задоволення потреб клієнтів шляхом індивідуального підходу до кожного споживача (AM₄); здатність швидко адаптувати асортимент турпродуктів і послуг до змін потреб та очікувань клієнтів, включаючи розробку нових турпродуктів або модифікацію існуючих (AM₅); здатність забезпечувати високий рівень фінансової стійкості підприємства в умовах невизначеності (AM₆); можливість оперативного пристосовуватись до змін ринку, швидко змінювати обсяги та типи обслуговування для відповіді на зміни попиту та умови ринку (AM₇).

Отже, актуальним є оцінити вплив адаптаційних можливостей туристичного підприємства на складові його антикризової стійкості за бальною шкалою, а саме: значення «0» ставиться, якщо адаптаційна можливість не впливає на підвищення складової антикризової стійкості (резерв росту відсутній); значення «1» ставиться, якщо адаптаційна можливість незначно впливає на підвищення складової антикризової стійкості; значення «2» ставиться, якщо адаптаційна можливість має помірний вплив на підвищення складової антикризової стійкості; значення «3» ставиться, якщо адаптаційна можливість має середню ступінь впливу на підвищення складової антикризової стійкості; значення «4» ставиться, якщо адаптаційна можливість має істотну силу впливу на підвищення складової антикризової стійкості; значення «5» ставиться, якщо адаптаційна можливість має високу силу впливу на підвищення складової антикризової стійкості (значний резерв росту). Результати експертної оцінки узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати експертної оцінки впливу адаптаційних можливостей на забезпечення складових антикризової стійкості туристичного підприємства ТОВ «АРТревел.кс»

Адаптаційні можливості (AM _i)	Складові антикризової стійкості підприємства								
	Операційна антикризова стійкість	Маркетингово-інноваційна антикризова стійкість	Фінансово-інвестиційна антикризова стійкість	Управлінська антикризова стійкість	Інформаційна антикризова стійкість	Кадрова антикризова стійкість	Антикризова стійкість щодо партнерів	Антикризова стійкість щодо конкурентів	Антикризова стійкість щодо споживачів
AM ₁	3,56	3,44	4,11	3,44	3,33	3,44	1,78	3,67	4,22
AM ₂	3,89	2,33	3,89	3,11	3,00	3,11	2,00	3,22	2,67
AM ₃	3,33	3,22	3,89	2,89	2,89	4,22	1,56	3,44	3,22
AM ₄	4,22	2,78	4,00	3,56	3,56	3,89	2,22	3,44	3,78
AM ₅	3,78	3,44	3,33	2,67	2,67	3,56	1,67	3,22	3,44
AM ₆	4,11	3,56	3,56	3,89	3,67	3,67	1,67	4,33	4,22
AM ₇	3,78	3,89	4,11	3,67	3,44	3,56	1,33	4,11	3,67
Середнє значення	3,81	3,24	3,84	3,32	3,22	3,63	1,75	3,63	3,60

На сьогодні науковці приділяють увагу не тільки дослідженню адаптаційних можливостей підприємств, а й характеризують зміст поняття «адаптаційний потенціал». Заслуговує на увагу тлумачення адаптаційного потенціалу Поліщук О. Б., яка визначає адаптаційний потенціал підприємства як «... всі наявні ресурси й можливості, які можуть бути задіяні для реалізації заходів, спрямованих на адаптацію до впливу внутрішніх і зовнішніх загроз у межах системи управління економічною безпекою як основи підтримання стійкості та забезпечення розвитку» [5]. Не можна повною мірою погодитися і з позицією автора, зокрема в тій частині, що йдеться виключно про «систему управління економічною безпекою як основи підтримання стійкості та забезпечення розвитку», які жодним чином не пов'язані зі здатністю підприємства до безкризового функціонування. На нашу думку, формування адаптаційного потенціалу доцільно розглядати з позиції забезпечення антикризової стійкості. Отже, адаптаційний потенціал антикризової стійкості туристичного підприємства – це здатність забезпечувати антикризову стійкість у довгостроковій перспективі під впливом негативних чинників зовнішнього та внутрішнього середовища. Адаптаційний потенціал сприяє покращенню конкурентних позицій підприємства під впливом кризових деструктивних чинників. Забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства розглядається як сукупність управлінських заходів, спрямованих на забезпечення у довгостроковому періоді поступове покращення конкурентних позицій на ринку в умовах деструктивного впливу кризових чинників [1].

Ключовим аспектом оцінювання адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства є розробка певного методичного підходу. Виходячи з результатів аналізу найбільш відомих науково-методичних підходів до оцінки рівня адаптаційного потенціалу підприємства, можна зробити висновок, що ці підходи досить складно використовувати для оцінки адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства.

Нами запропоновано сконцентруватись на реалізації таких етапів:

1. Визначення мети та завдань оцінювання антикризової стійкості туристичного підприємства.
2. Інформаційне забезпечення процесу оцінювання: формування системи локальних показників, що описують рівень забезпечення зовнішньої та внутрішньої антикризової стійкості туристичного підприємства.
3. Формування сукупності оціночних показників, що відповідають певній складовій оцінювання антикризової стійкості туристичного підприємства.
4. Визначення інтегрального показника рівня забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства за відповідною складовою.
5. Оцінювання впливу адаптаційних можливостей туристичного підприємства на складові його антикризової стійкості.
6. Розрахунок величини адаптаційного потенціалу забезпечення складових антикризової стійкості туристичного підприємства.
7. Виявлення резервів підвищення складових антикризової стійкості туристичного підприємства
8. Узагальнення результатів оцінювання, формування управлінських рішень щодо використання виявлених резервів підвищення антикризової стійкості підприємства.

Виявлення резервів підвищення складових антикризової стійкості є одними із важливих завдань аналізу, це допомагає виявити потенційні можливості та ресурси, які можна використовувати для зміцнення конкурентної позиції туристичного підприємства в умовах кризи або нестабільності.

Результати розрахунку адаптаційного потенціалу забезпечення складових антикризової стійкості та потенційних резервів підвищення складових антикризової стійкості туристичного підприємства ТОВ «АРТревел.кc» наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку адаптаційного потенціалу забезпечення складових антикризової стійкості туристичного підприємства ТОВ «АРТревел.кc»

Адаптаційні можливості (AM_i)	Складові антикризової стійкості підприємства									
	Операційна Антикризова стійкість	Маркетингово- інноваційна антикризова стійкість	Фінансово-інвестиційна антикризова стійкість	Управлінська антикризова стійкість	Інформаційна антикризова стійкість	Кадрова антикризова стійкість	Антикризова стійкість щодо партнерів	Антикризова стійкість щодо конкурентів	Антикризова стійкість щодо споживачів	Комплексний показник
Інтегральний показник рівня забезпечення складових антикризової стійкості	0,719	0,672	0,494	0,729	0,593	0,488	0,722	0,604	0,767	0,635
Адаптаційний потенціал забезпечення складових антикризової стійкості	0,746	0,694	0,513	0,753	0,612	0,506	0,735	0,626	0,795	0,657
Резерв підвищення складових антикризової стійкості	0,027	0,022	0,019	0,024	0,019	0,018	0,013	0,022	0,028	0,022

Аналіз результатів розрахунків, наведених у табл. 2 дозволяє зробити висновок, що туристичне підприємства ТОВ «АРТревел.кc» за всіма складовими антикризової стійкості має адаптаційний потенціал забезпечення, найвищі резерви підвищення антикризової стійкості за операційною, управлінською складовою та антикризовою стійкістю щодо споживачів.

Під резервами розуміють невикористані в повному обсязі можливості підприємства, пов'язані зі скороченням витрат виробництва та забезпеченням діяльності на конкурентному ринку [3]. Резерви у контексті забезпечення антикризової стійкості підприємства відображають адаптаційні можливості, які можуть бути використані для досягнення певних цілей або для реагування на негативні ситуації; це додаткові можливості, які підприємство може активувати або використовувати в потрібний момент для забезпечення антикризової стійкості або вирішення проблем. Характеристика рівнів адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства та рекомендовані управлінські рішення наведено у табл. 3.

Таблиця 3

**Характеристика рівнів адаптаційного потенціалу забезпечення
антикризової стійкості туристичного підприємства**

Потенціал	Характеристика	Управлінські рішення
Високий рівень адаптаційного потенціалу (1–0,751)	Усі потенційні адаптаційні можливості використовуються на належному рівні, що дозволяє ефективно пристосовуватися до динамічних змін в зовнішньому та внутрішньому середовищі, зберігаючи при цьому конкурентоспроможність та антикризову стійкість.	Лідерство в області цінової політики, ефективна фінансово-господарська діяльність, зростання частки ринку, підвищення конкурентного статусу. Підприємство може швидко змінювати свої стратегії, процеси та продукти для адаптації до нових ринкових умов, технологій або змін у попиті споживачів. Активно впроваджувати нові ідеї та технології, розвивати нові продукти та послуги для задоволення потреб клієнтів. Персонал підприємства має не лише необхідні навички та знання, а й готовий до змін, відкритий до вдосконалення та постійного розвитку.
Достатній рівень адаптаційного потенціалу (0,75–0,51)	Адаптаційний потенціал забезпечення антикризової стійкості повністю відповідає сучасним умовам розвитку, виявлені адаптаційні можливості використовуються як конкурентна перевага, але потребують корегування бізнес-процеси з метою пристосування їх до непередбачуваних змін на ринку.	Розробка більш привабливих туристичних маршрутів, вихід на нові ринки, проведення активної маркетингової політики, індивідуальний підхід до клієнта, стимулювання процесів споживання, утримання конкурентного положення. Переглянути та змінити умови контрактів підприємства з великими іноземними туроператорами-партнерами. Впровадити програму лояльності для постійних клієнтів, систему моніторингу щодо рекламаций туристів, упроваджувати в роботу менеджерів принципи «зворотного зв'язку» зі споживачем.
Задовільний рівень адаптаційного потенціалу (0,50–0,251)	Задовільний адаптаційний потенціал забезпечення антикризової стійкості вказує на те, що підприємство може реагувати на зміни в бізнес-середовищі і залишатися конкурентоспроможним, хоча і може потребувати певних управлінських заходів для адаптації до нових умов.	Максимальна економія всіх ресурсів, реалізація рішучих дій, направлених на суттєве покращення діяльності за мінімальний проміжок часу, проникнення в нові сегменти за рахунок більш високої якості, зміцнення конкурентних позицій. Переглянути та скорегувати відповідно до запитів споживачів товарну, цінову політику підприємства. Сформувати стратегію змін, що дозволить підприємству ефективно адаптуватися до змін в бізнес-середовищі для забезпечення антикризової стійкості у довгостроковій перспективі.
Низький рівень адаптаційного потенціалу (0,25–0)	Низький адаптаційний потенціал забезпечення антикризової стійкості вказує на його обмежену здатність пристосовуватися до змін в зовнішньому та внутрішньому середовищі, що може негативно позначитися на його успішності та конкурентній позиції. Підприємство утримується від впровадження змін, навіть у випадках, коли це може бути необхідно для підтримки його конкурентоспроможності. Відсутність інновацій та новаторських підходів у діяльності.	Перебудова маркетингової та фінансової діяльності, а також діючої системи забезпечення антикризової стійкості. Реалізація нових способів поєднання обмежених ресурсів для забезпечення вищого рівня ефективності їх використання за рахунок організаційно-управлінських, маркетингових заходів, що забезпечують зміну внутрішнього середовища й адаптацію до змін зовнішнього оточення підприємства. Провести моніторинг інвестиційних проєктів з метою відхилення високоризикових та низькопробиткових ненадійних проєктів. Підвищити ефективність використання позикових фінансових ресурсів, пошук нових джерел поповнення власних коштів.

Реалізація запропонованого методичного підходу до оцінювання адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства за своєю сутністю дозволяє ідентифікацію адаптаційного потенціалу та адаптаційних можливостей підприємств, оцінювання резервів підвищення складових антикризової стійкості та вибір управлінських рішень задля створення умов ефективної діяльності підприємств з метою досягнення мети забезпечення антикризової стійкості.

Висновки

Туристичні підприємства повинні бути гнучкими і адаптивними до змін, щоб зменшити негативні наслідки кризових ситуацій та забезпечити антикризову стійкість у довгостроковій перспективі. Підприємства мають бути готовими швидко переключати свої ресурси, стратегії та процеси, щоб відповідати новим умовам функціонування. За таких умов для туристичного підприємства основним завданням діяльності є формування адаптаційного потенціалу забезпечення антикризової стійкості. Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх застосування на вітчизняних туристичних підприємствах, що дозволить оперативно виявляти пріоритетні напрями підвищення рівня антикризової стійкості та визначати перспективи подальшого розвитку. Наведений методичний підхід дає можливість сфокусувати увагу на тих проблемних моментах у забезпеченні антикризової стійкості туристичного підприємства, які повинні підлягати негайному усуненню та подальшому найдетальнішому аналізу задля запобігання повторення подібних ситуацій у майбутньому з метою мобілізації управлінських зусиль на ключових аспектах активізації функціональних можливостей адаптації. Подальші дослідження будуть присвячені оцінюванню ефективності управління адаптаційним потенціалом забезпечення антикризової стійкості туристичного підприємства.

Список використаної літератури

1. Джерелюк Ю. О. Антикризова стійкість підприємств у конкурентному середовищі: теорія, методологія та практика : монографія. Херсон : Вид-во ПП Вишемирський В. С., 2018. 454 с.
2. Nosachenko A. A., Baldzhy M. D. System approach to reserve detection and evaluation in increasing competitiveness of wholesale trading enterprises. New trends in the economic systems management in the context of modern global challenges: collective monograph / Scientific edited by M. Bezpartochnyi. Sofia: VUZF Publishing House «St. Grigorii Bogoslov», 2020. P. 224–233.
3. Grosul V., Zubkov S., Kalenik K., Askerov T. Assessment of level of adaptability to external environment factors of ukrainian retail trade enterprises. *Revista ESPACIOS*. 2020. №41(29). P. 4–44.
4. Hrinchenko R. V. Implementation of adaptation to changes as a company`s management element. *European journal of economics and management*. 2019. Vol. 5, Issue 4. P. 93–97.
5. Поліщук О. Б. Адаптаційний потенціал як основа формування адаптивно-орієнтованої системи управління економічною безпекою підприємства. *Інфраструктура ринку*. 2022. Випуск 63. С. 82–87.

References

1. Dzhereliuk J. O. (2018). Antykryzova stiiikist pidpriemstv u konkurentnomu seredovyshchi: teoriia, metodolohiia ta praktyka : monohrafiia [Anti-crisis sustainability of enterprises in a competitive environme: theory, methodology and practice : monograph]. Kherson : Vyd-vo PP Vyshemyrskyi V. S., 454 p. [in Ukraine]
2. Nosachenko A. A., Baldzhy M. D. (2020). System approach to reserve detection and evaluation in increasing competitiveness of wholesale trading enterprises. New trends in the economic systems management in the context of modern global challenges: collective monograph / Scientific edited by M. Bezpartochnyi. Sofia: VUZF Publishing House «St. Grigorii Bogoslov», pp. 224–233. [in Ukraine]
3. Grosul V., Zubkov S., Kalenik K., Askerov T. (2020). Assessment of level of adaptability to external environment factors of ukrainian retail trade enterprises. *Revista ESPACIOS*. no. 41(29). pp. 4–44. [in Ukraine]
4. Hrinchenko R. V. (2019). Implementation of adaptation to changes as a company`s management element. *European journal of economics and management*. 2019. Vol. 5, Issue 4. pp. 93–97. [in Ukraine]
5. Polishchuk O. B. (2022). Adaptatsiinyi potentsial yak osnova formuvannia adaptyvno-orientovanoi systemy upravlinnia ekonomichnoiu bezpekoiu pidpriemstva [Adaptation potential as a basis for the formation of an adaptive-oriented management system for economic security of the enterprise]. *Market Infrastructure*. no. 63. pp. 82–87. [in Ukraine]

V. V. YEVTUSHENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Acting Head of the Department of Commodity Science,
Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-8720-5804

O. O. SEMENCHENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Senior Lecturer at the Department of Commodity Science,
Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-1251-2711

Y. O. KALINSKY

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Commodity Science,
Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-2605-8759

V. M. BEZPALCHENKO

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of General Educational Humanities
and Natural Sciences
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-1355-7938

MARKET OF PRODUCTS OF THE FEED INDUSTRY IN TODAY'S CONDITIONS

*The article is devoted to the study of the state and prospects for the development of the feed industry market in Ukraine. The main reasons for the unstable activity of subjects of compound feed production, such as the high sensitivity of the market to changes in the grain industry, the limitation of the available raw material base, the lack of high-tech production in the necessary volumes, the constant increase in costs for the production of compound feed products, the insufficient development of the market infrastructure, the lack of sufficient solvent demand. The war in Ukraine affected the demand for compound feed products, production, sales, and logistics. The article provides statistical data of the Ukrainian market in 2022–2023 on the volume of compound feed production and the prices of compound feed components, namely grain and oil crops. Considering the export problems in Ukraine, raw materials are competitive in price policy. This situation is favorable for the Ukrainian production of compound feed, which, in turn, allows to increase the production of animal husbandry products. State influence in the direction of vertical integration makes it possible to control the beginning of the production chain, primarily grain producers to ensure the sale of agricultural products, protection from price fluctuations in raw materials markets, and flexible response to consumer requests. **State stimulation of research and innovation**, such as providing financial support and incentives for research in the field of compound fodder production, will contribute to the development of new technologies, improvement of feed quality, and increased competitiveness. To date, compound feed producers have overcome infrastructure challenges associated with the loss of logistics chains, damaged businesses, and demonstrated positive development trends and sustainable economic performance.*

Key words: compound feed industry, production, commodity market.

В. В. ЄВТУШЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-8720-5804

О. О. СЕМЕНЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
старший викладач кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1251-2711

Є. О. КАЛІНСЬКИЙ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2605-8759

В. М. БЕЗПАЛЬЧЕНКО

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

РИНОК ПРОДУКЦІЇ КОМБІКОРМОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

Стаття присвячена дослідженню стану та перспективам розвитку ринку комбікормової промисловості в Україні. Розкриті основні причини нестабільної діяльності суб'єктів комбікормового виробництва, такі як висока чутливість ринку до змін у зерновій галузі, обмеженість доступної сировинної бази, відсутність у необхідних обсягах високотехнологічних виробництв, постійне зростання витрат на виробництво комбікормової продукції, недостатня розвиненість ринкової інфраструктури, відсутність достатнього платоспроможного попиту. Війна в Україні вплинула на попит комбікормових виробів, виробництво, збут, логістику. В статті наведено статистичні дані ринку України у 2022–2023 роках про обсяги виробництва комбікормів та ціни на складові комбікормів, а саме зернові та олійні культури. Враховуючи проблеми з експортом в Україні, сировина в ціновій політиці є конкурентоспроможна. Така ситуація є сприятливою для українського виробництва комбікормів, що, в свою чергу, дозволяє нарощувати виробництво продукції тваринництва. Державний вплив у напрямку вертикальної інтеграції дає змогу контролювати початок виробничого ланцюга, в першу чергу виробників зернових культур для забезпечення збуту сільськогосподарської продукції, захисту від коливання цін на сировинних ринках та гнучкої реакції на запити споживачів. Державне стимулювання досліджень та інновацій таких як надання фінансової підтримки та стимулів для досліджень у галузі комбікормового виробництва буде сприятиме розвитку нових технологій, покращенню якості кормів та підвищенню конкурентоспроможності. На даний час виробники комбікормів впоралися з викликами в інфраструктурі, які пов'язані із втратою логістичних ланцюгів, пошкодженими підприємствами та продемонстрували позитивні тенденції розвитку та стійкі економічні показники.

Ключові слова: комбікормова промисловість, виробництво, товарний ринок.

Formulation of the problem

Food security is one of the important elements of the country's economic and national security. In turn, providing the population with food products is the main element of food security. The compound feed industry occupies a special place in the modern conditions of the development of the agro-industrial complex of the state, as it is an intermediate link in the production chain: supply of raw materials – processing – consumption and providing the population with products of the livestock industry. Research of the market of products of the compound feed industry is relevant, because this branch combines the development of plant and animal husbandry and affects the provision of food to the population. One of the problems of the modern market of products of the compound feed industry is the lack of awareness about them and, as a result, products of poor quality entering the market.

Analysis of recent research and publications

Basyurkina N. Y., Sharapanyuk L. V. have recently been engaged in researching the market for the products of the compound feed industry. In their works, they analyzed the dynamics of compound feed production and the relationship between the number of livestock and the volume of compound feed production [1]. Zozulyov O. V. and Vyshnytska S. V. in their work [2] highlight the importance of developing the national production of compound feed and additives, which

will make it possible to ensure independence from imports, increase competitiveness and improve product quality. However, the works do not sufficiently analyze the factors that influence the development and functioning of the market for commodity products of the compound feed industry in modern conditions and the prospects for its development.

Formulation of the purpose of the research

The purpose of the study is to analyze the factors that influence the development of the market for products of the compound feed industry and the prospects for development in today's conditions.

Presentation of the main research material

Prospects for the development of the product market of the compound feed industry, like any other product market, are characterized by the following factors:

- demand;
- offers;
- competition;
- influence of the state on the development of the industry;
- infrastructure.

The demand for these products is formed by certain groups of consumers, in particular, farms; livestock complexes that are part of agricultural holdings and the population. At the current stage, poultry farming has become the largest consumer of the compound feed market in Ukraine. Chicken has long been predominant in the meat diet of Ukrainians due to its lowest price compared to other types of meat – beef, pork, turkey. The production of products of the combined feed market in Ukraine for poultry is growing steadily, while the segment of goods for feeding cattle is shrinking along with the decrease in livestock. In general, according to the results of 2023, the growth of the combined feed market capacity in Ukraine was expected at the level of 20.5% compared to the year before, to approximately 7.36 million tons in natural terms [3].

Along with the fact that the commodity market of compound feed develops, a certain amount of offers is needed. Ukrainian compound feed plants that were not subjected to occupation have already almost resumed their work at the pre-war level, but there are also those that could not maintain their position during the war and lost production capacity. However, it is currently difficult for enterprises to fully carry out their activities, since the constant increase in the exchange rate of foreign currency and the increase in energy prices have a significant impact on the final cost of production.

As Ukraine began to resume exports and other global players adjusted their acreage to meet global needs, the price of major grain and oil crops began to decline. In December 2023 world prices for cereals, which are the main ingredients for animal feed, decreased by 43% compared to March 2022 and by 29% compared to December 2022; oil crops by 29% and 23%, respectively. In December 2023, grain prices on the Ukrainian market decreased by 23% on average compared to December of the previous year [4]. Such a drop in prices is due to the blockade of the export of Ukrainian products.

Since prices on the market remain low, this situation is favorable for the Ukrainian production of compound feed. For this branch of the agricultural sector, the absence of price increases is an advantage. Currently, now is the best time to increase the number of pigs, poultry of all kinds, the number of meat cattle, as well as the processing and production of milk and milk products. Considering the export problems in Ukraine, raw materials are competitive in price policy. Accordingly, we have conditions for attracting investments. For the production of compound feed, trace elements, vitamins and other feed additives are needed, which are mainly imported into Ukraine. The prices for such components have increased by 20–25% on average, their rapid growth is due to the change in logistics routes, the value of currencies, the devaluation of the hryvnia, the increase in the cost of logistics and the risks involved in importing foreign products into Ukraine as a result of hostilities. Before the full-scale war, the bulk of transportation took place through seaports in containers with subsequent overland transportation to warehouses. Currently, the situation has changed and become more complicated. And even in spite of this, the situation is as favorable as possible for the development of the market for products of the compound feed industry.

The influence of the state is important for the development of the commodity market of products of the compound feed industry. There are certain changes in this direction, in particular, the Ministry of Agrarian Policy developed the “Strategy for the Development of the Agro-Industrial Complex of Ukraine”, which provides for full vertical integration and localization and import substitution. The government is working towards the possibility of providing soft loans for fodder producers [5]. Steps in the direction of vertical integration will make it possible to control the beginning of the production chain, namely the producers of grain crops to ensure the sale of agricultural products, protection against price fluctuations in commodity markets and flexible response to consumer requests. In addition to financial support from the state, informational and infrastructural support should be organized for the development of the compound feed market.

In order for the market to develop effectively, information support for producers should be established, which includes information on demand, supply, prices, availability of raw materials and advanced technologies for the production of compound feed, their quality and safety. At the same time, the functioning of the market requires a constant movement of goods and services, labor potential and means of payment, which are provided by organizations serving market relations. Thus, for the functioning and development of the market for the products of the compound feed industry, infrastructure

that was damaged as a result of military operations on the territory of Ukraine is needed. In particular, warehouses, energy hubs, production facilities, transport and transport connections. However, compound feed producers coped with difficult conditions and demonstrated positive development trends and stable economic indicators.

Research conducted by the Pro-Consulting company indicates that the main problems of the compound feed market today can be called the cost of the product and its quality. The quality problem arose, in particular, due to high competition on the market. Since farmers and entrepreneurs mainly choose cheap feed in order to reduce the cost of meat, feed manufacturers also try to make production as cheap as possible [6].

In recent years, due to climatic conditions and problems with fertilizers in Ukraine, farmers have been collecting more and more fodder grain, which is suitable only for further processing. The best way to sell such grain is to process it into compound feed – this is a good opportunity to occupy not only the Ukrainian market, but also to enter the international export of compound feed. Also, despite the great competition on the market, there is a shortage of compound feed, because production has decreased by almost two times, while the number of livestock has decreased by only 10%. Also, according to official data, the poultry industry has almost reached its pre-war volume, so the production of compound feed for poultry is steadily growing [6].

One cannot ignore the fact that the market of compound feed in Ukraine will continue to be affected by the crisis associated with the full-scale invasion of Russia. In the future, the development of the market will depend on the support of the state, in particular, on the availability, implementation and implementation of state programs and the restoration of the established infrastructure.

Conclusions

The conducted research shows that the demand for the products of the compound feed industry exists, in particular, thanks to the recovery of the poultry industry. The offer on the compound feed market is confirmed by the increase in market capacity compared to last year. The state also takes care of the development of the compound feed market, developed the “Strategy for the Development of the Agro-Industrial Complex of Ukraine”, which provides for full vertical integration and localization and import substitution, and the possibility of providing soft loans for feed producers is being considered. As for infrastructure, compound feed producers coped with difficult conditions associated with the loss of logistics chains, damaged enterprises, etc. and demonstrated positive development trends and stable economic indicators.

Therefore, the feed market in Ukraine is gradually reviving, has positive dynamics and is prone to development with the support of the state.

Bibliography

1. Басюркіна Н. Й., Шарапанюк Л. В. Огляд ринку комбікормової промисловості України / Економіка харчової промисловості. 2017. Т. 9, вип. 2. С. 14–18. DOI: <https://doi.org/10.15673/fe.v9i2.638>.
2. Зозульов О. В., Вишницька С. В. Стан та тенденції розвитку відчизняного ринку комбікормів та біологічних мінерально-вітамінних добавок. Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». 2023. № 26. С. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.26.2023.287415>
3. Ринок комбікорму в Україні: актуальна інформація про сферу бізнесу. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-kombikorma-v-ukraine-aktualnaya-informaciya-o-sfere-biznesa> (дата звернення: 24.04.2024).
4. Чому агрокомпанії переходять на виробництво м'яса та як це вплине на ціни. URL: <https://focus.ua/uk/economics/615096-menshe-hliba-v-2024-roci-chomu-agrokompaniji-perehodyat-na-virobnictvo-m-yasa-ta-yak-ce-vplyne-na-cini> (дата звернення: 24.04.2024).
5. Реформи, стратегії та програми. URL: <https://minagro.gov.ua/napryamki/programi-rozvitku-apk> (дата звернення: 24.04.2024).
6. Аналіз ринку комбікормів в Україні. 2023 рік. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-kombikormov-v-ukraine-2023-god> (дата звернення: 24.04.2024).

References

1. Basyurkina, N. Y., & Sharapanyuk, L. V. (2017). Ohlyad kombikormovoyi promyslovosti Ukrayiny. *Ekonomika kharchovoyi promyslovosti*, 9(2), 14–18. <https://doi.org/10.15673/fe.v9i2.638>
2. Zozul', O., Vyshnyts'ka, S. (2023). Stan ta tendentsiyi rozvytku rynku mineral'nykh kombikormiv ta biolohichno-vitaminnykh dobavok. *Ekonomichnyy visnyk NTUU "Kyivivs'kyu politekhnichnyy instytut"*, (26), 102–108. <https://doi.org/10.20535/2307-5651.26.2023.287415>
3. Rynok kombikormu v Ukrayini: aktual'na informatsiya pro sferu biznesu. (2024, 1 bereznya). <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-kombikorma-v-ukraine-aktualnaya-informaciya-o-sfere-biznesa>
4. Davydenko, YE. (2023, 24 hrudnya). Menshe khliba v 2024 rotsi. Chomu ahrokompaniyi perekhodyat' na vyrobnytstvo m'yasa ta yak tse vplyne na tsyny. FOKUS. <https://focus.ua/uk/economics/615096-menshe-hliba-v-2024-roci-chomu-agrokompaniji-perehodyat-na-virobnictvo-m-yasa-ta-yak-ce-vplyne-na-cini>
5. Reformy, stratihiyi ta prohramy. (2024, 8 lyutoho). Ministerstvo ahraryoi polityky ta prodovol'stva Ukrayiny. <https://minagro.gov.ua/napryamki/programi-rozvitku-apk>
6. Analiz rynku kombikormiv v Ukrayini. 2023 rik. (b. d.). <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-kombikormov-v-ukraine-2023-god>

Є. О. КАЛІНСЬКИЙ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-2605-8759

С. А. ДРАЖНИЦЯ

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економічної теорії, підприємництва та торгівлі
Хмельницький національний університет
ORCID: 0000-0001-5390-1054

ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ТОВАРОЗНАВЧИХ ЕКСПЕРТИЗ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ КОДІВ ТОВАРУ ЗГІДНО З УКТ ЗЕД

Стаття присвячена актуальній проблемі правильної класифікації товарів згідно з Українською класифікацією товарів зовнішньоекономічної діяльності (УКТЗЕД) за допомогою товарознавчої експертизи. Підкреслюється важливість точного визначення коду товару для нарахування митних платежів, застосування заходів регулювання зовнішньоекономічної діяльності та адміністрування податку на додану вартість. Зазначається, що складність сучасного асортименту товарів часто потребує спеціальних знань та проведення товарознавчих досліджень для встановлення їх класифікаційних ознак.

У статті аналізуються особливості проведення товарознавчої експертизи для цілей класифікації за УКТЗЕД, зокрема методи дослідження складу, будови, функцій та призначення товарів. Розглядаються проблемні аспекти класифікації інноваційних та комбінованих товарів, а також продукції, класифікаційні ознаки якої мають кількісні критерії. Пропонуються шляхи вдосконалення товарознавчої експертизи у цій сфері, такі як використання сучасних аналітичних приладів, інформаційних технологій, підготовка висококваліфікованих фахівців.

В статті наголошується на необхідності чіткого законодавчого регулювання проведення експертиз з визначення кодів товарів, оскільки на практиці виникають випадки залучення до цього процесу інших інституцій, крім митних органів. Підкреслюється важливість правильної класифікації товарів для дотримання митного та податкового законодавства і пропонуються заходи для поліпшення ситуації у цій сфері.

Стаття містить блок-схему порядку проведення товарознавчої експертизи під час класифікації товарів за УКТЗЕД, яка наочно демонструє послідовність етапів цього процесу. Робота має практичну цінність для фахівців у галузі митної справи та зовнішньоекономічної діяльності, а також для виробників та експортерів продукції.

Ключові слова: товарознавча експертиза, методи товарознавчих досліджень, класифікація товарів, УКТЗЕД, митні платежі, зовнішньоекономічна діяльність.

E. O. KALINSKY

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Commodity Research, Standardization and Certification
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-2605-8759

S. A. DRAZHNYTSIA

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Economic Theory,
Entrepreneurship and Trade
Khmelnitsky National University
ORCID: 0000-0001-5390-1054

FEATURES OF CONDUCTING COMMODITY EXPERTISE FOR DETERMINING PRODUCT CODES ACCORDING TO UCG FEA

The article is devoted to the actual problem of correct classification of goods according to the Ukrainian Classification of Goods for Foreign Economic Activity (UCGF EA) with the help of commodity expertise. The importance of accurate determination of the product code for the calculation of customs payments, application of measures for regulating foreign economic activity, and administration of value-added tax is emphasized. It is noted that the complexity of the modern range of goods often requires special knowledge and conducting commodity research to establish their classification features.

The article analyzes the peculiarities of conducting commodity expertise for the purposes of classification according to UCG FEA, in particular, methods of studying the composition, structure, functions, and purpose of goods. The problematic aspects of the classification of innovative and combined products, as well as products whose classification features have quantitative criteria, are considered. Ways to improve commodity expertise in this area are proposed, such as the use of modern analytical instruments, information technology, and training of highly qualified specialists.

The article emphasizes the need for clear legislative regulation of conducting expertise to determine product codes, as in practice, there are cases of involving other institutions in this process, apart from customs authorities. The importance of correct classification of goods for compliance with customs and tax legislation is emphasized, and measures to improve the situation in this area are proposed.

The article contains a block diagram of the procedure for conducting commodity expertise during the classification of goods according to UCGFEA, which clearly demonstrates the sequence of stages of this process. The work has practical value for specialists in the field of customs affairs and foreign economic activity, as well as for manufacturers and exporters of products.

Key words: commodity expertise, methods of commodity research, classification of goods, UCG FEA, customs payments, foreign economic activity.

Постановка проблеми

В умовах зростання обсягів та ускладнення структури міжнародної торгівлі, питання правильної класифікації товарів набуває особливого значення. Від точності визначення коду товару за УКТЗЕД залежить правильність нарахування митних платежів, застосування заходів нетарифного регулювання тощо. Проте класифікація сучасного асортименту товарів часто потребує спеціальних знань та проведення товарознавчих досліджень. Це зумовлює актуальність проблеми належного проведення товарознавчих експертиз для цілей класифікації товарів згідно з УКТЗЕД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання ролі товарознавчої експертизи у класифікації товарів за УКТЗЕД досліджували такі науковці, як Омельченко Н. В., Ткаченко Н. В., Браилко А. С., Калінський Є. О., Авраменко Н., Кульганік О. [1–4]. Зокрема, у роботах [1–2] розглянуто особливості ідентифікації та класифікації керамічних виробів, у дослідженні [3] – проаналізовано проблеми ідентифікації і класифікації товарів 84 та 85 груп, а у праці [4] – висвітлено роль товарознавчої експертизи у митній справі загалом. Проте, враховуючи постійне оновлення асортименту товарів та ускладнення їх конструкції, питання проведення товарознавчих експертиз для класифікації за УКТЗЕД залишається актуальним і потребує подальших досліджень.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз особливостей проведення товарознавчих експертиз для визначення коду товару згідно з УКТЗЕД та розроблення рекомендацій щодо удосконалення цього процесу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Класифікація товарів за УКТ ЗЕД є обов'язковим етапом при здійсненні митного контролю та оформлення. Від правильності визначення коду товару залежить подальше нарахування митних платежів, застосування заходів тарифного та нетарифного регулювання. Крім того, код товару зазначається у податковій накладній та використовується для адміністрування податку на додану вартість. Отже, точність класифікації має важливе значення не лише для митних процедур, але й для правильності нарахування ПДВ.

Незважаючи на існування чітко визначених правил, класифікація товарів за УКТ ЗЕД часто стає предметом суперечок між декларантами та контролюючими органами. Це обумовлено складністю і неоднозначністю ідентифікації характеристик окремих товарів, які впливають на визначення їх коду. Для вирішення таких суперечок та встановлення достовірних даних щодо класифікаційних ознак товару все частіше застосовується товарознавча експертиза.

Товарознавча експертиза – це дослідження властивостей товарів з метою їх ідентифікації, класифікації, визначення якісних характеристик, відповідності певним вимогам тощо. В контексті класифікації за УКТ ЗЕД, товарознавча експертиза спрямована на встановлення об'єктивних даних щодо складу, будови, функцій, призначення товару, які є визначальними для його правильного кодування.

Процес проведення товарознавчої експертизи для цілей класифікації за УКТ ЗЕД має свої особливості залежно від специфіки товару. Наприклад, для правильного кодування харчових продуктів критично важливим є дослідження їх рецептурного складу, вмісту окремих інгредієнтів (цукру, какао-продуктів, молочного жиру тощо), способу технологічної обробки. Для промислового обладнання визначальними класифікаційними ознаками можуть бути функціональне призначення, принцип дії, продуктивність, точність виконання операцій.

Методологічний арсенал товарознавчої експертизи включає широкий спектр методів, які дозволяють всебічно дослідити товар та встановити його характеристики. Зокрема, для визначення складу продукту використовують фізико-хімічні та інструментальні методи (хроматографію, спектроскопію тощо). Органолептична оцінка дає змогу визначити зовнішній вигляд, колір, смак, запах товару. Для дослідження конструкційних особливостей,

геометричних розмірів, фізико-механічних властивостей застосовують вимірювальні методи із використанням різноманітних приладів та інструментів.

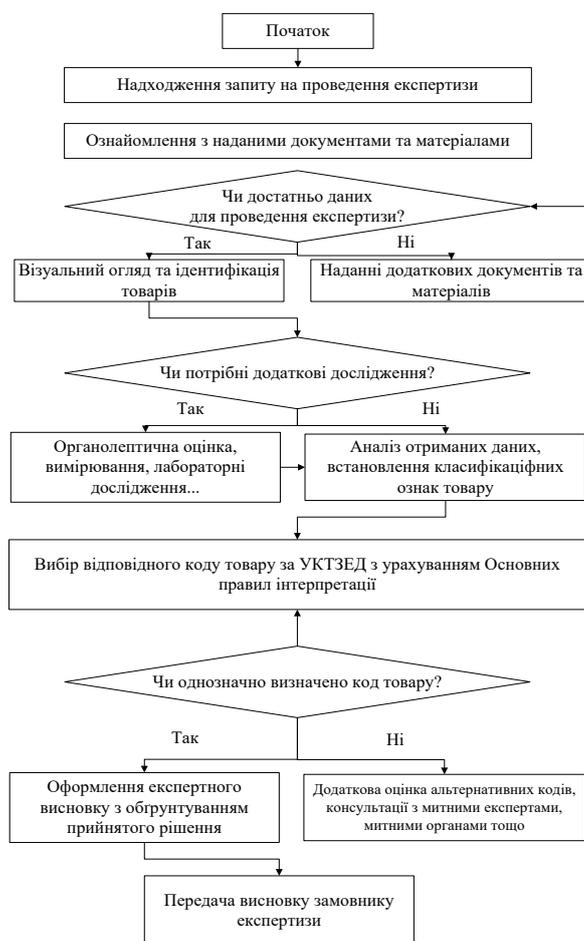


Рис. 1. Блок-схема порядку товарознавчої експертизи під час класифікації товарів за УКТ ЗЕД

Джерело: складено авторами

При проведенні товарознавчої експертизи з метою класифікації товарів, експерти керуються не лише специфічними методами дослідження, але й положеннями УКТ ЗЕД, поясненнями та рекомендаціями до неї. Адже для правильного кодування товару недостатньо встановити його об'єктивні характеристики, але й необхідно співвіднести їх з критеріями, закладеними в УКТ ЗЕД для тієї чи іншої товарної позиції.

Складність класифікації деяких сучасних товарів за УКТ ЗЕД обумовлена низкою чинників. По-перше, прискорення науково-технічного прогресу призводить до появи інноваційних товарів з принципово новими характеристиками, які важко віднести до певної товарної групи. По-друге, багато товарів є комбінованими, тобто містять компоненти, які окремо класифікуються в різних товарних позиціях. Прикладом можуть слугувати т.зв. «розумні» годинники, які поєднують функції хронометра та електронно-обчислювальної машини. По-третє, класифікаційні ознаки деяких товарів (наприклад, вміст окремих речовин) мають кількісні критерії, точне встановлення яких потребує спеціального лабораторного обладнання та методик досліджень.

Вирішення зазначених проблемних моментів товарознавчої експертизи вимагає постійного вдосконалення її методологічної та технічної бази. Зокрема, перспективним є використання сучасних аналітичних приладів (газових та рідинних хроматографів, мас-спектрометрів, ІЧ- та ЯМР-спектрометрів), які дозволяють з високою точністю визначати хімічний склад та будову речовин. Важливу роль також відіграє розвиток інформаційних технологій, зокрема, створення спеціалізованих баз даних товарів з детальним описом їх характеристик, автоматизованих систем ідентифікації та класифікації продукції на основі штрих-кодів, RFID-міток тощо.

Окремим напрямом удосконалення товарознавчих експертиз є підготовка висококваліфікованих фахівців, які володіють глибокими знаннями сучасного асортименту товарів, методів їх дослідження, вміють працювати з нормативними документами, здатні приймати обґрунтовані рішення щодо класифікації продукції. Для цього необхідно забезпечити якісну базову освіту товарознавців, а також створити систему їх регулярного підвищення кваліфікації з урахуванням динамічних змін у сфері виробництва та міжнародної торгівлі.

Таким чином, товарознавча експертиза відіграє важливу роль у забезпеченні правильної класифікації товарів за УКТ ЗЕД, від якої залежить ефективність митного контролю та адміністрування податків. Подальший розвиток цього напрямку експертної діяльності вимагає удосконалення методології досліджень, розширення технічної бази, впровадження інноваційних підходів та інформаційних технологій, підвищення кваліфікації фахівців-експертів. Реалізація цих заходів дозволить мінімізувати ризики неправильної класифікації товарів, забезпечити належне виконання фіскальної та регулюючої функцій держави у сфері зовнішньоекономічної діяльності.

Висновки

Товарознавча експертиза є важливим інструментом правильної класифікації товарів за УКТЗЕД, що сприяє забезпеченню повноти надходження митних платежів та дотриманню заходів регулювання ЗЕД. Подальший розвиток товарознавчих досліджень у цій сфері вимагає вдосконалення їх методології, розширення технічної бази, впровадження інноваційних підходів. Це дозволить посилити роль товарознавчої експертизи як дієвого засобу класифікації товарів в умовах сучасних викликів міжнародної торгівлі.

Узагальнюючи наведене, можна зазначити наступне:

На даний момент у законодавстві України відсутні чіткі і єдині підходи до розуміння правомірності залучення державних або громадських інституцій для визначення кодів товарів за УКТ ЗЕД. Це може призводити до розбіжностей і невизначеності у практичному застосуванні.

Незважаючи на сформульовану правову позицію судів, яка підтверджує, що виключна компетенція у визначенні кодів товарів за УКТ ЗЕД для митних цілей належить митним органам, іноді в практиці все ж трапляються випадки, коли інші інституції намагаються проводити експертизи з цього питання.

Аналіз порушень у митній та податковій сферах показує, що серед них часто виникають ситуації, пов'язані з невірною класифікацією товарів за кодами УКТ ЗЕД. Це підкреслює важливість правильної класифікації для дотримання податкового та митного законодавства.

Отже для поліпшення законодавчого регулювання проведення експертиз з визначення кодів товарів згідно з УКТ ЗЕД, можна рекомендувати низку заходів, зокрема: визначення завдань експертизи, залучення державних чи громадських інституцій, розроблення єдиної методики тощо.

Список використаної літератури

1. Тіхосова Г.А., Вербицький О.М., Калінський Є.О. Товарознавча характеристика ідентифікаційних ознак керамічного посуду з метою класифікації відповідно до УКТЗЕД. *Товарознавчий вісник* : зб. наук. пр. Вип. 12. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2019. 348 с.
2. Омельченко Н. В., Ткаченко Н. В., Браилко А. С. Класифікація плитки керамічної глазурованої виробництва ПАТ «Харківський плитковий завод» для митних цілей. *Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів* : матеріали III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (16–18 березня 2016 року). Полтава : ПУЕТ, 2016. С. 48–50.
3. Тороус В., Калінський Є. Проблеми ідентифікації і класифікації товарів 84 та 85 груп в УКТ ЗЕД: *Сучасні виклики та перспективи розвитку економіки, підприємництва, торгівлі та біржової діяльності* : зб. наук. праць Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції науковців та здобувачів вищої освіти (15 грудня 2022 р., м. Кам'янець-Подільський, ЗВО «ПДУ»). Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2022. С. 69.
4. Авраменко Н.Л., Кульганік О.М. Роль митних експертиз у зовнішньоекономічній діяльності суб'єктів підприємства. *Економіка та суспільство*. 2023. Випуск 57. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-21>

References

1. Tikhosova, H.A., Verbytskyy, O.M., & Kalinskyy, Ye.O. (2019). *Tovaroznavcha kharakterystyka identyfikatsiynykh oznak keramichnoho posudu z metoyu klasyfikatsiyi vidpovidno do UKTZED* [Commodity characteristics of identification features of ceramic tableware for the purpose of classification according to UCGFEA]. *Tovaroznavchyy Visnyk: Zbirnyk Naukovykh Prats'*, 12, 348. Luts'k: RVV Luts'koho NTU.
2. Omelchenko, N. V., Tkachenko, N. V., & Brailko, A. S. (2016). *Klasyfikatsiia plytky keramichnoi hlazurovanoj vyrobnytstva PAT "Kharkivskyyi plytkovyi zavod" dlia mytnykh tsilei* [Classification of glazed ceramic tiles produced by PJSC "Kharkiv Tile Plant" for customs purposes]. In *Aktual'ni problemy teorii i praktyky ekspertyzy tovariv: Materialy III Mizhnarodnoyi nauково-praktychnoyi internet-konferentsiyi* (pp. 48-50). Poltava: PUET.
3. Torous, V., & Kalinskyy, Ye. (2022). *Problemy identyfikatsiyi i klasyfikatsiyi tovariv 84 ta 85 hrup v UKT ZED* [Problems of identification and classification of goods of groups 84 and 85 in UCG FEA]. In *Suchasni vyklyky ta perspektyvy rozvytku ekonomiky, pidpryyemnytstva, torhivli ta birzhovoyi diyal'nosti: Zbirnyk naukovykh prats' Vseukrayins'koyi nauково-praktychnoyi Internet-konferentsiyi naukovtsiv ta zdobuvachiv vyshehoiy osvity* (p. 69). Kam'yans'k-Podil's'kyy: ZVO "PDU".
4. Avramenko, N.L., & Kulhanik, O.M. (2023). *Rol' mytnykh ekspertyz u zovnishn'oekonomichniy diyal'nosti sub'yektiv pidpryyemnytstva* [The role of customs examinations in the foreign economic activity of business entities]. *Ekonomika ta Suspil'stvo*, 57. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-21>

ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 332.14:502.33

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.39>

Т. М. БЕЗВЕРХНЮК

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

І. Б. АЗАРОВА

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

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПЛАНУВАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД І РЕГІОНІВ У КОНТЕКСТІ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНИ І ВИКЛИКІВ ВОЄННОГО СТАНУ

У статті, на основі системного аналізу взаємодії і суперечностей планувальних документів щодо реалізації державної регіональної політики та актуальних законодавчих змін в регулюванні містобудівної діяльності визначено проблемні питання, що потребують вирішення для забезпечення розроблення й практичного втілення планів відновлення й розвитку територіальних громад.

На основі аналізу законодавства щодо діючої системи планувальних документів з реалізації Державної регіональної політики встановлено певну неузгодженість планувальних документів щодо відновлення територій територіальних громад, зокрема План відновлення та розвитку і Програма комплексного відновлення. Їх узгодження потребує вирішення наступних питань: наскільки доцільно мати на місцевому рівні два документи відновлення: програму та план; яким є загальнонаціональний вектор відновлення і як відокремити питання місцевого рівня; координація політики відновлення на місцевому рівні.

Доведено, що найбільш проблематичними питаннями залишається здійсненність планувальних документів з відновлення територій: 1) фінансування проєктів відновлення здійснюється з фонду ліквідації наслідків збройної агресії за наявності Програми комплексного відновлення області (громади), а положення щодо наявності Плану відновлення та розвитку будуть застосовуватися через шість місяців після припинення або скасування воєнного стану в Україні; 2) брак кваліфікованих кадрів та відповідного досвіду написання планувальних документів, особливо на рівні територіальних громад; 3) відсутність розуміння щодо того, хто має визначати об'єкти та поселення/частини поселень, які не будуть відбудовуватись і які для цього варто встановити критерії для прийняття рішень.

Напрямом вирішення поставлених проблем може стати запровадження проєктного підходу до відновлення територій, який узгоджуватиме стратегічне планування відновлення територій з містобудівною діяльністю, на основі якого й будуть реалізовуватися проєкти відновлення територій територіальних громад.

Ключові слова: державна регіональна політика, планування відновлення, територіальні громади, планувальні документи, містобудівна діяльність, проєкти.

T. M. BEZVERKHNIUK

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

I. B. AZAROVA

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

PROBLEM ISSUES OF PLANNING THE RESTORATION OF TERRITORIAL COMMUNITIES AND REGIONS IN THE CONTEXT OF THE EUROPEAN INTEGRATION OF UKRAINE AND THE CHALLENGES OF MARTIAL STATE

In the article, based on a systematic analysis of interactions and contradictions of planning documents regarding the implementation of state regional policy and current legislative changes in the regulation of urban planning activities, problematic issues are identified that need to be resolved to ensure the development and practical implementation of plans for the recovery and development of territorial communities.

Based on the analysis of the legislation regarding the current system of planning documents for the implementation of the State Regional Policy, a certain inconsistency of the planning documents regarding the restoration of the territories of territorial communities, in particular the Restoration and Development Plan and the Integrated Restoration Program, was established. Their coordination requires solving the following questions: how appropriate is it to have two recovery documents at the local level: a program and a plan; what is the national vector of recovery and how to separate local level issues; coordination of recovery policy at the local level.

It has been proven that the most problematic issues remain the feasibility of planning documents for the restoration of territories: 1) financing of restoration projects is carried out from the fund for liquidation of the consequences of armed aggression in the presence of the Program for the Comprehensive Restoration of the Region (Community), and the provisions regarding the existence of the Restoration and Development Plan will be applied six months after termination or cancellation of martial law in Ukraine; 2) lack of qualified personnel and relevant experience in writing planning documents, especially at the level of territorial communities; 3) lack of understanding about who should determine the objects and settlements/parts of settlements that will not be rebuilt and what criteria should be established for decision-making.

The direction of solving the problems can be the introduction of a project approach to the restoration of territories, which will coordinate the strategic planning of the restoration of territories with urban planning activities, on the basis of which the projects of the restoration of the territory of territorial communities will be implemented.

Key words: state regional policy, recovery planning, territorial communities, planning documents, urban planning activities, projects.

Постановка проблеми

Основною метою реформи місцевого самоврядування за принципом децентралізації владних повноважень, яка розпочалася у 2014 році, є забезпечення збалансованого підходу до розвитку та посилення спроможності громад і регіонів. Новий виклик для III етапу реформи – це її реалізація в умовах війни з акцентом на євроінтеграцію України та процеси післявоєнної відбудови. Незважаючи на усі складності режиму воєнного стану, Уряд продовжує роботу над системним втіленням реформи, завершальним етапом якої має стати закріплення досягнень децентралізації в Конституції України.

7 листопада 2023 року на Міжнародній конференції «Реформа децентралізації: дорожня карта» Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури презентувало Дорожню карту реалізації реформи місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні [14]. Основним лейтмотивом Дорожньої карти є створення умов для становлення спроможної, багатой, інклюзивної, прозорої та інтегрованої територіальної громади.

Відбудова, відновлення, розвиток регіонів і громад, розробка планів і пріоритетних сфер відновлення – це питання, які зараз відпрацьовуються Урядом та активно обговорюються як на рівні експертного середовища, так і в громадській сфері.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Різні аспекти діяльності територіальних громад та напрями їх забезпечення висвітлено у наукових працях В. Бабаєва, В. Борщевського, І. Грищенко, Т. Губи, Т. Лукері, Є. Матвєєва, В. Новика, В. Негоди, С. Хруща та багатьох інших. Серед дослідників стратегічного планування розвитку територій слід відзначити таких українських вчених як О. Берданова, Б. Беззубко, В. Вакуленко, Г. Васильченко, З. Герасимчук, О. Карий, В. Мамонова, О. Карлова, І. Парасюк, А. Ткачук та деяких інших.

За програмами європейської підтримки та в рамках виконання проєктів міжнародної технічної допомоги, було розроблено низку посібників та методичних документів щодо планування територіального розвитку, у тому числі комплексного відновлення територій територіальних громад [3]. Питання планування відновлення територіальних громад досліджуються та обговорюються в експертному середовищі відомими науковцями і практиками Ю. Ганущак, Я. Жаліло, І. Коліушко, О. Нижник, І. Парасюк, А. Ткачук, Ю. Третяк.

Погоджуючись з безсумнівною цінністю наукових досліджень учених та експертів, слід зазначити, що в умовах воєнного стану та європейської інтеграції України існує необхідність більш глибокого вивчення сучасних наукових і методологічних підходів до процесу розроблення та практичного втілення планів відновлення й розвитку територіальних громад, враховуючи нюанси існуючої системи регулювання, зокрема, містобудівної діяльності в аспекті актуальних законодавчих змін. Актуальністю зазначеної проблеми й обумовлений вибір теми дослідження.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є системний аналіз взаємодій і суперечностей планувальних документів щодо реалізації державної регіональної політики та актуальних законодавчих змін в регулюванні містобудівної діяльності з обґрунтуванням проблемних питань відновлення територій територіальних громад, що потребують вирішення.

Викладення основного матеріалу дослідження

Сучасна державна регіональна політика, складовою якої є реформа децентралізації, пропонує новий європейський підхід до територіального планування та регіонального розвитку, в основі якого: скоординована система багаторівневого врядування регіонального розвитку за участі центральної, регіональної і місцевої влади та всіх заінтересованих сторін; посилення управлінської спроможності місцевого і регіонального рівнів; принцип територіального підходу та визначення функціональних типів територій; максимальне включення громад і надання їм всіх інструментів для відновлення та розвитку; вдосконалення цифрових інструментів – масштабні оновлення єдиної цифрової системи управління відбудовою DREAM, ключовими користувачами якої стануть територіальні громади.

Законом України «Про засади державної регіональної політики» [8], в якому систематизовано усі рівні документів з реалізації державної регіональної політики: державна стратегія – регіональна стратегія – стратегія розвитку територіальної громади, визначено, що «відновлення регіонів і територій, які постраждали внаслідок збройної агресії проти України – це комплекс першочергових організаційних, фінансових та інших заходів, що спрямовуються на прискорене відновлення об'єктів критичної інфраструктури, соціальної інфраструктури, об'єктів житлового та громадського призначення до стану, що дозволяє забезпечити повернення в регіон внутрішню переміщення осіб та біженців, створення сприятливих умов для діяльності всіх суб'єктів господарювання».

12 травня 2022 року Верховною Радою України було прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо першочергових заходів реформування сфери містобудівної діяльності» [6], яким введено нове поняття – програма комплексного відновлення області, території територіальної громади (її частини) – документ, який буде визначати основні просторові, містобудівні та соціально-економічні пріоритети політики відновлення і включати комплекс заходів для забезпечення відновлення території відповідної області, території територіальної громади (її частини), яка постраждала внаслідок збройної агресії проти України або в якій сконцентровані соціально-економічні, інфраструктурні, екологічні чи інші кризові явища. Законом передбачається розроблення комплексних планувальних документів, які охоплюють всі сфери життєдіяльності громад та їхнього повоєнного відновлення.

09 липня 2022 року Верховною Радою України було прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо засад державної регіональної політики та політики відновлення регіонів і територій» [7], який встановлює особливості відновлення регіонів та територій, що постраждали внаслідок збройної агресії проти України на основі європейських принципів реалізації регіональної політики: співробітництва, паритетності, відкритості, субсидіарності, координації, згуртованості, інклюзивності, інтегрованого розвитку, з акцентом на посилення ролі органів місцевого самоврядування та їхньої участі в реалізації державної регіональної політики. Зокрема, ст. 4 Закону наголошено, що у розробленні та забезпеченні реалізації державної регіональної політики беруть участь асоціації органів місцевого самоврядування та їх добровільні об'єднання, агенції регіонального розвитку, створені відповідно до цього Закону, громадські об'єднання, юридичні та фізичні особи.

Також Законом [7] визначено новий функціональний тип територій – території відновлення – мікрорегіони, територіальні громади, на території яких відбувалися бойові дії та/або які були тимчасово окуповані, та/або території яких зазнали руйнувань об'єктів критичної інфраструктури, соціальної інфраструктури, об'єктів житлового фонду внаслідок ведення бойових дій, а також які характеризуються різким погіршенням рівня соціально-економічного розвитку та значним переміщенням населення до інших регіонів та/або інших держав. Для територій, які постраждали внаслідок збройної агресії, розробляються додаткові документи для регіонів і громад – плани відновлення та розвитку, які розробляються і затверджуються відповідно до цього Закону.

Таким чином, оновлений Закон України «Про засади державної регіональної політики» [8] передбачає зміни у ключових аспектах державної регіональної політики: стратегічному плануванні, фінансуванні, інституційній підтримці та моніторингу регіонального розвитку. З цією метою запроваджується План відновлення та розвитку регіонів, як комплексний документ для відбудови та розвитку регіонів та громад.

На виконання Закону, 18 липня 2023 року Постановою КМУ «Про затвердження порядків з питань відновлення та розвитку регіонів і територіальних громад» [10] затверджено Порядок визначення територій відновлення та Порядок розроблення, реалізації та моніторингу плану відновлення та розвитку регіонів і планів відновлення та розвитку територіальних громад. Відповідно до Постанови, проєкт плану відновлення та розвитку територіальної громади розробляють на основі програми комплексного відновлення, що розробляється відповідно до Закону «Про внесення змін до деяких законів України щодо першочергових заходів реформування сфери містобудівної діяльності» [6]. Таким чином, Програма є необхідною для підготовки Плану відновлення. Але, згідно з законом «Про регулювання містобудівної діяльності» [12], Програма комплексного відновлення не є обов'язковою.

У результаті на сьогодні діють два закони, що суперечать один одному. А загалом, на думку експертів [13], відбувається певний каламбур із системою планувальних документів щодо реалізації Державної регіональної політики (табл. 1).

Таблиця 1

Неузгодженість планувальних документів щодо відновлення територій*

План відновлення та розвитку	Програма комплексного відновлення
Документ належить до системи планувальних документів Державної регіональної політики.	Документ не належить до системи планувальних документів, в т. ч. містобудівної.
Передбачено обов'язковість розроблення та затвердження для територій відновлення	Рішення про розроблення самостійно приймає на обласному рівні – голова ОДА, на місцевому – виконком ради
Встановлено чіткі строки реалізації – до 31 грудня 2027 р.	Не визначено строк реалізації
Розробляється з урахуванням комплексного підходу для всієї території регіону (громади)	Передбачено розроблення документу для певної частини області (громади), при цьому не визначено критерії та умов для визначення такої «частини»
Взаємоузгодженість планів відновлення на всіх рівнях (державо-регіон-громада) та з планувальними документами	Не передбачено розроблення Програми на національному рівні, відсутній зв'язок Програми комплексного відновлення громади із Програмою комплексного відновлення відповідної області. Не узгоджується з іншими планувальними документами
Структура документу: - завдання і заходи з відновлення та розвитку; - прогнозована потреба та можливі джерела фінансування; - індикатори виконання завдань і заходів, та їх прогнозні значення; - перелік проєктів регіонального (місцевого) розвитку	Структура документу: - загальний опис області (громади); - інформація про наявність містобудівної документації, стратегії; - аналіз негативних впливів; - аналіз ресурсів; - інформація щодо необхідності підготовки території до відновлення та технічної можливості, економічної доцільності відновлення населених пунктів; - обґрунтовані пропозиції щодо відновлення навколишнього природного середовища, щодо зміни функціонального призначення території, перенесення об'єктів, змін до містобудівної документації; - попередній фінансово-економічний розрахунок заходів та пропозиції щодо джерел фінансування; - план реалізації (включає перелік та зміст заходів, їх відповідальних виконавців, строки та індикатори реалізації)

*Джерело: сформовано авторами на основі [8; 10; 12; 13]

Отже, ключовими і проблемними питаннями відновлення територій на сьогодні є [2]:

- наскільки доцільно мати на місцевому рівні два документи відновлення: програму та план?
- від якого документу можна відмовитись і який зміст має покладатись у такий документ?
- яким є загальнонаціональний вектор відновлення і як розмежувати питання національного і місцевого рівня?
- координація політики відновлення на місцевому рівні.

Важливо наголосити, що Урядом вирішується питання методичного забезпечення місцевого самоврядування матеріалами з питань відновлення громад. Зокрема, профільним міністерством в рамках проєкту USAID DOBRE, підготовлена Методика розроблення програми комплексного відновлення території територіальної громади [3]. У посібнику розкрито питання змісту Програми та вихідні дані, які необхідно враховувати при її розробленні, передумови та послідовність дій для її розроблення, взаємодія з громадськістю. На думку авторів методики, Програма комплексного відновлення є передумовою залучення інвестицій та отримання міжнародної / державної допомоги для планування і реалізації конкретних заходів з відновлення та розвитку територіальних громад.

18 квітня 2024 року робочою групою Мінінфраструктури був презентований оновлений текст законопроекту «Про засади відновлення України» [4], який враховує досвід відновлення в умовах війни, а також всі важливі і актуальні аспекти впровадження проєктів на міжнародному, національному, регіональному та місцевому рівнях.

У представленому для обговорення документі визначено поняття відновлення, перелік об'єктів і суб'єктів відновлення, джерела фінансування та обов'язковість використання державної цифрової екосистеми DREAM.

Незважаючи на вищезазначені дії Уряду, залишаються проблематичними наступні питання здійсненності планувальних документів з відновлення територій:

1) відповідно до Постанови КМУ [11] фінансування проектів відновлення здійснюється з фонду ліквідації наслідків збройної агресії за наявності Програми комплексного відновлення області (громади), а положення щодо наявності Плану відновлення та розвитку будуть застосовуватися через шість місяців після припинення або скасування воєнного стану в Україні. При цьому Постановою КМУ 2024 року [5] з фонду ліквідації наслідків збройної агресії виділено Мінінфраструктурі на нову бюджетну програму для надання субвенції з державного бюджету місцевим бюджетам на реалізацію проектів (об'єктів, заходів), спрямованих на ліквідацію наслідків збройної агресії та Державному агентству відновлення та розвитку інфраструктури на нову бюджетну програму для будівництва та відновлення об'єктів інфраструктури, житлового та громадського призначення, громадських будинків та споруд. У рамках Надзвичайної кредитної програми для відновлення України в 2024 році [1] будуть реалізуватися 66 проектів, які спрямовані на відновлення соціальної інфраструктури та об'єктів житлово-комунального господарства в регіонах, що зазнали негативного впливу військової агресії росії;

2) брак кваліфікованих кадрів та відповідного досвіду написання планувальних документів, особливо на рівні територіальних громад;

3) незважаючи на наявність Методичних рекомендацій [9] досі відсутнє розуміння щодо того, хто має визначати об'єкти та поселення/частини поселень, які не будуть відбудовуватись і які для цього варто встановити критерії для прийняття рішень.

Ключовим питанням, над яким зараз працює Уряд, є комплексне планування, яке інтегрує актуалізовану Державну стратегію регіонального розвитку до 2027 року, План відновлення та розвитку регіонів, Програми комплексного розвитку громад, а також секторальні стратегії. Після затвердження переліку територіальних громад, які буде віднесено до територій відновлення, розпочнеться процес розробки планів відновлення та розвитку регіонів. Перелік територій відновлення буде включено до оновленої Державної стратегії регіонального розвитку. Крім цього, спільно з Єврокомісією розробляється «Український план» – дорожня карта зі структурних реформ та інвестиційних проектів, які Україна планує реалізувати теж до 2027 року. Основне завдання – повна синхронізація інструментів Державної регіональної політики з інструментами, що є в Європейському Союзі.

Висновки

В результаті проведеного дослідження був виявлений ряд істотних суперечностей у нормативних та законодавчих документах, що регулюють стратегічне планування та містобудівну діяльність щодо відновлення територій територіальних громад. Створювана система планування відновлення територій поки що не передбачує конкретних заходів із реалізації розроблених планів, у тому числі – в сфері містобудівної діяльності; також залишаються відкритими багато питань щодо фінансування заходів з відновлення, їхнього кадрового, методичного та ресурсного забезпечення.

Напрямом вирішення поставлених проблем може стати запровадження проектного підходу до відновлення територій, який узгоджуватиме стратегічне планування відновлення територій з містобудівною діяльністю, на основі якого й будуть реалізовуватися проекти відновлення територій територіальних громад. Також важливим кроком на шляху вирішення актуальних питань відновлення має стати залучення широкого кола експертів, інвесторів та громадськості до процесів відновлення на всіх етапах та рівнях.

Список використаної літератури

1. Затверджено фінансування 66 проектів відновлення в регіонах. *Офіційний сайт Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України*. 21.02.2024. URL: <https://mtu.gov.ua/news/35327.html> (дата звернення: 17.04.2024).

2. Лукеря Т. Що зараз відбувається з державною політикою відновлення громад і які питання треба врахувати. *Портал «Децентралізація»*. 04.09.2023. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/17127> (дата звернення: 14.04.2024).

3. Методика розроблення програми комплексного відновлення території територіальної громади. *Портал «Децентралізація»*. URL: https://decentralization.ua/uploads/library/file/885/Методика_ПКВ.pdf (дата звернення: 15.04.2024).

4. Мінінфраструктури: Робоча група обговорила напрацювання законопроекту про засади відновлення України. *Урядовий портал*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/mininfrastruktury-roboccha-hrupa-obhovoryla-napratsiuvannia-zakonoproektu-pro-zasady-vidnovlennia-ukrainy> (дата звернення: 21.04.2024).

5. Про виділення коштів з фонду ліквідації наслідків збройної агресії: Постанова Кабінету Міністрів України від 05.03.2024 № 247. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/247-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення: 21.04.2024).

6. Про внесення змін до деяких законів України щодо першочергових заходів реформування сфери містобудівної діяльності: Закон України від 12.05.2022 № 2254-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2254-20#Text> (дата звернення: 11.03.2024).

7. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо засад державної регіональної політики та політики відновлення регіонів і територій. Закон України від 09.07.2022 № 2389-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2389-20#Text> (дата звернення: 14.03.2024).

8. Про засади державної регіональної політики: Закон України в ред. від 21.07.2023 № 156-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/156-19#Text> (дата звернення: 11.03.2024).

9. Про затвердження методичних рекомендації щодо пріоритетизації проектів ліквідації наслідків, спричинених збройною агресією Російської Федерації проти України: Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 20.10.2023 № 964. URL: <https://mtu.gov.ua/documents/2355.html> (дата звернення: 17.04.2024).

10. Про затвердження порядків з питань відновлення та розвитку регіонів і територіальних громад: Постанова Кабінету Міністрів України від 18.07.2023. №731. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/731-2023-%D0%BF#n36> (дата звернення: 14.03.2024).

11. Про затвердження Порядку використання коштів фонду ліквідації наслідків збройної агресії: Постанова Кабінету Міністрів України від 10.02.2023 № 118. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/118-2023-%D0%BF#n30> (дата звернення: 27.03.2024).

12. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI в ред. від 04.01.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17> (дата звернення: 22.03.2024).

13. Що не так з плануванням відновлення і розвитку територій під час війни? Замітки з круглого столу проекту «UA-EU: Згуртованість і Розвиток». Портал «Децентралізація». 17.11.2023. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/17462> (дата звернення: 14.04.2024).

14. 7 листопада – міжнародна конференція «Реформа децентралізації: дорожня карта» – онлайн-трансляція. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Портал «Децентралізація». URL: <https://decentralization.gov.ua/news/17358> (дата звернення: 27.03.2024).

References

1. Ministry of Development of Communities, Territories and Infrastructure of Ukraine (2024). *Zatverdzheno finansuvannya 66 proyektiv vidnovlennya v rehionakh* [Financing of 66 reconstruction projects in the regions has been approved]. URL: <https://mtu.gov.ua/news/35327.html> (date of application: 17.04.2024).

2. Lukerya T. (2023). *Shcho zaraz vidbuvayet'sya z derzhavnoyu politykoyu vidnovlennya hromad i yaki pytannya treba vrakhuvaty* [What is happening now with the state policy of community restoration and what issues should be taken into account]. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/17127> (date of application: 14.04.2024).

3. "Decentralization" portal (2024). *Metodyka rozroblennya prohramy kompleksnoho vidnovlennya terytoriyi terytorial'noyi hromady* [Methodology for the development of a comprehensive restoration program of the territory of the territorial community]. URL: https://decentralization.ua/uploads/library/file/885/Методика_ПКВ.pdf (date of application: 15.04.2024).

4. Government portal (2024). *Mininfrastruktury: Robocha hrupa obhovoryla napratsyuvannya zakonoproektu pro zasady vidnovlennya Ukrayiny* [Ministry of Infrastructure: The working group discussed the development of the draft law on the principles of the restoration of Ukraine]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/mininfrastruktury-robocha-hrupa-obhovoryla-napratsyuvannya-zakonoproektu-pro-zasady-vidnovlennia-ukrainy> (date of application: 21.04.2024).

5. Cabinet of Ministers of Ukraine (2024). *Pro vydilennya koshtiv z fondu likvidatsiyi naslidkiv zbroynoyi ahresiyi: Postanova vid 05.03.2024 № 247* [On the allocation of funds from the fund for the liquidation of the consequences of armed aggression: Resolution No. 247 dated 05.03.2024]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/247-2024-%D0%BF#Text> (date of application: 21.04.2024).

6. Verkhovna Rada of Ukraine (2022). *Pro vnesennya zmin do deyakykh zakoniv Ukrayiny shchodo pershocherhovykh zakhodiv reformuvannya sfery mistobudivnoyi diyal'nosti: Zakon Ukrayiny vid 12.05.2022 № 2254-IX* [On the introduction of changes to some laws of Ukraine regarding the priority measures of reforming the sphere of urban planning activity: Law of Ukraine dated 05/12/2022 No. 2254-IX]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2254-20#Text> (date of application: 11.03.2024).

7. Verkhovna Rada of Ukraine (2022). *Pro vnesennya zmin do deyakykh zakonodavchykh aktiv Ukrayiny shchodo zasad derzhavnoyi rehional'noyi polityky ta polityky vidnovlennya rehioniv i terytoriy. Zakon Ukrayiny vid 09.07.2022 № 2389-IX* [On making changes to some legislative acts of Ukraine regarding the principles of the state regional policy and the policy of restoration of regions and territories. Law of Ukraine dated 07/09/2022 No. 2389-IX]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2389-20#Text> (date of application: 14.03.2024).

8. Verkhovna Rada of Ukraine (2023). *Pro zasady derzhavnoyi rehional'noyi polityky: Zakon Ukrayiny v red. vid 21.07.2023 № 156-VIII* [On the principles of state regional policy: Law of Ukraine in ed. dated 07/21/2023 No. 156-VIII]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/156-19#Text> (date of application: 11.03.2024).

9. Ministry of Development of Communities, Territories and Infrastructure of Ukraine (2023). Pro zatverdzhennya metodychnykh rekomendatsiyi shchodo priorityzatsiyi proektiv likvidatsiyi naslidkiv, sprychynenykh zbroynoyu ahresiyeyu Rosiys'koyi Federatsiyi proty Ukrainy: Nakaz vid 20.10.2023 № 964 [On the approval of methodological recommendations regarding the prioritization of projects to eliminate the consequences caused by the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine: Order dated 10/20/2023 No. 964]. URL: <https://mtu.gov.ua/documents/2355.html> (date of application: 17.04.2024).

10. Cabinet of Ministers of Ukraine (2023). Pro zatverdzhennya poryadkiv z pytan' vidnovlennya ta rozvytku rehioniv i terytorial'nykh hromad: Postanova vid 18.07.2023. №731 [On the approval of procedures for the restoration and development of regions and territorial communities: Resolution of 07/18/2023. No. 731]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/731-2023-%D0%BF#n36> (date of application: 14.03.2024).

11. Cabinet of Ministers of Ukraine (2023). Pro zatverdzhennya Poryadku vykorystannya koshtiv fondu likvidatsiyi naslidkiv zbroynoyi ahresiyi: Postanova vid 10.02.2023 № 118 [On the approval of the Procedure for the use of funds of the Fund for the Liquidation of the Consequences of Armed Aggression: Resolution No. 118 dated February 10, 2023]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/118-2023-%D0%BF#n30> (date of application: 27.03.2024).

12. Verkhovna Rada of Ukraine (2024). Pro rehulyuvannya mistobudivnoyi diyal'nosti: Zakon Ukrainy vid 17.02.2011 № 3038-VI v red. vid 04.01.2024 [On the regulation of urban planning activities: Law of Ukraine dated 02.17.2011 No. 3038-VI in ed. from 04.01.2024]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17> (date of application: 22.03.2024).

13. "Decentralization" portal (2023). Shcho ne tak z planuvannyam vidnovlennya i rozvytku terytoriy pid chas viyny? Zamitky z kruhloho stolu proyektu «UA-EU: Z·hurtovanist' i Rozvytok». [What is wrong with the planning of reconstruction and development of territories during the war? Notes from the round table of the "UA-EU: Cohesion and Development" project]. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/17462> (date of application: 14.04.2024).

14. "Decentralization" portal (2024). 7 lystopada – mizhnarodna konferentsiya «Reforma detsentralizatsii: dorozhnya karta» – onlayn-translyatsiya. Ministerstvo rozvytku hromad, terytoriy ta infrastruktury Ukrainy [November 7 – international conference "Decentralization reform: road map" – online broadcast. Ministry of Development of Communities, Territories and Infrastructure of Ukraine]. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/17358> (date of application: 27.03.2024).

О. М. ВОЛЬСЬКА

доктор наук з державного управління, професор,
професор кафедри економіки та морського права
Херсонська державна морська академія
ORCID: 0000-0001-5047-4579

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В МЕХАНІЗМІ КОМУНІКАЦІЇ МІСЦЕВОЇ ВЛАДИ ТА ГРОМАДСЬКОСТІ З МЕТОЮ ФОРМУВАННЯ ПОЗИТИВНОГО ІМІДЖУ УКРАЇНИ НА МІЖНАРОДНІЙ АРЕНІ

Стаття присвячена особливостям застосування сучасних інформаційних систем в механізмі комунікації органів місцевого самоврядування з громадськістю з метою формування позитивного іміджу нашої держави на світовій арені. Стаття складається з двох взаємозалежних компонентів: це інформаційні системи та позитивний імідж країни, що є своєрідним переходом від локального рівня публічного управління до державного, на якому формується політика щодо цифровізації сучасного українського суспільства. На основі визначення поняття «імідж держави» в інтерпретації сучасних дослідників, з'ясовано, що під іміджем країни можна розуміти систему уявлень про позитивні характеристики держави з наявними можливостями використання його потенціалу, який складається з позитивного іміджу територіальних утворень в середині держави. Зазначено, що основним завданням позитивного іміджу України є залучення інвестиційних ресурсів для соціально-економічного розвитку. Воно вимагає комплексного підходу та різноманітних зусиль до застосування інструментів позитивного іміджу, до яких варто віднести: ефективну дипломатію, культурну дипломатію, ефективні комунікації, економічний розвиток, підтримку стабільності та демократія. У роботі робиться акцент на застосування у функціонуванні органів місцевої влади інформаційних систем, які дозволять забезпечити сталий соціально-економічний розвиток територіальних громад. До яких віднесено: створення змістових веб-порталів та веб-сайтів, активне використання автоматизованих систем управління (Програмний комплекс «Інтегрована інформаційна система «Соціальна громада»), створення інвестиційного паспорту територіальної громади.

Ключові слова: інформаційні системи, механізм комунікації, місцева влада, громадськість, громадянське суспільство, демократична трансформація, міжнародна арена, позитивний імідж України.

O. M. VOLSKA

Doctor of Science in Public Administration, Professor,
Professor at the Department of Economics and Maritime Law
Kherson State Maritime Academy
ORCID: 0000-0001-5047-4579

APPLICATION OF INFORMATION SYSTEMS IN THE COMMUNICATION MECHANISM OF LOCAL GOVERNMENT AND THE PUBLIC WITH THE PURPOSE OF FORMING A POSITIVE IMAGE OF UKRAINE ON THE INTERNATIONAL ARENA

The article is devoted to the features of the use of modern information systems in the mechanism of communication of local self-government bodies with the public in order to form a positive image of our state on the world stage. The article consists of two interdependent components: information systems and a positive image of the country, which is a kind of transition from the local level of public administration to the state level, on which the policy regarding the digitalization of modern Ukrainian society is formed. Based on the definition of the concept of «state image» in the interpretation of modern researchers, it was found that the image of the country can be understood as a system of ideas about the positive characteristics of the state with the available opportunities to use its potential, which consists of the calling image of territorial entities in the middle of the state. It is noted that the main task of a positive image of Ukraine is to attract investment resources for socio-economic development. It requires a comprehensive approach and various efforts to apply the tools of a positive image, which include: effective diplomacy, cultural diplomacy, effective communications, economic development, stability support and democracy. The work focuses on the use of information systems in the work of local government bodies that will ensure the sustainable socio-economic development of territorial communities. These include: creation of meaningful web portals and websites, active use of automated management systems (Software Complex «Integrated Information System «Social Community»), creation of an investment passport of a territorial community.

Key words: information systems, communication mechanism, local government, public, civil society, democratic transformation, international arena, call image of Ukraine.

Постановка проблеми

У сучасних умовах розвитку інформаційних систем рухомою силою демократичних перетворень територіальної громади є ефективний формування сприятливого інформаційного середовища, яке буде відповідати за створення позитивного іміджу територіальних утворень та України в цілому. Територіальна громада сьогодні це утворення громадян для вирішення своїх інтересів життєзабезпечення на відповідній території. Застосування інформаційних систем в територіальній громаді дозволить якісно використовувати інструменти електронного врядування для створення сприятливого іміджу, що може допомогти громаді у вирішенні проблем соціально-економічного розвитку. Завдяки розвитку інформаційних систем, органи місцевої влади мають можливість демонстрації результатів своєї діяльності у світовій мережі, що позитивно впливає на формування позитивного іміджу нашої держави.

Впровадження та реалізація реформи місцевого самоврядування дозволило поширити повноваження органів місцевої влади та підвищити відповідальності за прийняття відповідних рішень місцевого розвитку. Сфера функціонування органів публічної влади на місцевому рівні включає рішення, які торкаються питань стратегічного менеджменту щодо ефективного використання ресурсів територіальної громади. Одним з основних інструментів прийняття відповідних рішень є активне використання інструментів цифровізації та реалізації ідеї «держава в смартфоні» через інформаційний портал «Дія». Саме технології застосування інформаційних систем в роботі органів місцевої влади як складової позитивного іміджу нашої держави буде присвячено дане дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання формування позитивного іміджу нашої держави розглядали в своїх працях вчені: В. Савка, О. Сметаніна, І. Карабаза, І. Струтинська, О. Соскін, Г. Полішко, В. Чекалюк та інш. Відмітимо, що у 2014 році Р. Матвейчук запропонував практичні рекомендації для активізації інформаційних систем у діяльності органів місцевої влад., які описують детальне застосування інструментів цифровізації [1].

Формування мети дослідження

Визначити шляхи удосконалення взаємодії органів місцевої влади з громадськістю за допомогою застосування сучасних інформаційних систем для формування позитивного іміджу України на міжнародній арені.

Викладення основного матеріалу дослідження

Формування позитивного іміджу України на світовій арені – це одно з основних завдань публічного управління в нашій державі. В сучасній літературі існують різні трактування цього терміну. Так, за визначенням В. Чекалюк міжнародний імідж держави «це комплекс об'єктивних, пов'язаних між собою властивостей (економічні, географічні, національні, демографічні показники), що сформувалися в процесі історичного розвитку як складної підсистеми світового устрою, ефективність взаємодії наведених складових визначає тенденції соціально-економічних, суспільно-політичних, національно-конфесійних та інших процесів як в самій державі, так і у світі» [2, с. 248]. Г. Полішко під іміджем країни розуміє інформаційне усвідомлення образу країни у на міжнародній арені з наявною безліччю об'єктивних чи суб'єктивних узагальнень [3, с. 8].

За нашою думкою, під іміджем країни можна розуміти систему уявлень про позитивні характеристики держави з наявними можливостями використання його потенціалу, який складається з позитивного іміджу територіальних утворень в середині держави. Позитивний імідж України складається з позитивного іміджу її регіонів, де кожен має свою унікальність та неповторність. Основним завданням позитивного іміджу є залучення інвестиційних ресурсів для соціально-економічного розвитку. Воно вимагає комплексного підходу та різноманітних зусиль до застосування інструментів позитивного іміджу, до яких варто віднести:

- ефективну дипломатію, що включає розвиток та зміцнювання дипломатичні відносини з іншими країнами, активну співпрацю в міжнародних організаціях, виступи на міжнародних форумах та конференціях для просування своїх ідей та інтересів;
- культурну дипломатію, що містить популяризацію української культури, мистецтва, мови та традицій через культурні обміни, фестивалі, виставки, туристичні програми та інші події;
- ефективні комунікації, що містить використання інформаційних систем для створення ефективних PR-кампаній, які просувають позитивний образ України у світі, використовуючи різноманітні медіа-канали та соціальні мережі;
- економічний розвиток, що містить демонстрацію показників сталого розвитку економіки, інновацій та підприємництва, залучення іноземних інвестицій;
- підтримку стабільності та демократія, що сприяє позитивному сприйняттю України як надійного партнера.

Зазначені інструменти мають допомогти сформувати позитивний імідж країни, залучити увагу світової спільноти та сприяти розвитку України як сучасної, відкритої та прогресивної держави.

Рішення зазначеного завдання можливо з використання сучасних інформаційних систем, які застосовуються у сучасному публічному управлінні. За визначенням О. Климчук, «інформаційна система – це система, що аналізує пам'ять і маніпулює інформацією про проблемну область. Додавання до поняття «система» слова «інформаційна» відбиває мету її створення і функціонування. Інформаційні системи забезпечують збір, зберігання, обробку, пошук, видачу інформації, необхідної у процесі прийняття рішень завдань із будь-якої галузі. Вони

допомагають аналізувати проблеми і створювати нові продукти. Сучасне розуміння інформаційної системи припускає використання як основного технічного засобу переробки інформації персонального комп'ютера» [4, с. 12].

Для реалізації інструменту комунікації варто застосовувати інформаційні системи на рівні територіальних утворень нашої держави, до яких відносяться територіальні громади, до відповідних процедур варто внести веб-портали та веб-сайти, створення та підтримка яких буде використовуватися територіальною громадою для публікації інформації про події, новини, програми та послуги, які надаються громадою. Це може включати оголошення місцевих заходів, оновлення проєктів інфраструктури, повідомлення від місцевої влади тощо. Саме через веб-портали та веб-сайти місцева влада взаємодіє з мешканцями. Веб-портал може надати можливість мешканцям звертатися за допомогою або надавати фідбек через онлайн-форми зворотного зв'язку, що суттєво підвищить якість публічних послуг, також надання електронних сервісів, таких як онлайн-реєстрація на заходи, замовлення документів, оплата податків та інших місцевих послуг, може зробити взаємодію з місцевою владою більш зручною для мешканців. Також веб-сайти допоможуть забезпечити прозорість та відкритість органів місцевої влади завдяки розміщенню інформації про бюджет, рішення місцевої влади, плани розвитку та інші ключові документи, веб-портал може сприяти прозорості та відкритості діяльності громади. Ще однією важливою функцією застосування інформаційних систем в територіальній громаді це використання веб-порталу для просування туристичного потенціалу громади, включаючи інформацію про місцеві визначні пам'ятки, культурні події, туристичні маршрути та послуги.

До інформаційних систем територіальної громади варто також віднести автоматизувати системи управління (АСУ), які використовуються для удосконалення діяльності органів місцевої влади, до такої системи варто віднести Програмний комплекс «Інтегрована інформаційна система «Соціальна громада». Система має забезпечити кожному громадянину вільний доступ до соціальної підтримки, адміністративних послуг соціального характеру за місцем свого проживання. Застосування зазначеного програмного комплексу дозволить забезпечити прийом звернень від мешканців громад на надання публічних послуг в електронному вигляді органам соціального захисту населення. Перевагами даної інформаційної системи є суттєво спрощення та пришвидшення обміну інформацією, забезпечення зручності для громадян, які знаходяться віддалено від органів соціального захисту [5].

Позитивний імідж громади має формуватися її громадянським суспільством, тобто спільною діяльністю органів влади та громадськістю із ефективним використанням інформаційних технологій як складової інформаційної системи. За пропозиціями авторів [6], застосування інформаційної системи в територіальній громаді дозволить підвищити адміністративну, економічну ефективність та оперативність управління, планування і використання всіх ресурсів територіальної громади. Запропонована система складається з трьох блоків: населення; фінанси та нерухомість. Як зазначають автори, система будується на принципах «відкритості, розвитку, можливості адаптації до зовнішніх змін та багаторівневості. Між рівнями забезпечений автоматизований обмін даними за допомогою універсальних модулів експорту-імпорту інформації» [6, с. 226]. За нашою думкою, запровадження зазначеної системи буде сприяти ефективному функціонуванню веб-системи територіального утворення, що позитивно відобразиться на іміджі територіальній громаді.

Ефективним результатом процесу децентралізації місцевого самоврядування є процес використання інформаційних систем та технологій при управлінні територіальними утвореннями. До позитивних наслідків, які мають відношення до формування позитивного іміджу нашої держави є створення інвестиційного паспорту територіальної громади. Зазначений документ містить повну інформацію про переваги та можливості територіальної громади, описує існуючі ресурси та дає інформацію про її наявний інвестиційний потенціал.

Висновки

На основі матеріалів дослідження можна зробити висновок, про підвищення рівня цифровізації за останні десятиріччя, що є дієвою складовою позитивного іміджу України. За останні роки не зважаючи на складні умови воєнного стану взаємодія членів громадянського суспільства з органами публічної влади постійно удосконалюється завдяки застосуванню сучасних інформаційних систем та технологій, які посилюють демократичні процеси та перетворення у сучасному Українському громадянському суспільстві. Сьогодні попри складні умови воєнного часу демократичні перетворення не гальмуються, а лише прискорюються, що дозволяє формувати позитивний імідж України на світовій арені.

Список використаної літератури

1. Матвейчук Р. Загальні рекомендації щодо застосування інформаційних технологій у діяльності органів місцевого самоврядування об'єднаних територіальних громад та створених ними центрів надання адміністративних послуг URL: <http://cnap.in.ua/wp-content/uploads/2017/08/11pdf>
2. Чекалюк В.В. Позитивний імідж держави і суспільства – результат ефективних комунікацій. *Наукові записки Інституту журналістики*. 2014. Т. 57. С. 247–251.
3. Полішко Г.Г. Національний брендинг у глобальній економічній системі: автореф. Дис. канд. екон. наук: 08.00.02. Київ, 2016. 19 с.

4. Климчук О.В. Інформаційні системи і технології в управлінні. Конспект лекцій для студентів СО «Магістр» заочної форми навчання спеціальності 073 Менеджмент освітньо-професійна програма «Менеджмент у судовій сфері» галузі знань 07 Управління та адміністрування. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2021. 160 с.
5. Більше тисячі територіальних громад приєдналися до Програмного комплексу «Інтегрована інформаційна система «Соціальна громада» URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/bilshе-tisyachi-teritorialnih-gromad-priyednalisya-do-programnogo-kompleksu-integrovana-informacijna-sistema-socialna-gromada>
6. Горошкова Л., Волков В., Карбівничий Р. Застосування інформаційних систем в управлінні об'єднаними територіальними громадами. Reporter of the Priazovskyi state technical university. Section: Economic sciences. 2018, Issue 35. P. 222–229.
7. О.Булуй, М.Плотніков, В.Ягупчук Інноваційні-інформаційні технології управління соціально-економічним розвитком територіальних громад. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. № 3. 2021. URL: http://www.dy.nauka.com.ua/pdf/3_2021/33.pdf DOI: 10.32702/2307-2156-2021.3.31
8. М.Ажажа, В.Воронкова, М.Бойко Планування діяльності територіальної громади в умовах цифровізації: міжнародний досвід. *Humanities Studies*. Випуск 17 (94). 2023. С. 181–189.
9. К.М. Краус, Н.М. Краус, Г.М. Поченчук Цифрова інфраструктура в умовах віртуалізації та нової якості управління економічними відносинами. *Ефективна економіка*. № 9. 2021. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=9279>
10. Деякі питання функціонування веб-порталу «Дія. Цифрова громада» Постанови Кабінету Міністрів України від 02 червня 2023 р. № 556 URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/deiaki-pytannia-funktsionuvannia-veb-portaluduia-tsy-a556>
11. Програмний комплекс «Інтегрована інформаційна система «Соціальна громада» URL: <https://socgromada.ioc.gov.ua/#advantages>
12. Єдина інформаційна система соціальної сфери активно впроваджується по всій Україні URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/yedyna-informatsiina-systema-sotsialnoi-sfery-aktyvno-vprovadzhuetsia-po-vsii-ukraini>
13. Інформація щодо запровадження нових електронних сервісів для громадян URL: <https://dszn-zoda.gov.ua/>
14. Індекс цифрової трансформації громад України URL: https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/news_post/2023/7/
15. Індекс цифрової трансформації громад України: підсумки 2023 року URL: <https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/reports/Індекс-цифрової-трансформації-регіонів-України-2023.pdf>
16. Проєкт Prosto «Підтримка доступності послуг в Україні», 2021-2023 URL: <https://decentralization.ua/donors/prosto>

References

1. R.Matvejchuk (2017) Zahal'ni rekomendatsii schodo zastosuvannia informatsijnykh tekhnolohij u diial'nosti orhaniv mistsevoho samovriaduvannia ob'iednanykh terytorial'nykh hromad ta stvorenykh nymy tsentriv nadannia administratyvnykh posluh [General recommendations on the use of information technologies in the activities of local self-government bodies of united territorial communities and administrative service provision centers created by them] URL: <http://cnap.in.ua/wp-content/uploads/2017/08/11.pdf> [in Ukrainian]
2. Chekaliuk V.V. (2014) Pozytyvnyj imidzh derzhavy i suspil'stva – rezul'tat efektyvnykh komunikatsij. *Naukovi zapysky Instytutu zhurnalistyky*. [A positive image of the state and society is the result of effective communications.] 2014. T. 57. S. 247–251. [in Ukrainian]
3. Polishko H.H. (2016) Natsional'nyj brendynh u hlobal'nij ekonomichnij systemi [National branding in the global economic system]: avtoref. Dys. kand. ekon. nauk: 08.00.02. Kyiv, 2016. 19 s. [in Ukrainian]
4. Klymchuk O.V. (2021) Informatsijni systemy i tekhnolohii v upravlinni. [Information systems and technologies in management.] *Konспект lektsij dlia studentiv SO "Mahistr" zaочноi formy navchannia spetsial'nosti 073 Menedzhment osvith'o-profesijna prohrama "Menedzhment u sudovij sferi" haluzi znan' 07 Upravlinnia ta administruvannia*. Vinnytsia: DonNU imeni Vasylia Stusa, 2021. 160 s. [in Ukrainian]
5. Bil'she tysiachi terytorial'nykh hromad priyednalisia do Prohramnogo kompleksu «Intehrovana informatsijna systema «Sotsial'na hromada» [More than a thousand territorial communities have joined the Program Complex "Integrated Information System "Social Community"] URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/bilshе-tisyachi-teritorialnih-gromad-priyednalisya-do-programnogo-kompleksu-integrovana-informacijna-sistema-socialna-gromada> [in Ukrainian]
6. Horoshkova L., Volkov V., Karbivnychyj R. (2018) Zastosuvannia informatsijnykh system v upravlinni ob'iednanymy terytorial'nymy hromadamy. [Application of information systems in the management of united territorial communities] Reporter of the Priazovskyi state technical university. Section: Economic sciences. 2018, Issue 35. P. 222–229 [in Ukrainian]
7. O.Buluj, M.Plotnikov, V.Yahupchuk (2021) Innovatsijni-informatsijni tekhnolohii upravlinnia sotsial'no-ekonomichnym rozvytkom terytorial'nykh hromad. [Innovative information technologies for managing the socio-

economic development of territorial communities.] Derzhavne upravlinnia: udoskonalennia ta rozvytok. № 3. 2021. URL: http://www.dy.nayka.com.ua/pdf/3_2021/33.pdf DOI: 10.32702/2307-2156-2021.3.31 [in Ukrainian]

8. M. Azhazha, V. Voronkova, M. Bojko (2023) Planuvannia diial'nosti terytorial'noi hromady v umovakh tsyfrovizatsii: mizhnarodnyj dosvid. [Planning the activities of the territorial community in the conditions of digitalization: international experience] Humanities Studies. Vypusk 17 (94). 2023. S. 181–189 [in Ukrainian]

9. K.M. Kraus, N.M. Kraus, H.M. Pochenchuk (2021) Tsyfrova infrastruktura v umovakh virtualizatsii ta novoi iakosti upravlinnia ekonomichnymy vidnosynamy. [Digital infrastructure in conditions of virtualization and new quality of management of economic relations] Efektyvna ekonomika. № 9. 2021. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=9279> [in Ukrainian]

10. Deiaki pytannia funktsionuvannia veb-portalu "Diia. Tsyfrova hromada" Postanovy Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 02 chervnia 2023 r. № 556 [Some issues of functioning of the web portal «Action. Digital community» Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 2, 2023 No. 556] URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/deiaki-pytannia-funktsionuvannia-veb-portalu-diia-tsy-a556> [in Ukrainian]

11. Prohramnyj kompleks «Intehrovana informatsijna systema «Sotsial'na hromada» [Program complex "Integrated information system "Social community"] URL: <https://socgromada.ioc.gov.ua/#advantages> [in Ukrainian]

12. Yedyna informatsijna systema sotsial'noi sfery aktyvno vprovadzhuiet'sia po vsij Ukraini [The unified information system of the social sphere is being actively implemented throughout Ukraine] URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/yedyna-informatsijna-systema-sotsialnoi-sfery-aktyvno-vprovadzhuietsia-po-vsii-ukraini> [in Ukrainian]

13. Informatsiia schodo zaprovadzhenniam novykh elektronnykh servisiv dlia hromadian [Information on the introduction of new electronic services for citizens] URL: <https://dszn-zoda.gov.ua/> [in Ukrainian]

14. Indeks tsyfrovoi transformatsii hromad Ukrainy [Index of digital transformation of Ukrainian communities] URL: https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/news_post/2023/7/ [in Ukrainian]

15. Indeks tsyfrovoi transformatsii hromad Ukrainy: pidsumky 2023 roku [Index of digital transformation of Ukrainian communities: results of 2023] URL: <https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/page/community/reports/Indeks-tyfrovoi-transformatsii-rehioniv-Ukrainy-2023.pdf> [in Ukrainian]

16. Proiekt Prosto «Pidtrymka dostupnosti posluh v Ukraini», 2021-2023 [Prosto project "Supporting the availability of services in Ukraine", 2021-2023] URL: <https://decentralization.ua/donors/prosto> [in Ukrainian]

М. І. ГУБА

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-6624-9074

ПРОЗОРИСТЬ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНСТИТУЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

У статті обґрунтовано важливість прозорості і відкритості місцевої влади як фундаментального принципу інституційної стійкості управління та реалізації владних повноважень на місцевому рівні, що має стати домінуючим у забезпеченні соціально-економічного розвитку територіальних громад України в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення економіки країни, оскільки прозорість влади сприятиме ефективному використанню потенціалу територіальних громад та підвищенню їх продуктивної спроможності. У статті здійснено аналіз використання термінів «відкритість» та «прозорість» у правовому полі вітчизняного законодавства. Висвітлено особливості оцінювання рівня прозорості влади, зокрема шляхом застосування методологічного підходу до розрахунку індексу прозорості міст, який проводиться громадською організацією Transparency International Ukraine в межах Програми Transparent cities/Прозорі міста. Визначено, що рівень прозорості місцевої влади є важливим чинником соціально-економічного розвитку міських територіальних громад в Україні. Визначено фактори, які впливають на рівень прозорості і відкритості органів місцевого самоврядування. Встановлено, що функціонування територіальних громад в умовах правил, визначених від час реформи децентралізації, сприяло забезпеченню стійкості громад до викликів воєнного часу. Зроблено висновки про те, що питання прозорості та підвітності є одними з основних принципів успішного відновлення України, продовження підтримки міжнародних партнерів, та успішної майбутньої євроінтеграції, і є важливими не тільки для місцевих органів влади і мешканців, а й для забезпечення підтримки України міжнародною спільнотою. Такий підхід сприяє більш ефективному муніципальному управлінню в умовах воєнного часу, та забезпечить не тільки відновлення, але й довгостроковий стійкий розвиток місцевих громад, зміцнення місцевої демократії та впровадження доброго врядування в мирний час.

Ключові слова: місцеве самоврядування, прозорість, відкритість влади інституційна стійкість, місцева демократія.

M. I. HUBA

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

TRANSPARENCY OF LOCAL SELF-GOVERNMENT AS A FACTOR IN ENSURING THE INSTITUTIONAL STABILITY OF THE PUBLIC ADMINISTRATION SYSTEM UNDER MARTIAL LAW

The article substantiates the importance of transparency and openness of local authorities as a fundamental principle of institutional sustainability of governance and exercise of power at the local level, which should become dominant in ensuring socio-economic development of territorial communities of Ukraine under martial law and post-war economic reconstruction, since transparency of power will contribute to the effective use of the potential of territorial communities and increase their productive capacity. The article analyzes the use of the terms "openness" and "transparency" in the legal framework of national legislation. The article highlights the peculiarities of assessing the level of transparency of the authorities, in particular, by applying a methodological approach to calculating the city transparency index conducted by Transparency International Ukraine within the Transparent Cities program. It is determined that the level of transparency of local authorities is an important factor in the socio-economic development of urban territorial communities in Ukraine. The factors that influence the level of transparency and openness of local governments are identified. It is established that the functioning of territorial communities according to the rules established after the decentralization reform contributed to ensuring the resilience of communities to the challenges of wartime. It is concluded that the issues of transparency and accountability are among the main principles of successful recovery of Ukraine, continued support of international partners, and successful future European integration, and are important not only for local authorities and residents, but also for ensuring the support of Ukraine by the international community. Such an approach contributes to more effective municipal governance in wartime, and will ensure not only the recovery but also the long-term sustainable development of local communities, strengthening local democracy and implementing good governance in peacetime.

Key words: local self-government, transparency, openness of government, institutional sustainability, local democracy.

Постановка проблеми

Децентралізація стала одною із успішніших реформ в Україні довоєнного часу, завдяки якій вдалось посилити роль місцевого самоврядування в управлінні територіями і ресурсами. Від початку її здійснення реформа децентралізації показала свою природно стійкість і важливість, як політичну, так і безпекову. В умовах воєнного стану відбувається переоцінка значення та роль децентралізації в контексті забезпечення інституційної стійкості системи місцевого самоврядування. Саме можливість та спроможність місцевої влади самостійно приймати критично важливі і швидкі рішення допомогла пройти територіальним громадам величезні випробування та продемонструвати свою важливість в умовах воєнного стану як одну зі складових оборони та спротиву ворогові. На час воєнного стану указом президента були утворені військові адміністрації в усіх областях, районах та 184 населених пунктах були утворені військові адміністрації. Під час воєнного стану забезпечення місцевої демократії має стати запорукою поглиблення та завершення реформи децентралізації, що має величезне значення для повоєнної відбудови. Використання окремих інструментів місцевої демократії на законодавчому рівні не обмежене під час дії воєнного стану. Проте, реальна можливість використання решти інструментів, що сприяють дотриманню демократичних цінностей на локальному рівні зумовлена об'єктивними обставинами, що може стати викликом були відкритими і прозорими для місцевого самоврядування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У вітчизняній науковій літературі принципам прозорості, відкритості та публічності приділяється певна увага. Прозорість місцевої влади є предметом досліджень для багатьох науковців у різних областях, таких як політична наука, соціологія, публічне управління та інші. Дослідження в цій області включають аналіз законодавства щодо прозорості, оцінку практичної реалізації прозорих політик та процесів на місцевому рівні, вивчення впливу прозорості на ефективність управління та задоволення потреб громади тощо. Зокрема цього питання торкались в своїх працях О. В. Жданова, В. Г. Комарова, І. В. Максименко, Т. В. Колісник, О. М. Дудник, О. М. Мірошниченко, С. О. Гордійчук, Л. В. Самчук. Ці та інші дослідження розкривають важливість прозорості місцевого управління та її вплив на розвиток громад та ефективність управління на місцевому рівні. В той же час, аспекти прозорості місцевої влади недостатньо розглянуті в контексті його забезпечення від час воєнного стану, а отже потребують більш детального аналізу.

Формування мети дослідження

Метою цієї статті є дослідження теоретичних засад та інструментів забезпечення прозорості місцевого самоврядування як фактору забезпечення інституційної стійкості системи публічного управління в умовах воєнного стану.

Виклад основного матеріалу дослідження

Під час реалізації заходів щодо децентралізації були ухвалені законодавчі акти та здійснено низку заходів, які сприяють посиленню демократії та розвитку самоврядування на місцевому рівні, наприклад, щодо забезпечення доступу до інформації в усіх органах місцевого самоврядування, про співпрацю територіальних громад, бюджетну децентралізацію, громадський контроль, розподіл повноважень між гілками влади, про службу в органах місцевого самоврядування тощо, що забезпечує можливість громад у їх професійному та якісному управлінні. Унаслідок нових законів у сфері децентралізації в 2014–2020 роках було повністю змінено адміністративно-територіальний поділ України. Треба зазначити, що під час дії воєнного стану, введеного відповідно до Закону України «Про правовий режим воєнного стану», участь жителів територіальних громад у вирішенні питань місцевого значення в цілому не обмежена, хоча використання деяких інструментів місцевої демократії були обмеженими із об'єктивних причин воєнних дій та безпеки [1].

Поглиблення демократизації суспільства в контексті завершення реформи децентралізації, окрім своєї ролі в умовах війни, має величезне значення для повоєнної відбудови. Громади активно включилися в процеси відновлення та розробляють або переглядають стратегічні документи, розробляють та впроваджують проекти відновлення та розвитку. Цьому свідчить інформація, розміщена на порталі платформи DREAM (Цифрова екосистема для підзвітності управління відновленням), яка збирає, упорядковує та публікує відкриті дані на всіх етапах проектів відновлення в режимі реального часу, впроваджуючи найвищі стандарти прозорості та підзвітності [2]. Будь-хто, в будь-якому місці може контролювати результативність реалізації проекту та використовувати цю інформацію для зменшення ризиків, створення точної звітності та покращення загальної ефективності проекту. Це означає, що місцеві громади готові брати на себе відповідальність за реалізацію значної частини проектів відновлення. Проблеми координаційного та нормативного характеру в організації державної політики відновлення, а саме відсутність його існування як нормативно-правового документу, ускладнюють пріоритизацію проектів громад в рамках стратегій відновлення. Для громад, які планують відновлення, пріоритизація проектів має відбутися відповідно Методичних рекомендацій (наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України (далі – Мінвідновлення) від 20.10.2023 року № 964, розроблених на основі Пріоритизаційної рамки інфраструктурних проектів Світового Банку [3]. Тому, саме публічна пріоритизація проектів за участю громадськості й місцевого бізнесу дозволить уникнути багатьох запитань мешканців щодо доцільності виділення коштів

на відбудову або ремонт того чи іншого об'єкта, і подати підтриману громадою заявку на фінансування списку проектів з чіткою пріоритетизацією, що надає певні переваги над іншими: дозволяє оптимально використати обмежені фінансові ресурси, як самої громади, так і потенційних донорів; економить час при подачі та розгляді заявок на фінансування проектів відновлення; надає можливість долучити до реалізації заходів зацікавлене громадянське суспільство, а також до інвестування в реалізацію проектів підприємців.

Місцеве самоврядування, як і вся країна загалом, переживає найскладніший період за всі роки незалежності. Завдяки реформі децентралізації, органи місцевого самоврядування відіграли вирішальну роль у забезпеченні стійкості територіальних громад та України. За результатами дослідження «Територіальні громади під час війни: стійкість та безпека в умовах прямої загрози життю. Херсонська та Запорізька область» спільнота громади у критичній ситуації соціальної чи/та техногенної катастрофи здатна до все більшої консолідації зусиль, вибудовування горизонтальних взаємодій, високого рівня згуртованості, готовності допомагати іншим, не розраховуючи на вдячність та незважаючи на пряму загрозу життю [4].

Отже, функціонування територіальних громад в умовах правил, сформованих від час реформи децентралізації, та отримання досвіду дистанційної роботи в минулі часи забезпечили стійкість громад до викликів фінансової нестабільності та загроз зруйнування інституційної цілісності, що допомогло тиловим громадам швидко адаптуватися до життєдіяльності в умовах війни, відновити економічні показники до рівнів початку 2022 року. Стійкість громад, виявлена на тимчасово окупованих територіях, сприяла прискоренню деокупації та створила умови для швидкої стабілізації – доведенням цього є, зокрема, досвід Херсону й інших громад Херсонської області [5]. Стабілізація й відновлення територіальних громад вимагають реалізовувати ефективну й прозору систему стратегічного планування, де поняття «прозорість» займає центральне місце в стратегії відновлення та розвитку. Здатність забезпечити прозорість у всіх сферах суспільного життя є необхідною передумовою для формування стратегії відновлення. Від ефективного використання ресурсів до побудови довіри громадян до владних структур – це лише частина аспектів, де прозорість відіграє визначальну роль.

Українське законодавство чітко не визначає поняття «прозорість», але обґрунтовує його в різних аспектах в контексті його забезпечення в публічному управлінні (табл. 1). Загалом українське законодавство ідентифікує поняття «прозорість» як необхідність дотримання принципів відкритості та підзвітності у різних сферах і в окремих випадках деталізує їх складові.

Таблиця 1

Поняття «відкритість», «прозорість» в контексті законодавства України

Законодавчий акт	Зміст положення акту законодавства
Закон України «Про доступ до публічної інформації»	Ст. 2 п. 1. Метою цього Закону є забезпечення прозорості та відкритості суб'єктів владних повноважень і створення механізмів реалізації права кожного на доступ до публічної інформації. Ст. 4 п. 1. Доступ до публічної інформації відповідно до цього Закону здійснюється на принципах ... прозорості та відкритості діяльності суб'єктів владних повноважень;
Закон України «Про інформацію»	Ст. 3. п. 1. Основними напрямками державної інформаційної політики є: ... забезпечення відкритості та прозорості діяльності суб'єктів владних повноважень;
Закон України «Про публічні закупівлі»	Ст. 5. п. 3. Закупівлі здійснюються за такими принципами ... відкритість та прозорість на всіх стадіях закупівель;
Закон України «Про державну службу»	Ст. 4. п. 1. Державна служба здійснюється з дотриманням таких принципів: ... прозорості – відкритість інформації про діяльність державного службовця, крім випадків, визначених Конституцією та законами України;
Бюджетний Кодекс України	Ст. 7. п. 1. Бюджетна система України ґрунтується на таких принципах: ... 10) принцип публічності та прозорості – інформування громадськості з питань бюджетної політики, складання, розгляду, затвердження, виконання державного бюджету та місцевих бюджетів, а також контролю за виконанням державного бюджету та місцевих бюджетів;
Закон України «Про засади державної регіональної політики»	Ст. 3. п. 1. Державна регіональна політика реалізується на основі таких принципів: ... 4) відкритості – забезпечення вільного доступу до інформації, що визначає державну регіональну політику і є у розпорядженні органів державної влади, органів влади АРК та органів місцевого самоврядування; Ст. 23. п. 4. Система моніторингу ґрунтується на принципах: ... 9) відкритості та доступності результатів моніторингу для громадськості.
Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 лютого 2016 р. № 92-р «Про схвалення Концепції створення інтегрованої інформаційно-аналітичної системи «Прозорий бюджет»»	Система «Прозорий бюджет» передбачає впровадження кращих міжнародних рекомендацій Світового банку, Міжнародного валютного фонду та Міжнародного бюджетного партнерства (ІВР). Система «Прозорий бюджет» – інформаційний ресурс, що забезпечує доступ до нормативної, статистичної та аналітичної інформації у сфері управління публічними коштами.

Отже, прозорість в публічному управлінні є ключовим фактором у формуванні довіри українців до влади та має стати фундаментом успішної відбудови України, створення справедливого, ефективного і демократичного суспільства, і стати прикладом для інших країн, які переживають подібні випробування [6].

За результатами дослідження 100 міських рад (2017–2021 рр.), 70 міських рад (2022р.), проведеного Програмою Transparent cities/Прозорі міста громадської організації Transparency International Ukraine в Україні вдалось досягнути значного поступу у відкритості даних [7]. Протягом 2017–2021 років у 100 найбільших містах середній рівень прозорості зріс на 62,2%. В умовах повномасштабного російського вторгнення (аналіз охопив період діяльності місцевої влади з березня по грудень 2022 року) органи місцевого самоврядування України демонструють стійкість й намагаються адаптувати свою діяльність до вимог часу. Середній показник виконання індикаторів за методикою оцінювання програми «Transparent cities/Прозорі міста» 70 містами становить 37,5%, де вищий рівень виконання індикаторів є вимоги українського законодавства.

Міста, відносно прозорі у своїй роботі до впровадження воєнного стану, продемонстрували вищі показники прозорості й у 2022 році. Міста Дніпро, Львів та Мукачево потрапили в категорію «прозорих» в умовах воєнного стану, десять міст (Вінниця, Володимир, Житомир, Кам'янське, Київ, Кропивницький, Луцьк, Тернопіль, Ужгород, Чернівці) визначені «частково прозорими», решта міст (57) є «непрозорими» [7]. На рівень прозорості міст вплинули низка чинників, в тому числі пов'язаних з обмеженнями воєнного часу: призупинення роботи загальнонаціональних порталів (Портал відкритих даних); відсутність необхідних ресурсів для реалізації окремих індикаторів (насамперед тих, що пов'язані з безпекою); ускладнення роботи з наповнення офіційних вебсайтів; складність відновлення повноцінної роботи ОМС на деокупованих територіях тощо [7].

Більшість міст адаптували офіційні сайти та застосунки до вимог воєнного часу: у всіх 70 містах (100%) можна подати електронний запит на публічну інформацію; 58 міст (82,9%) публікували на офіційному сайті рішення міськради та виконкому; 63 (90%) надавали інформацію про укриття, 49 (70%) з них оновлювали ці дані щонайменше раз на пів року; 34 міста (48,6%) оприлюднюють актуальну інформацію для ВПО (про житло, гуманітарну допомогу, працевлаштування, постановку на облік); 34 муніципалітети (48,6%) підтримують бізнес, оприлюднюючи актуальну для нього інформацію; 19 міст (27,1%) розробили онлайн-заявки на отримання соціальних послуг [7]. Найменш втілюваними стали заходи, для реалізації яких необхідні значні ресурси, спеціальні цифрові навички та/або можливості (у т. ч. фінансові) забезпечувати сталість виконання (проведення електронних аукціонів чи онлайн-трансляцій засідань). Але в цілому ситуація з доступом до публічної інформації міст погіршилась з запровадженням воєнного стану. Апелюючи до безпекових ризиків, деякі міста призупинили роботу офіційних порталів або ж обмежували доступ до окремих розділів чи сторінок [7]. Часто це є наслідком обмежень воєнного часу або нестачі ресурсів, спеціальних цифрових навичок тощо.

Отже, надзвичайні умови під воєнного стану не тільки уразили роботу органів місцевого самоврядування, а й підсвітили наявні й раніше проблеми, в тому числі й у сфері прозорості. Очевидним виявилось, що у період 2017–2022 роках українці все більше виявляли бажання долучатися до прийняття рішень у житті громади, і місцеві влади зосереджували всі зусилля на захисті своїх містян, але введення воєнного стану істотно вплинуло не лише на соціально-економічний, демографічний розвиток, а й на позитивну динаміку реформ, які успішно стартували в Україні до моменту повномасштабного вторгнення. З кожним місяцем воєнного періоду рівень прозорості більшості місцевих влад регресував. Безумовно нинішній стан громад істотно відрізняється залежно від того, наскільки вони віддалені від лінії бойового зіткнення та наскільки вони постраждали від воєнних дій. З іншого боку, стало очевидним, що реформи попередніх років, які надали місцевим посадовим особам більше відповідальності та ресурсів, сприяли підвищенню стійкості і спротиву громад у складних обставинах сьогодні.

Виклики, створені широкомасштабною російською агресією, стали серйозним випробуванням для місцевого самоврядування. Місцеві бюджети змінили свою структуру, стаючи більш залежними від трансфертів з центрального бюджету, виникли труднощі в організації роботи місцевих рад через відсутність депутатів, відносини між виборними органами влади та військовою адміністрацією стали новою реальністю, яка потребує подальшої законодавчої регламентації, законодавчо введені ряд обмежень щодо повноважень місцевої влади [8]. Вирішенню цих проблем лежать виключно в забезпеченні прозорості та чітких правил у взаємовідносинах місцевої та державної влади.

Мінвідновлення заохочує органи місцевого врядування до більшої прозорості та відкритості у взаємодії з громадами, представниками бізнесу та міжнародними партнерами новими проектами і пропозиціями. Так, Мінвідновлення аносувало створення «Територіальних команд підтримки реформ», ключовою задачею яких є надавати підтримку у питаннях розробки стратегічних планів відновлення та розвитку, консультування щодо залучення інвестицій та реалізації проектів відновлення, а також сприяння покращенню прозорості та відкритості місцевого самоврядування. Також Мінвідновлення впроваджує комунікаційну платформу єдиної електронної екосистеми управління відновленням DREAM (Digital Restoration Ecosystem for Accountable Management), яка зорієнтована серед іншого на планування та забезпечення прозорості розподілу і використання фінансових ресурсів під час відновлення та/або відбудови об'єктів, зокрема коштів міжнародних партнерів [2].

Враховуючи, що значна частина громад не мають необхідного досвіду та експертизи в питаннях взаємодії з донорами та реалізації інфраструктурних проектів із залученням зовнішнього фінансування, злагоджена співпраця центральної влади та місцевого самоврядування буде запорукою ефективності відновлення економіки країни, одним із критерієм якої буде забезпечення прозорості та відкритості роботи місцевого самоврядування.

Висновки

Цілком очевидно, що питання прозорості та підзвітності є одними з основних принципів успішного відновлення України, продовження підтримки міжнародних партнерів, та успішної майбутньої євроінтеграції, і є важливими не тільки для місцевих органів влади і мешканців, а й для забезпечення підтримки України міжнародною спільнотою.

Аналіз поточного стану самих органів місцевої влади у повоєнний період вимагає глибокого розуміння різноманітних викликів та потреб. Відновлення та розвиток територіальний громад має ґрунтуватися на забезпеченні відкритості і прозорості діяльності органів місцевого самоврядування. Під прозорістю слід розуміти стан, за якого громадянам забезпечується право та здатність мати доступ до інформації, право на участь у прийнятті рішень з питань, що стосуються розвитку громади, а органи місцевого самоврядування, усвідомлюючи важливість відкриття інформації та залучення громадськості, проактивні в цьому процесі. Саме такий підхід сприяє більш ефективному муніципальному управлінню в умовах воєнного стану, який забезпечить не тільки відновлення, але й довгостроковий стійкий розвиток місцевих громад, зміцнення місцевої демократії та впровадження доброго врядування в мирний час.

Список використаної літератури

1. Закон України «Про правовий режим воєнного стану» [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text>
2. Сайт Цифрової екосистеми для підзвітного управління відновленням DREAM. Аналітичний модуль. URL: <http://surl.li/tlsup>
3. Методичні рекомендації щодо пріоритезації проектів ліквідації наслідків, спричинених збройною агресією Російської Федерації проти України, затвержені наказом Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 20.10.2023 року № 964. URL: <http://surl.li/lttji>
4. О. Міхеєва, І. Семиволос, С. Данилов. Дослідження «Територіальні громади під час війни: стійкість та безпека в умовах прямої загрози життю. Херсонська та Запорізька область». 2023. HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG. Київ. URL: <http://surl.li/tlwew>
5. Місцеве самоврядування як чинник стійкості тилу: аналіт. доп. / [В. Г. Потапенко, В. О. Баранник, Н. В. Бахур та ін.]; за ред. В. Г. Потапенка. Київ : НІСД, 2023. 54 с. URL: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2023.02>
6. Губа М.І., Линецький М.В. Публічність і прозорість місцевого бюджету як інструмент антикорупційної політики на рівні місцевого самоврядування. *Наукові перспективи* : журнал. 2022. № 1(19) 2022. С.79–92. DOI: [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2022-1\(19\)-79-91](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2022-1(19)-79-91)
7. Дослідження «Між безпекою та прозорістю: дослідження роботи міських рад під час війни» в межах проекту «Transparent Cities: електронна платформа взаємодії громадян та місцевої влади для забезпечення підзвітності та належного врядування», 2023. URL: <http://surl.li/tlxny>
8. Войтенко, О., Шульц, С., Білик, І., & Капленко, Г. (2022). Прозорість як чинник економічного зростання територіальних громад в Україні. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 5(46), 387–397. DOI: <https://doi.org/10.55643/fcapter.5.46.2022.3879>
9. Венгер В. М. Прозорість як принцип діяльності органів публічної влади. НАУКОВІ ЗАПИСКИ НАУКМА. 2017. Том 200. *Юридичні науки*. С. 79–84. URL: <http://surl.li/tlxkd>

References

1. Zakon Ukrainy «Pro pravovyi rezhym voiennoho stanu» [The Law of Ukraine "On the Legal Regime of Martial Law"] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text> – Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text> [in Ukrainian]
2. Sait Tsyfrovoyi ekosystemy dlia pidzvitnoho upravlinnia vidnovlenniam DREAM. Analitichnyi modul [Website of the Digital Ecosystem for Accountable Recovery Management DREAM. Analytical module] <http://surl.li/tlsup> – Retrieved from: <http://surl.li/tlsup> [in Ukrainian]
3. Metodichni rekomendatsii shchodo priorytezhatsii proektiv likvidatsii naslidkiv, sprychynenykh zbroinoiu ahresiiu Rosiiskoi Federatsii proty Ukrainy. Nakaz Ministerstva rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy (2023) № 964. [Methodological Recommendations on Prioritization of Projects for Elimination of Consequences Caused by the Armed Aggression of the Russian Federation against Ukraine. Order of the Ministry of Communities, Territories and Infrastructure of Ukraine of 20.10.2023 No. 964] – Retrieved from: <http://surl.li/lttji> [in Ukrainian]
4. O. Mikheieva, I. Semyvolos, S. Danylov (2023). Doslidzhennia «Terytorialni hromady pid chas viiny: stiikist ta bezpeka v umovakh priamoj zahrozy zhyttiu. Khersonska ta Zaporizka oblast». [Study "Territorial communities during the war: resilience and security in the face of direct threats to life. Kherson and Zaporizhzhia regions".] HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG. Kyiv. <http://surl.li/tlwew> – Retrieved from: <http://surl.li/tlwew> [in Ukrainian]

5. Potapenko V. H., Barannyk V. O., Bakhur N. V. (2023) Mistseve samovriaduvannia yak chynnyk stiikosti tylu: analit. dop. [Local Self-Government as a Factor of Home Front Resilience: Analytical Report] Kyiv. <http://surl.li/ngjzv> Retrieved from <http://surl.li/ngjzv> [in Ukrainian]

6. Huba M.I., Lynetskyi M.V.(2022) Publichnist i prozorist mistsevoho biudzhetu yak instrument antykoruptsii-noi polityky na rivni mistsevoho samovriaduvannia [Publicity and transparency of the local budget as an instrument of anti-corruption policy at the level of local self-government]. Naukovi perspektyvy: zhurnal. <http://surl.li/tlzsrb> Retrieved from: <http://surl.li/tlzsrb> [in Ukrainian]

7. Doslidzhennia «Mizh bezpekoiu ta prozoristiu: doslidzhennia roboty miskykh rad pid chas viiny» v mezhakh proiektu «Transparent Cities: elektronna platforma vzaiemodii hromadian ta mistsevoi vlady dlia zabezpechennia pidzvitnosti ta nalezhnoho vriaduvannia» (2023). [Between Security and Transparency: A Study of the Work of City Councils during the War] <http://surl.li/tlxny> – Retrieved from: <http://surl.li/tlxny> [in Ukrainian]

8. Voitenko, O., Shults, S., Bilyk, I., & Kaplenko, H. (2022). Prozorist yak chynnyk ekonomichnoho zrostantia terytorialnykh hromad v Ukraini. Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice [Transparency as a Factor of Economic Growth of Territorial Communities in Ukraine]. <https://doi.org/10.55643/fcaptp.5.46.2022.3879> Retrieved from: <https://doi.org/10.55643/fcaptp.5.46.2022.3879> [in Ukrainian]

9. Venher V. M.(2017) Prozorist yak pryntsyv diialnosti orhaniv publichnoi vlady. NAUKOVI ZAPYSKY NaUKMA. [Transparency as a principle of activity of public authorities] Tom 200. Yurydychni nauky. Vys.79–84. <http://surl.li/tlxkd> – Retrieved from: <http://surl.li/tlxkd>

В. М. ДЕМЧЕНКО

кандидат філологічних наук, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-1841-7798

ВІД ПЕТРА I ДО СУЧАСНОЇ РОСІЇ: ІМПЕРСЬКІ ТРАДИЦІЇ ТА ОЗНАКИ

У статті проаналізовано провідні риси російської імперськості, що описані російським письменником-істориком в еміграції Борисом Акуніним. Наведено аналогії із советською практикою у проєкції на сучасні українські реалії. З'ясовано, що імперські традиції мають генезою монгольську систему управління часів Чингізхана, і навіть межі російської / советської імперії орієнтовно відповідають захопленій ханами території. Акцентовано, що саме від Петра I походять не лише офіційне декларування російської імперії як такої, але й управлінська концепція «московства» (за термінологією Павла Штепи), що сполучає монгольську генезу та угро-фінський менталітет. Проаналізовано систему державного управління в Росії того часу та її спадковість у подальші століття, коли навіть зі зміною (офіційною, але формальною та фейковою) державного устрою сутність його принципово не змінювалася.

Зроблено висновок, що імперські риси є загрозою для українського державотворення: по-перше, через спадковість їх як рудиментів в системі управління (зокрема централізованість влади, командно-адміністративний стиль); по-друге – через постійну загрозу з боку російської держави, як би вона не називалася («імперія», «союз», «федерація»), в усіх сферах життя – культурній (зокрема й мовній), економічній (зокрема й енергетичній), релігійній (вплив московської церкви), інформаційній (експансія фейкової пропаганди) тощо; по-третє, через конкретну воєнну загрозу, яку ми відчуваємо кожного дня, адже ще Петро I перетворив усю державу на воєнну машину – воєнно-промисловий комплекс із виробництва зброї. Тобто все спрямовано на отримання силових (воєнної) переваги, на захоплення нових територій та їх утримання. У цьому й полягає імперська сутність Росії, що має знати кожен українець, а також розуміти ті рудименти в собі й нівелювати їх.

Ключові слова: імперія, Петро I, державна служба, воєнно-промисловий комплекс.

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

IMPERIAL TRADE FROM PETER I-ST TO MODERN RUSSIA HOW A THREAT FOR UKRAINIAN GOVERNMENT

The article analyzes the leading features of Russian imperialism described by the Russian writer-historian in exile Boris Akounin. Analogies with the Soviet practice in the projection on modern Ukrainian realities are given. It has been found that the imperial traditions have their genesis in the Mongolian system of governance of the times of Genghis Khan, and even the borders of the Russian / Soviet empire approximately correspond to the territory captured by the Khans. It is emphasized that it is from Peter I that not only the official declaration of the Russian Empire as such, but also the administrative concept of «Muscoviteness» (according to the terminology of Pavlo Shtepa) originates, which connects the Mongolian genesis and the Finno-Ugric mentality. The system of state administration in Russia at that time and its heredity in subsequent centuries were analyzed, when even with a change in the (official, but formal and fake) state system, its essence did not fundamentally change.

It is concluded that imperial features are a threat to Ukrainian state-building: firstly, due to their heredity as rudiments in the management system (in particular, centralization of power, command-administrative style); secondly, due to the constant threat from the Russian state, no matter what it is called («empire», «union», «federation»), in all spheres of life – cultural (especially linguistic), economic (especially energy), religious (influence of the Moscow church), informational (expansion of fake propaganda), etc.; thirdly, because of the specific military threat that we feel every day, because even Peter I turned the entire state into a war machine – a military-industrial complex for the production of weapons. That is, everything is aimed at obtaining a power (military) advantage, at capturing new territories and holding them. This is the imperial essence of Russia, which every Ukrainian should know, as well as understand those rudiments in himself and level them.

Key words: empire, Peter I, civil service, military-industrial complex.

Постановка проблеми

Сьогодні, коли майже всі жителі України зрозуміли реальну сутність сусідньої російської держави, яка впродовж трьох століть тримала українські землі під контролем і колоніальною залежністю, варто нагадувати ще і ще про сутність цієї імперії – і фактичну, і ментальну. Тоді будуть зрозумілі їхня політика, базована на загарбницьких ідеях, пропаганда, базована на брехні, воєнні дії, базовані на всеохопному порушенні міжнародного гуманітарного права, і зрештою – повністю негативне ставлення до українців, яких лицемірно називали «братами» упродовж століть. Тобто потрібно відновити історичну реальність, захаращену віроломною імперською міфологією (у традиціях Візантії, звідки ще київські князі запозичували досвід управління державою, а також і різновид християнства, заснований на одноосібній владі правителя). І ця реальність передбачає, що понад тисячу років існують українці (спочатку – окремі племена, поєднані етнічними й мовними особливостями), існують їх культура, традиції та мова (за термінами середньовіччя – «проста»); що в середині XVII століття українці потрапили під владу московського царства, яке поступово вводило їх у свою систему життя, асимілюючи та підкоряючи, що українська мова – єдина у світі, що час від часу декларативно заборонялася владою на публічному рівні, а советська система віроломно її знищувала, виводячи з усіх сфер функціонування.

Тобто слід відновлювати позиції українства – демократичних традицій управління, національної мови в усіх сферах життєдіяльності та, зрештою, воєнної сили, якою славилася військово запорізьке. А для цього потрібно добре знати свого ворога, щоб запобігти новому уярмленню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відповідно до мети цієї розвідки було враховано думки кількох українських авторів відповідного дискурсу, що стосується історичного протистояння ідей імперського розвитку та ідей національного визволення. Скільки існували колонії, стільки й обговорювалися питання їх автономізації, утворення нових національних держав. Ми ж говоримо про ідеї утворення української держави, що активізувалися й конкретизувалися наприкінці XIX – у першій третині XX століть. Ці процеси аналізує Павло Штепа [1] – відомий діаспорний публіцист, досліджуючи сутність московської / російської держави, даючи цій сутності назву «московство», що передбачає зокрема й імперський його характер. Лариса Масенко [2] – провідна українська мовознавчиня, розглядаючи білінгвістичні стосунки – експансію російської метрополійної (колоніальної) мови на території всієї держави й українській зокрема, називає їх терміном «лінгвоцид» з усіма похідними, зокрема віроломною пропагандою, заснованою на міфах і фейках. Галина Могильницька [3] продовжує цю проблематику, розглядаючи таку «міфотворчість» як провідну рису імперії, що зорієнтована на загарбання й розкрадання сусідніх територій. Іван Дзюба [4] – відомий український правозахисник і письменник аналізує погляди Миколи Хвильового щодо України як частини Європи на відміну від імперської Росії, що ментально є частиною Азії. Що стосується думок Бориса Акуніна щодо цієї імперії, то ми вже досліджували їх, аналізуючи його історичну працю про ординську генезу державного управління [5].

Формулювання мети дослідження

Зважаючи на наведені вище міркування, метою цієї статті визначаємо дослідити риси російської імперії – управлінські та воєнні – за допомогою історичної праці російського письменника в еміграції Бориса Акуніна.

Викладення основного матеріалу дослідження

Як зазначила публіцист-історик Галина Могильницька, сучасним українцям мало би бути байдуже до того, як з'явилася та розвивалася російська держава, які її пріоритети та традиції управління, якби не кількасотрічний нерозривний зв'язок наших народів у межах імперії, де російський був метрополійним, тобто колоністами, а український – місцевим підлеглим, тобто аборигенами [3]. Звісно, той колоніст на українській землі мав апriori привілейоване становище, оскільки говорив метрополійною російською (великоруською) мовою, мав статус того великороса та дотримувався давніх державницьких традицій управління – і не від Ярослава Мудрого, а від Юрія Долгорукого. Більшої конкретики ці традиції набули під монгольським впливом і розвивалися в часи деспотії Івана Грозного та Петра I.

Тому сучасному українцю потрібно знати походження та особливості російських управлінських традицій, що розвивалися надалі в межах імперії, куди входила й Україна, а тому безпосередньо впливали й на формування вже іншого генетичного набору, базованого на колоніальній підлеглих та східній орієнтації – на відміну від західної, європейської, до якої українці були близькі в часи Київської Русі та Галицько-Волинського князівства. Слід знати про те, які з тих традицій збереглися до сьогодні, гальмуючи розвиток власної української державності, а які властиві сучасній Росії в перспективі загрози для сусідньої України. Наприклад, така визначальна риса імперії, як її «газоподібність», тобто прагнення займати весь доступний їй довколишній простір, була найбільше реалізована царем Петром I: він став імператором, і його імперія вже вимушена була розширятися та воєнізуватися. І цей процес продовжується до сьогодні, і саме Україна є першою жертвою чергової реінкарнації російської імперії.

Про небезпеку такої експансії писали українські публіцисти XX століття Павло Штепа, Дмитро Донцов, Микола Хвильовий [напр., 4], закликаючи якнайшвидше віддалитися від російських традицій державотворення. Звісно, активно це питання розглядалося у 90-ті роки, коли Україна потребувала вже визначення власного шляху розвитку [напр., 1], а на початку XXI століття та колоніальна загроза аналізуються й мовознавцями, які мовне протистояння

в межах історичного білінгвізму аналогізують із воєнним [напр., 2]. Уважаємо, що до комплексу означених джерел варто долучити й думки російських відомих діячів – представників передової думки. Ми вже раніше аналізували представлені російським письменником Борисом Акуніним риси «ординської» державності через призму сучасних реалій державотворення [напр., 5], наразі ж пропонуємо його погляд на розвиток цих рис Петром I.

Відповідно до наведеного вище мета нашого дослідження – проаналізувати негативні риси нової на той час імперії – Російської, з проєкцією на подальший розвиток української її складової. Для цього маємо виконати такі завданнями: через погляди російського письменника-історика дослідити особливості розвитку системи державного управління часів Петра I; розглянути їх через призму як подальших радянських (відповідно сучасних російських), так і власне українських реалій.

Письменник-історик Борис Акунін у циклі «История Российского государства» докладно дослідив становище Росії до царювання Петра, визначивши, що на той час було два шляхи розвитку держави – азійський та європейський. Перший характеризується жорсткою владною вертикаллю – керується категорично зверху, другий же більш активно розвивається на низовому рівні, тобто ґрунтується на концепції «багатство держави безпосередньо залежить від багатства її громадян». Для Росії, зокрема, це могли би бути такі заходи: збагачення злидених; перетворення дикунів на людей; заміна державних повинностей для селян помірним податком; навчання дворян за кордоном; створення професійної армії [6].

Ці заходи були доволі реальними, оскільки мали владних прихильників. Так, князь Василь Голицин, що був головним фаворитом цариці Софії, згодом навіть створив трактат про це.

Проте так трапилося історично, що опоненти цього шляху розвитку Росії перемогли, утвердивши «ординську» систему правління, яка мала геть інші пріоритети:

- жорстка централізація та концентрація влади, коли всі рішення ухвалюються самим монархом;
- усі піддані вважаються державними службовцями, а сама держава декларується як найвища цінність, коли не вона існує для людини, а людина – для держави;
- особа самодержця є священною й не підлягає будь-якій критиці;
- усі закони умовні, адже вони обов'язкові лише для населення, а не для верховної влади.

Ці концепції найбільше були реалізовані під час царювання Петра I, який утім репрезентувався і радянською історією, і пострадянською російською як реформатор держави в позитивному сенсі – «відкривач вікна в Європу». Проте, як зазначає Акунін, вікно – не двері, воно існує для того, щоб через нього дивилися, а не ходили. До того ж отвір цей заграбовано, бо ж вийхати за кордон без вищого дозволу ніхто не в праві [6].

Самодержавство було відновлено Петром I у межах ще правління Івана Грозного, і ця влада не могла бути зменшена ні Патріархією, ні Думою, ні будь-якими народними зібраннями. Навіть найбільш заможні соціальні стани було жорстко прив'язано до виконання державних повинностей. Так, тих же дворян примушували вчитися та служити, селяни мусили за наказом іти в армію, на флот або казенне будівництво. До того ж вони платили й основні податки.

Цар став імператором, церква перетворилася на департамент держави, а тому Петро I фактично став ще й головою церкви (синоду). Безмежне його володарювання виявляється і в тому, що було нівельовано традиційний закон про спадкове передання влади, і це питання міг вирішувати монарх особисто.

Тобто закони лише регламентували систему повинностей і заборон, а не виконували правозахисну функцію. Тому, за висновком Акуніна, у такій країні людині не потрібно, та й небезпечно бути заможною, оскільки такий громадянин в очах влади думає про власне збагачення (чи просто забезпечення своєї сім'ї), що викликає різноманітні проблеми для держави [6].

Тут бажано навести думку про пріоритети держави щодо її громадян. Головним принципом залишається те, що керувати голодними, бідними, однаковими людьми легше, оскільки їхні бажання прості та зрозумілі – їжа, гроші та взаєморозуміння. Що ж стосується протилежного табору – ситих, багатих і «різних», то їхні бажання не однозначні, а дії – апріорі не підвладні простому розумінню. Це правителєві не потрібно, і тому йому вигідно, щоб люди – його підлегли – були голодні, бідні й однакові (також сюди відносимо й інші атрибути – одновірні, беззбройні тощо), тобто залежні від влади, позаяк лише вона може вирішити їхні елементарні проблеми та декларувати їм мету на майбутнє.

І якщо правитель усе робить для того, щоб таким чином знизити рівень вимог громадян до елементарних, відома приказка «Бідні, бо дурні, а дурні – бо бідні» стає неактуальною, оскільки від людей повною мірою не залежить можливість збагачення – вона нівельована (наскільки це можливо) владою.

Принагідно зазначимо, що авторитарний лідер апріорі жадає «навести порядок» – зробити негармонійне гармонійним, і ті прості люди (гоłodні, бідні, однакові) частіше його за це поважають, уважаючи рятівником, батьком, мудрим тощо та не зважаючи на численні жертвоприношення для досягнення тих його прагнень. Таким прагненням Петра I була велич приналежної йому держави – Росії (думаємо, був би він монархом іншої країни, то жадав би величії, незважаючи на народ – не для нього це робиться взагалі, а для особистої влади та престижу в Європі). Зради такої величії володар іде на будь-які жертви.

Акунін у романі доводить марність величезних утрат – як матеріальних і екологічних (варварське вирубування вікового лісу верхнього Дону, побудова з нього непотрібного воронезького флоту), людських (сотні тисяч загиблих людей на суднобудівних верфях, під час побудови каналів, столиці, невдалих військових операцій), фінансових (марне витрачання грошей, зібраних через незмірні податки, відібраних у церков і монастирів та ін.), так і духовних (система доносів, репресій, безжальне ставлення монарха навіть до своїх рідних – сестри, сина, дружини) [6].

У сучасній Росії кілька вищих навчальних закладів, зокрема військових, а також чимало ліцеїв мають у назві прикладку «імені Петра Великого», що ще раз доводить сумну спадкоємність РФ (як і радянський гімн), яка заради величі, військової переваги у світі піде також на будь-які жертви – як це робили їхні попередники під час другої світової війни, коли для вчасного виконання наказу ставки десятки тисяч солдатів форсували Дніпро під жорстким обстрілом (щоб саме в цей день!). І зрештою Сталін для народу став рятівником. Тобто успіх також має під собою чималі людські й майнові жертви.

Ще одну інституцію традиційної допетровської Росії – народну культуру та мистецтво – було трансформовано категорично й безжально. Перша з цих галузей отримала нові зовнішні ознаки – парики, європейський одяг, а також куріння тютюну (масове пиття горілки було впроваджено ще Іваном Грозним), а друга з цього часу ділиться на два стильових різновиди – народне мистецтво, що розвивалося стихійно (тобто не підтримувалося державою), та елітарне, що копіювало європейське й лише через століття стало творити щось насправді цінне [6].

Письменник-історик визначає досягнення петровської реформації, які викликають аналогію з радянськими реаліями:

1. Виникає велика держава, з якою починає рахуватися весь світ – через розміри, ресурси та воєнну могутність. Навіть у 21 столітті деякі громадяни згадують «велике» минуле, коли СРСР «усі боялися», і ностальгійно промовляють: «яку країну профукали». Причому, крім суто біологічних чинників (бо ж тоді ті громадяни були молоді і здорові), мається на увазі саме воєнна могутність. Це у свою чергу викликає значний сумнів у правдивості тези щодо миролюбства «советских людей» (з численних тогочасних слоганів на кшталт «Ми за мир», «Миру – мир», «Берегите мир» та ін.), якщо для них головна гордість – це воєнна сила їхньої держави й те, що її всі бояться.

2. Розвивається промисловість, проте лише воєнного спрямування, оскільки для збалансованого розвитку підприємством має керувати приватний власник, а не держава. Із самого початку існування радянської влади саме на воєнно-промисловий комплекс було спрямовано всі ресурси – фінансові та кадрові. Такі заводи підпорядковувалися безпосередньо центру (як і в петровські часи), зокрема й в Україні, а тому після невмилого розпаду радянської імперії наша республіка стала «незалежною» без власної промисловості, що була переважно воєнною. Працівники ж цієї сфери, які були тісно пов'язані з Москвою, сьогодні складають ту сумнозвісну «п'яту колону», що вороже ставиться до успіхів уже реальної незалежності (починаючи з 2014 року) і готова до будь-якої імперської агресії (як колабораціоністи).

3. Сільське господарство було головним годувальником імперії, хоча й притиснене непомірними податками й військовими повинностями (селяни – головна сила для мобілізації). Надалі Катерина II уже й декларує рабство-кріпацтво, коли ті годувальники будуть продаватися як звичайне майно, а в радянські часи – від колективізації до паспортизації селяни залишатимуться і головною робочою силою, і потенційними вояками (насправді це не дивно, оскільки селян було дві третини від усього населення країни). З іншого боку, «визволення» селян у 60-ті роки мало й іншу причину: на заводи (зокрема й воєнні) та великі будівництва (залізниці, електростанції тощо) потрібні були робочі, а різке спустошення сільської місцевості нікого не хвилювало.

4. Виникає насправді європейське місто Санкт-Петербург, для розвитку й облаштування якого використовувалися всі фінансові й кадрові ресурси країни. Думаємо, що подальші покоління мусять пам'ятати про колишні жертви заради творення новітнього Вавилону (щоб наблизитися до величі Бога). Побудова нової столиці із самого початку була ідеєю деспотичного правителя: велике місто на північному краю держави, серед боліт і мертвих земель. Твердження, що Петербург засновано на сльозах і кістках, відома всім. І тому інше твердження того ж Акуніна, що наш сучасник не асоціює це красиве місто із «сльозами й трупами», через що й самого Петра I не асоціює із тиранією, зумовлює сумні думки не лише про невігластво народу, але і його низьку духовність, оскільки заповіді «не вбий», «не жадай дому ближнього свого» тощо мають бути закладені в генотипі, і та ж Православна Церква (зокрема Російська) мусить повсякчас нагадувати про це.

5. Принципові зміни були зумовлені й освітніми реформами Петра I, проте вони стосувалися лише елітного стану суспільства: примусово (як й усі інші заходи) діти дворян надсилалися в Європу для навчання – переважно морського. Це відповідало пріоритетам тогочасного європейського просвітництва, утім основна маса народу, за словами Акуніна, були неграмотними й невігласами – «залишалися у древньому Московському царстві» (а еліта перебувала в новітній Російській імперії) [6]. Проте всіх їх об'єднувало підвладне становище в державі – категоричне підкорення бажанням імператора.

Не варто забувати ще про один аспект тоталітаризму – систему нагляду органів безпеки. Уже за часів Петра I існував корпус таємної поліції, що користувався всіма можливими засобами добування інформації – доносимами, катуванням, причому багато справ фальсифікувалися як антидержавні змови – відповідно до бажання імператора,

який всюди бачив зраду й хворобливо її остерігався. Аналогія зі Сталіним і його системою взаємного контролю спостерігається безпосередня.

Що стосується покарань, то вони були найжорстокіші – від повішання до колесування. Труп катованих довгий час перебували на очах населення (оскільки було декларовано виставляти їх «до кісток»). Відомий факт, що Петро I примусив усіх наближених до нього особисто відрубувати голови бунтівним стрільцям, і сам це кількаразово зробив.

До такого тотального контролю долучалися фіскальна служба та синод. Перші наглядали за фінансовими справами купців і олігархів та один за одним, надсилаючи численні доноси, через що на довгі роки слово «фіскал» набуло негативної конотації як підступна особа, шпигун і донощик. У церковних справах синод був державною інституцією, монастирі було перетворено на богадільні, а таїна сповіді порушувалася в інтересах держави: священник мусив доносити про всяку підозрілу інформацію, отриману ним під час сповіді.

Як аналогію з радянським періодом відзначаємо фактичну наявність священнослужителів, які перебували на службі в КДБ і навіть мали партквиток. Зрозуміло, що святість сповіді в таких умовах була фальшованою. Що ж до податків, то взагалі будь-яке посягання на державну власність каралося найжорсткіше. Утім це не виключало значної корупції: той же петровський фаворит Олександр Меншиков – колишній бідний торговець – мав багатство, що поступалося за розміром лише імператорській казні, а брежневські наближені були тісно пов'язані з корупційними схемами.

Якщо в петровські часи народ лякали виставлені шибениці з покараними зрадниками, відступниками та шахраями, то в радянські цю функцію було надано ЗМІ, які мусили «викривати недоліки». Проте це стосувалося лише низового рівня управлінців, серед яких найбільше критики діставалося завідувачам складів. Тобто це вже апіорі був порушник «соціалістичної законності» – на відміну від, скажімо, керівника торгівлі області чи міста, який був членом політбюро й тому був недоторканою особою.

Український журнал «Перець» мав до того ж ще й «місцевий» контент сфери критики – «буржуазний націоналізм», і карикатурні образи у смушкових шапках і шароварах були присутні в кожному номері. У центральному ж «Крокодилі» карикатурувалися переважно завмаги та завсклади, а в зовнішньополітичному аспекті – товсті капіталісти в котелку та із сигарою в роті. Найнижчий рівень критикованих осіб – це всілякі нероби й алкоголіки, при тому що перші каралися навіть кримінально, а другі після відвідування медичного витверезника були остаточно скомпрометовані в очах керівників і колег по роботі.

Зрештою спадкові риси радянської / російської системи управління, узяті ще від допетровської та петровської епох, репрезентують східну політичну культуру, що конкретизується в принципах правління Чингізхана й еволюціонується впродовж усієї подальшої історії російської держави. Навіть реформи Петра I (здавалося б, «реформи»!) стосувалися лише зовнішнього боку держави (військового, морського) та власне управлінського (податки, контроль), які легко регулювалися зверху. В інших сферах Росія змінилася дуже мало, і тому, за словами Акуніна, «була приречена на економічне, технічне, культурне й соціальне відставання від еволюційованого Заходу» [6].

Висновки

Отже, актуалізуючи викладений вище матеріал, можна зробити висновок, що Петро I, почавши з отримання виходу до європейського моря, перетворив усю державу – від далекого сходу до південного заходу – на воєнну машину, військово-промисловий комплекс, в умовах якого всі інтереси імперії спрямовано на підвищення військової могутності (чотири п'ятих бюджету в мирний час). Спочатку ця потужність потрібна для отримання силової (воєнної) переваги в постійних «перегонах озброєнь», для захоплення нових територій, а надалі – для їх утримання. За словами російського письменника-історика, така логіка прирікала централізовану державу на імперську її сутність [1], тобто загарбницьку й віроломну як щодо інших народів, так і свого, який приречений таким чином не підвищувати рівень свого та своєї сім'ї життя, а віддавати життєві перспективи в жертву зміцнення воєнізованої держави.

Для сучасної України такі знання й досвід дуже важливі, оскільки, по-перше, деякі управлінські риси залишилися нам у спадок від імперії (зокрема централізована влада та командно-адміністративний стиль управління), а по-друге – сама Росія як прямий спадкоємець тієї імперії становить для сучасної України безпосередню й постійну загрозу в усьому комплексі історичних відносин – культурних (зокрема й мовних), економічних (зокрема й енергетичних), релігійних, інформаційних та ін. Кожен українець має це розуміти та нівелювати в собі ті негативні риси. І тоді ми переможемо.

Список використаної літератури

1. Штепа П. Московство, його походження, зміст, форми й історична тяглість. Ч. 1. Торонто: Вид. С. Стасишина, 1968. 345 с.
2. Масенко Л. Т. Українська мова у XX сторіччі: історія лінгвоциду. Київ: КМ Академія, 2005. 399 с.
3. Могильницька Г. Міфотворчість як обґрунтування історичного мародерства. Бровари: Українська ідея, 2009. 184 с.

4. Дзюба І. Микола Хвильовий: «Азіатський ренесанс» і «Психологічна Європа». URL : https://dt.ua/CULTURE/mikola_hviloviy_azyatskiy_renesans_i_psihologichna_evropa.html

5. Демченко В. М. «Ординська» генеза постімперського державного управління (на матеріалі роману Б. Акуніна «Щаслива Росія»). Теорія та практика державного управління і місцевого самоврядування : електр. зб. наук. 2018. № 1. URL : <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>

6. Акунин Б. Азиатская европеизация. История Российского государства. Царь Петр Алексеевич. URL : <https://re.mybook.ru/author/boris-akunin/aziatskaya-evropeizaciya-istoriya-rossijskogo-gosu/>

References

1. Shtepa P. (1968) Moskovstvo, yoho pokhodzhennya, zmist, formy y istorychna tyahlist' [Muscovites, its origin, content, forms and historical continuity]. CH. 1. Toronto: Vyd. S. Stasyshyna, 345 s.

2. Masenko L. T. (2005) Ukrayins'ka mova u KHKH storichchi: istoriya linhvotsydu [The Ukrainian language in the 20th century: the history of linguistic]. 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. Dzyuba I. Mykola Khvylovyi: «Aziyats'kyi renesans» i «Psykhologichna Evropa» [Mykola Khvylovy: «Asian Renaissance» and «Psychological Europe»]. URL : https://dt.ua/CULTURE/mikola_hviloviy_azyatskiy_renesans_i_psihologichna_evropa.html

5. Demchenko V. M. (2018) «Ordyns'ka» geneza postimpers'koho derzhavnoho upravlinnya (na materialy romanu B. Akunina «Shchaslyva Rosiya») [«The Horde» genesis of post-imperial state administration (based on B. Akunin's novel «Happy Russia»)]. Teoriya ta praktyka derzhavnoho upravlinnya i mistsevoho samovryaduvannya : elektr. zb. nauk [Theory and practice of state administration and local self-government: electronic. coll. of science]. # 1. URL : <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>

6. Akunyn B. Azyatskaya evropeyzatsyya. Ystoryya Rossyyskoho hosudarstva. Tsar' Petr Alekseevych [Asian Europeanization. History of the Russian State. Tsar Pyotr Alekseevich]. URL : <https://re.mybook.ru/author/boris-akunin/aziatskaya-evropeizaciya-istoriya-rossijskogo-gosu/>

Н. М. КОВАЛЬСЬКА

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5758-8373

ДЕРЖАВНА ПОЛІТИКА ГЕНДЕРНОЇ РІВНОСТІ ТА ЇЇ МІЖНАРОДНЕ ВРЕГУЛЮВАННЯ

У статті розглянуто проблеми гендерної рівності в усьому спектрі життєдіяльності – у сферах праці, освіти, сім'ї, управління. Наведено головні історичні періоди вирішення гендерних проблем у світі – від патріархального та ортодоксального суспільства до модернового гуманістичного. З'ясовано сучасні погляди українських учених на проблему гендерної рівності та напрямки державної політики в цій сфері, зафіксовані в міжнародному й національному законодавствах. Проаналізовано положення деяких міжнародних актів і загалом діяльність Організації Об'єднаних Націй, що від початку свого існування питання гендерної рівності ставила на перше місце, пов'язуючи з його вирішенням спокій і стабільність у світі.

Визначено проблеми гендерної рівності на ринку праці та під час виробничої діяльності, де відмінності між жінками і чоловіками полягають не лише в доступі до ринку праці й певного робочого місця, а й у різному оцінюванні жінок і чоловіків відповідно до стереотипів, вироблених у суспільстві. Акцентовано на увазі міжнародного співтовариства до гендерної нерівності в організації, зокрема до розриву в оплаті праці, розвитку кар'єри жінки, умов її праці, а також проблем інших людей із найбільш вразливих категорій суспільства.

Зроблено висновки, що освітньо-виробничий потенціал жінки-працівниці ще не гарантує повного доступу її до посади, де ухвалюються рішення, – потрібні й інші чинники, серед яких визначено виконання положень міжнародних документів, яких має дотримуватися кожна держава, що входить до складу відповідної міжнародної організації, яка опікується питаннями гендерної рівноправності. Також має контролюватися гендерний розрив в оплаті праці, який мусить поступово зменшуватися.

Ключові слова: гендерна рівність, ринок праці, гендерні стереотипи, міжнародне законодавство, українське суспільство.

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

STATE POLICY OF GENDER EQUALITY AND ITS INTERNATIONAL REGULATION

The article examines the problems of gender equality in the entire spectrum of life activities – in the spheres of work, education, family, management. The main historical periods of solving gender problems in the world are given – from patriarchal and orthodox society to modern humanistic society. The current views of Ukrainian scientists on the issue of gender equality and the directions of state policy in this area, recorded in international and national legislation, are clarified. The provisions of some international acts and, in general, the activities of the United Nations Organization, which from the beginning of its existence put the issue of gender equality in the first place, connecting peace and stability in the world with its solution, are analyzed.

The problems of gender equality in the labor market and during production activities are defined, where the differences between women and men consist not only in access to the labor market and a certain workplace, but also in the different evaluation of women and men according to the stereotypes developed in society. The attention of the international community is focused on gender inequality in the organization, in particular the pay gap, the development of a woman's career, her working conditions, as well as the problems of other people from the most vulnerable categories of society.

It was concluded that the educational and production potential of a female worker does not yet guarantee her full access to a position where decisions are made – other factors are also needed, among which the fulfillment of the provisions of international documents, which must be observed by every state that is part of the relevant international organization that takes care of issues of gender equality. The gender pay gap must also be monitored and gradually reduced.

Key words: gender equality, labor market, gender stereotypes, international legislation, Ukrainian society.

Постановка проблеми

Люди сучасного світу, зокрема й українського суспільства, сьогодні отримують нові можливості для самореалізації – у політиці та на ринку праці. Тобто особистість може виявити власні сили й можливості в суспільному житті. У цьому разі головною перешкодою може стати будь-яка нерівність – за ознаками віку, статі, раси, мови тощо, а також різні політичні чи релігійні режими країн. Отже, в ідеалі це має бути рівність людей незалежно від їх ознак і рівня соціально-економічного розвитку, державного чи політичного устрою країни. Звісно, Україна як демократична держава, що прямує в Євросоюз, мусить підтримувати таку рівність, зокрема на законодавчому рівні.

Серед названих ознак, за якими можливі прояви дискримінації, виділяємо гендерну, що є найбільш актуальною для будь-якого суспільства, адже історично жінка була підлеглою, функціонально обмеженою в суспільному житті, і ці перешкоди були більшою мірою штучні, зумовлені патріархальними традиціями та ортодоксальними релігіями. Вироблялися стереотипи, за якими жінка мала лише одне життєве завдання – народжувати дітей. Навіть виховна її функція в деякі періоди історії (наприклад, у Давньому Римі) нівелювалася чоловіками. За сучасними вимірами, стереотипи зумовили конкретний набір соціальних ролей, які є різними для жінок і чоловіків, а тому для перших є можливою нерівність у реалізації власних здібностей, особливо в доступі до адміністративної роботи (зокрема владних або політичних інститутів), можливостей отримання прибутків, майна й загалом ухвалення рішень на будь-якому рівні – від підприємства, установи до сімейних стосунків і домашнього господарства.

На сучасному етапі розвитку світу питання його стабільності залежать від запобігання будь-якій дискримінації, що породжена соціальною нерівністю, і серед таких ситуацій передусім нерівність між жінками й чоловіками. Незважаючи на наявність відповідних законодавчих гарантій щодо забезпечення гендерної рівності в Україні, усе одно виявляється дискримінація жінок в суспільній життєдіяльності. Серед причин цього залишаються давні гендерні стереотипи, що впродовж історії розвитку суспільства зазнавали різноманітних трансформацій, але сутність їх залишається однією: обмеження доступу жінок на ринок праці та відмінність у їх кар'єрному зростанні й оплаті праці. Тому головним засобом подолання такої ситуації є нівелювання гендерних стереотипів у суспільстві, на що спрямовані як державна політика в цій сфері, так і наукові дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Чимало українських учених досліджують питання гендерної рівності / нерівності в суспільстві в різних сферах його життєдіяльності. Вони вивчають, зокрема, ставлення громадськості та держави до гендерних проблем (Ю. Саєнко, Л. Амджадін, М. Васильчук та ін.) [1], аналізують вплив гендерних стереотипів на сферу професійної діяльності (Т. Медіна, В. Назарова) [2], з'ясовують відмінності становища жінок у сфері освіти (І. Когут) [3], виявляють економічні аспекти трудової сфери, зокрема розрив в оплаті праці (В. Лапшина) [4], відзначають психологічні та соціальні аспекти стосовно гендерних ролей і стереотипів (С. Оксамитна, М. Ткалич) [5; 6]. При цьому відзначаємо статистичні дослідження гендерних проблем, які здійснюються Інститутом демографії та соціальних досліджень НАН України [7] і Центром Разумкова [8]. Отже, спектр досліджень питань гендерної рівності – значний, однак потребує активнішого залучення зарубіжного досвіду й урахування міжнародного законодавства.

Формулювання мети дослідження

Тому метою нашого дослідження встановлюємо урахування принципів і положень міжнародного законодавства у визначенні сучасного стану гендерної ситуації в Україні. Для цього потрібно встановити проблеми такої ситуації, урахування їх у вітчизняному законодавстві з використанням установлених норм і напрямків, які було визначено відповідними міжнародними організаціями та імплементовано українським законодавцем.

Викладення основного матеріалу дослідження

За положеннями Закону України «Про забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків» від 08.09.05 р. № 2866-15, в Україні має бути забезпечено гендерну рівність – «рівний правовий статус жінок і чоловіків та рівні можливості для його реалізації» [9], тобто в житті суспільства і жінки, і чоловіки мають рівні права для реалізації своїх можливостей. Проте зазначені нами вище суспільні стереотипи перешкоджають цій рівності – наприклад, на ринку праці й у подальшому кар'єрному зростанні жінки. Запобігти гендерній нерівності може лише чітке дотримання положень законодавства держави та міжнародних документів у цій сфері, а також запозичення зарубіжного досвіду.

Недарма міжнародні організації розглядають гендерну рівність як ресурс соціально-економічного розвитку кожної країни, а міжнародне регулювання гендерної рівності впроваджує правові стандарти для держав. Як такі стандарти визначаються міжнародно-правові приписи в міжнародних нормативних актах – конвенціях, деклараціях, що передбачають як захист права і свобод громадянина, так і обмеження таких прав [8].

Т. Медіна та В. Назарова, розглядаючи вплив гендерних стереотипів на професійну діяльність жінок, надають дефініцію терміна «гендерні стереотипи» як «усталені уявлення про якості та норми поведінки чоловіків і жінок» [2, с. 128], що виявляються в призначенні останнім відповідних ролей у діяльності, а також певних психологічних характеристик. При цьому така роль і виконується через наявність відповідної характеристики, і взагалі існує вже й генетичний зв'язок, адже діти переймають такі гендерні моделі-ролі від старшого покоління. Тобто стереотипи

вже стають нормами [7], закодованими на генетичному рівні, що є найбільшою небезпекою для феномену гендерної рівності.

Гендерні стереотипи класифікуються за трьома групами:

1) співвідносні з рисами характеру жінок і чоловіків (соматичні, психічні, поведінкові якості). Так, у перших – пасивно-відтворювальні, що виявляються в експресивних характеристиках (залежність, піклування, тривожність, емоційність), у других – домінантність, впевненість у собі, агресивність, логічне мислення, здатність до лідерства. Зрозуміло, що ці характеристики стосуються якоїсь ідеальної стереотипної ситуації, адже деякі риси можуть бути властиві й жінкам, і чоловікам. Це не дивно, адже ми знаємо фемінних чоловіків і знаємо маскулітних жінок;

2) співвідносні із сімейними і професійними ролями за статтю (жінки – сімейні, чоловіки – професійні). У такому разі доволі численним винятком може бути так звана бізнес-жінка, яка часто не сприймає взагалі сімейних обов'язків як невід'ємних;

3) співвідносні зі змістом праці чоловіків і жінок (для чоловіків – інструментальна діяльність, творча, організаційна, керівна, для жінок – обслуговувальна, виконавська) [2, с. 128]. Тут також жінки останнім часом стали обіймати й керівні посади, зокрема навіть у силових структурах. Скажімо, у будь-якій скандинавській країні вже не дивина, що й мер, і начальник поліції, і прокурор – жінки. Проте залишаються ще лакуни для жінок – скажімо, політика чи високі урядові посади, хоча також і в Україні жінка – міністр – уже не дивина. Зрештою це є однозначно завоювання демократії, і попереду в нас – розширення цього кола ділових жінок.

Для того, щоб усвідомити трансформаційні процеси гендерних стереотипів, потрібно простежити історію їх розвитку, тобто зміни становища жінок і чоловіків у минулому. Так, за історичними традиціями, жінка була призначена берегти сімейне вогнище, готувати їжу, народжувати дітей і виховувати їх. Пізніше головним для неї став успішне і вчасне одруження. Тобто жінка без сім'ї довгий час уважалася невдахою в житті, й навіть наділялася народом багатьма образливими прізвиськами на кшталт «зозулька», «стара діва» тощо. Тому вона генетично наділялася бажанням саме спокійного сімейного життя, а всілякі навички для цього викладалися їй у школі чи й навіть в інституті благородних дівич. У чоловіка ж таким показником успішності була вдала й успішна кар'єра (але при тому суспільство зважало й на його сімейний стан). Тобто несімейний чи невдалий у роботі чоловік (що недостатньо заробляє) у суспільстві не сприймався. До речі, це стосувалося й селян – чи це заможний чоловік (господар) чи не заможний (батрак).

Навіть в умовах імперських (російських) традицій патріархату в Україні жінка – і саме в селі, де на той час проживало понад 90% населення, – традиційно шанувалася як господиня, наставниця молодшого покоління в родині й навіть координатор свого чоловіка; була задіяна вона, звісно, й у сільгоспроботах. Тобто сільська жінка не відчувала себе відокремленою від суспільства, як міська, яка навіть в успішній сім'ї була певною мірою ізольованою від соціуму, хіба що мала індивідуальне заняття на кшталт модистки чи кулінара на замовлення.

Від початку ХХ століття – в умовах численних політичних рухів – виокремлюється боротьба жінок за свої права, і багато з них починають носити одяг, традиційно властивий до цього чоловікам, палити цигарки, грубо розмовляти, тобто переймали маскулітні чоловічі звички. Також жінки почали активно працювати й навіть пробували свої сили в політиці. Тому не диво, що в радянській державі, яка мусила обов'язково відрізнитися від попередньої монархічної (саме це подобалося в ній довколишньому світу, і він не зважав на мільйонні жертви та репресії), жінка була рівною на ринку праці – працювала навіть на тракторі та в шахті, хоча таких випадків було мало, адже фізіологічно жінка такого робити не може з потрібною для цього інтенсивністю.

Слід зауважити, що потрібно враховувати брак чоловіків, адже періоди після двох світових війн, після громадянської війни, жорстких репресій характеризувалися величезними жертвами переважно серед чоловіків, і економіка не могла зупинити своїх темпів, зокрема в сільському господарстві. Тому жінки-робітничі були просто необхідні. Що ж до гендерних колізій, то в тій державі не було якогось публічного обмеження й дискримінації жінок (зважаючи на вищенаведене й на їх роль у сім'ї та вихованні дітей) – хіба що на побутовому рівні, де патріархальні традиції звичайно виявлялися, особливо в російському середовищі як традиційно патріархальному та ортодоксальному.

Гендерні обмеження знову про себе нагадали під час політичної та економічної кризи кінця 80-х – початку 90-х років, коли ринок праці виявився дефіцитним, і жінки з чоловіками стали конкурентами на ньому. Тобто розвинулися гендерні стереотипи і в пострадянському суспільстві.

У міжнародному середовищі ще від закінчення Першої світової війни рівність жінок і чоловіків визначалася як провідний чинник стабільності у світі, а після Другої світової війни ООН уже ухвалює кілька актів щодо забезпечення гендерної рівності. Узагалі тоді з його 51 члена лише у 30 країнах така рівність була реальною (жінки могли обіймати навіть державні посади). У статуті ООН уперше з-поміж міжнародних документів визначалися «рівні права чоловіків і жінок» – як чинник боротьби «за фундаментальні права людини». І надалі документи ООН базувалися на цьому принципі, а вся подальша робота організації в цьому напрямку передбачала спочатку вивчення правових основ гендерної рівності, надалі – складання планів дій із покращення становища жінок – забезпечення рівного їх доступу до освіти, медицини, політичної та трудової зайнятості. Україна бере активну

участь в імplementації документів ООН із питань гендерної рівності, у 2010, 2014, 2016, 2017 роках доповідаючи про стан його вирішення в державі [8].

На численних конференціях, організованих ООН, відзначалися чинники невідповідності між юридичними правами жінок і можливостями їх дотримання, серед яких – недостатня участь чоловіків у сприянні повномірній участі жінок у житті країни, відсутність політичної волі в окремих державах; недостатня повага до жінки за розвиток суспільства; недостатнє врахування особливих потреб жінки, недостатня частка жінок на керівних посадах, недостатнє усвідомлення жінками своїх можливостей. Тобто головними напрямками діяльності з упровадження гендерної рівності в різних країнах визначаються: удосконалення законодавства, рівна участь у соціальних програмах, рівна участь у політичному житті та ухваленні рішень [8].

В Україні група вчених (Ю. Саєнко, Л. Амджадін, М. Васильчук та інші) дослідили вплив гендерних стереотипів у сфері професійної діяльності в Україні, визначивши його досить суттєвий рівень. Це виявляється в наявності так званих «чоловічих» і «жіночих» професій, зокрема більшість жінок працює в бюджетній сфері – освіті, охороні здоров'я та державному управлінні (46%), також у харчовій та легкій промисловості (20%). Індивідуальна праця жінок зосереджується у сферах продажу товарів (50%), сільському господарстві, виробленні кулінарних (кондитерських) виробів, хатньої (готельної) роботи, перукарської, оздоровчої, репетиторської, перекладацької, догляду за дітьми й хворими тощо, тобто традиційних жіночих видів роботи з низькими прибутками. Для порівняння – майже половина чоловіків працюють у добувній та переробній промисловості, у транспорті та зв'язку. При цьому слід зазначити, що в Україні ситуація з цим є кращою за аналогічну в Болгарії, Угорщині, Чехії чи Словаччині [1].

Як важливий показник гендерної нерівності вчені визначають колізії в межах одного рівня організації, посадової ієрархії, де посади високого рівня, що передбачають ухвалення рішень, займають переважно чоловіки, а посади, що передбачають виконавську діяльність щодо тих ухвалених рішень, – жінки (тобто за ієрархією – це нижчий рівень управління) [6, с. 47]. Узагалі сфера ухвалення рішень належить до політичної системи, органів державного управління, місцевого самоврядування, вищого сектору комерційних організацій, а недостатність жінок у цих сферах зумовлена крім традиційних стереотипів ще й недоліками в державній гендерній політиці, ставленням управлінських і бізнесових еліт до жінок у політиці, громадською стереотипною думкою [4, с. 27].

Ці питання висвітлені в міжнародних нормах і стандартах, вироблених у формі конвенцій, які мають статус юридичних інструментів, адже держави-члени ООН мусять імplementувати положення цих конвенцій у національній законодавстві та внутрішню державну практику та періодично звітувати про ці процеси. Це, наприклад, Конвенція № 100 «Про рівне винагородження чоловіків і жінок за працю рівної цінності», Конвенція № 103 «Про охорону материнства», Конвенція № 111 «Про недискримінацію в галузі праці та занять», Конвенція № 156 «Про рівне ставлення й рівні можливості для трудящих чоловіків і жінок: трудящі із сімейними обов'язками», Конвенція № 182 «Про заборону та негайні заходи щодо ліквідації найгірших форм дитячої праці». Комплексне виконання Україною положень таких актів передбачає два компоненти – урахування гендерного аспекту в державних актах, розроблення заходів для подолання гендерної нерівності та дискримінації [8].

У таких документах більш розгорнуто декларовано напрямки міжнародної діяльності щодо рівноправності жінок у вигляді відповідних проблем: насильство щодо жінок; жінки та охорона здоров'я; освіта і професійна підготовка жінок; жінки і збройні конфлікти; жінки і злиденність; жінки й економіка; жінки й ухвалення рішень; права жінок; жінки й медіа-засоби; жінки й довколишнє середовище; проблеми дівчат і дітей. У межах цих проблем визначено й більш конкретні завдання – «забезпечення гендерної рівності», «зменшення дитячої смертності», «поліпшення здоров'я матерів». Звісно, після визначення таких проблем і постановлення таких завдань ООН вимагає їх дотримання й вирішення від усіх країн [8].

Якщо ці проблеми розглядати в Україні, то відзначаємо кількісні та якісні їх показники. Так, з кількісного боку, у соціально-професійній структурі населення України жінки становлять більшість, тобто вони є носіями відповідної освіти та фахових навичок, є головним потенціалом ринку праці, зокрема й щодо відповідальних посад – управлінських, політичних, бізнесових вищого рівня. У такому разі інакше як дискримінацією це не назвеш, адже наявна нерівність у доступі до таких структур, зокрема й сфери ухвалення державних рішень. Якщо застосувати міжнародний досвід, то потрібною є відповідна підготовка жінок до зайняття керівних посад. Наприклад, Норвегія за п'ять років збільшила кількість жінок – членів правління компаній – на 30% після проходження спеціальної програми та встановлення мети на близьке майбутнє – 40% жінок на керівних посадах. Міжнародні дослідження визначають бар'єри, що зумовлюють обмеженість представництва жінок на управлінських посадах [2, с. 130].

Зазначений кількісний вимір не співвідноситься з якісним, адже, наприклад, в освітній галузі, де частка жінок у початковій і середній школі є більшою за 70%, на рівні вищої школи дещо перевищує 50%, а на рівні вищого керівництва освітніми закладами – лише 9% (проректорів – 25%) [3]. Це призводить відповідно й до відмінностей в оплаті праці жінок і чоловіків, де перші заробляють на чверть меншу зарплатню. Тобто, якщо досягнення відповідної фахової кваліфікації не є недоступним (освіта, практика, досвід), то фактично жінка не завжди має

відповідні умови праці, рівень оплати та перспективи кар'єрного зростання. Також у нерівності в оплаті праці задіяні й інші чинники – міжгалузеві та міжпосадові відмінності в оплаті, особливості освітньо-кваліфікаційного рівня, загальний трудовий внесок у результати праці, тривалість трудового стажу [7, с. 146], а також рівень освіти, вік, сімейний статус, місце проживання тощо.

Ці та інші гендерні проблеми враховуються численними міжнародними організаціями. Так, гендерна нерівність в оплаті праці передбачає залучення таких засобів, як проведення перемовин, оцінювання робочого місця із застосуванням статистичних показників праці. Також враховуються проблеми найбільш вразливих груп працівників (жінок, дітей, людей літнього віку, малозабезпечених осіб, людей з інвалідністю), зокрема самозайнятих. Усе це, як зазначається, є передумовою для забезпечення стабільного розвитку суспільства та боротьби з бідністю, для чого фінансові установи мають надавати кредитні кошти. Так, Світовий банк кредитує під державні гарантії з конкретною метою усунути крайні вияви бідності та створити умови для добробуту, виявляючи головний принцип – гендерна рівність як головна умова розвитку світу [8].

До того ж Т. Медіна та В. Назарова відзначили цікаву закономірність: на високому освітньому рівні гендерний розрив, виявлений у відмінності доходів, набагато більший, аніж на низькому освітньому рівні. Тобто, маючи однакову освіту, директор школи і вчителька отримують доволі різну зарплатню, а прибиральниця й електрик, не маючи вищої освіти, отримують більш однакову. Таким чином, високі освітні надбання жінки не гарантують їй належного місця на ринку праці та високу зарплатню. Можливо ще й тому в 90-ті роки багато жінок із вищою освітою пішли працювати на речовий ринок [2, с. 31–32].

Зрештою міжнародним законодавством пріоритетами гендерної рівності визначаються такі: упровадження стандартів праці щодо материнства та сімейних обов'язків, охорони праці жінок; забезпечення рівного доступу до виробничих ресурсів; урахування основних принципів у політиці сприятиме гендерній рівності; доступ до зайнятості для жінок; нівелювання бідності через усунення обмежень у працевлаштуванні жінок; підтримка жінок у сфері найманої праці та самозайнятості; підтримка жінок у сфері менеджменту та підприємництва; забезпечення доступу до соціального захисту; забезпечення гідних умов праці; захист материнства; розроблення умов поєднання сімейних і виробничих обов'язків; забезпечення гендерного балансу на керівних посадах і на рівні ухвалення рішень; вирішення питань тривалості робочого дня та рівності в оплаті праці [8]. Як бачимо, тут чітко визначено гендерні проблеми у світі (властиві різною мірою будь-якій країні) та можливі напрямки їх вирішення для стабілізації соціального паритету в суспільстві.

Висновки

Дослідивши гендерні проблеми в українському суспільстві, їх висвітлення та напрямки вирішення в міжнародних документах, можемо зробити такі висновки:

1. Гендерна рівність передбачає рівні можливості для рівноправної реалізації жінками й чоловіками їхніх можливостей, тобто рівноправний доступ до всіх сфер життєдіяльності, зокрема ринку праці, кар'єрного зростання, політичної та управлінської діяльності. Гендерну нерівність, як і взагалі захист і дотримання прав людини, декларують численні міжнародні документи в цій сфері, вбачаючи в ній ресурс соціально-економічного розвитку кожної країни,

2. Гендерні стереотипи в суспільстві не лише впливають на професійну діяльність жінок через визначеність її ролей у життєдіяльності (домашність, підлеглисть, емоційність, сервісність тощо), а й генетично закодовуються, передаючись молодшим поколінням. Відповідно жінка обмежена в доступі до керівних посад, де ухвалюються рішення. При цьому слід відзначити здобутки сучасної цивілізації, де жінка-керівниця (до того ж у будь-якій державній структурі) уже не викликає подиву. Таке відбувається й в Україні, де вже були й є жінки-міністри, прокурори, судді й навіть генерали. Це здобутки демократії, і попереду – розширення кола жінок-керівниць.

3. Попри патріархальні традиції українська жінка а умовах російської імперії мала високий статус у селі, де на той час проживало понад 90% населення, – як господиня, наставниця молодшого покоління в родині й навіть координатор свого чоловіка, тобто не відчувала себе відокремленою від суспільства, на відміну від міської, яка навіть в успішній сім'ї була певною мірою ізольованою від соціуму, хіба що займалася індивідуальною працею. Тобто українська жінка психологічно готова до ролі керівниці на будь-якій посаді в державі, і посада Президента України чекає на неї в майбутньому.

4. Міжнародним законодавством визначено пріоритети гендерної рівності, серед яких відзначаємо урахування трудових стандартів щодо охорони праці жінок; забезпечення рівного доступу до ринку праці, виробничих ресурсів і соціального захисту; підтримка жінок у сфері менеджменту та підприємництва; захист материнства; поєднання сімейних і виробничих обов'язків; забезпечення гендерного балансу на керівних посадах; досягнення рівної оплати праці.

Отже, дотримання позицій міжнародного законодавства в Україні щодо політики гендерної рівності є передумовою для забезпечення стабільного розвитку суспільства й добробуту всього українського народу.

Список використаної літератури

1. Саенко Ю., Амджадін Л., Васильчук М. та ін. Гендерні стереотипи та ставлення громадськості до гендерних проблем в українському суспільстві. К.: Видавництво ТОВ «Компанія ВАІТЕ», 2007. 145 с.
2. Медіна Т., Назарова В. Гендерні стереотипи та їх вплив на професійну діяльність в Україні. *Релігія та Соціум*. 2015. №1-2 (17-18). С. 127–133.
3. Когут І. Чим відрізняються чоловіки і жінки: про гендерну (не)рівність у вищій освіті. *Центр досліджень суспільства*. URL : <http://www.cedos.org.ua/uk/discrimination/chym-vidrizniaiutsia-zhinky-i-choloviky-pro-hendernu-ne-rivnist-u-vyshchii-osviti>
4. Лапшина В.Л. Гендерні стереотипи в професійній сфері: Витоки, стан та перспективи існування. *Український соціум: Соціологія. Політика. Економіка. Педагогіка*. 2005. № 4. С. 27–34.
5. Оксамитна С. М. Гендерні ролі та стереотипи. Основи теорії гендеру: навчальний посібник. К.: «К.І.С.», 2004. С. 157–182.
6. Ткалич М. Г. Соціально-психологічні особливості гендерної взаємодії в організації. *Проблеми сучасної психології*. 2012. № 1. С. 46–52.
7. Нерівність в Україні: масштаби та можливості впливу. К.: Інститут демографії та соціальних досліджень НАН України, 2012. 404 с.
8. Гендерна рівність і розвиток: погляд у контексті європейської стратегії України. Дослідження Центру Разумкова. Київ, 2016. 244 с.
9. Закон України «Про забезпечення рівних прав та можливостей жінок і чоловіків» від 08.09.05 р. № 2866-15. *Відомості Верховної Ради України*. 2005. № 52. С. 6–8.

References

1. Sayenko YU., Amdzhadin L., Vasylychuk M. et al. (2007) 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]. K.: Vydavnytstvo TOV «Kompaniya VAITE», 145 s.
2. Medina T., Nazarova V. (2015) Henderni stereotypy ta yikh vplyv na profesiynu diyal'nist' v Ukrayini [Gender stereotypes and their impact on professional activity in Ukraine]. *Relihiya ta Sotsium* [Religion and Society]. #1-2 (17-18). S. 127–133.
3. Kohut I. Chym vidriznyayut'sya choloviky i zhinky: pro hendernu (ne)rivnist' u vyshchii osviti [What are the differences between men and women: about gender (inequality) in higher education]. *Tsentr doslidzhen' suspil'stva* [Center for social studies]. URL : <http://www.cedos.org.ua/uk/discrimination/chym-vidrizniaiutsia-zhinky-i-choloviky-pro-hendernu-ne-rivnist-u-vyshchii-osviti>
4. Lapshyna V.L. (2005) Henderni stereotypy v profesiynii sferi: Vytoky, stan ta perspektyvy isnuvannya [Gender stereotypes in the professional sphere: Origins, state and prospects of existence]. *Ukrayins'kyi sotsium: Sotsiologiya. Polityka. Ekonomika. Pedagogika* [Ukrainian society: Sociology. Policy. Economy. Pedagogy]. #4. S. 27-34.
5. Oksamytna S. M. (2004) Henderni roli ta stereotypy. Osnovy teoriiy genderu: navchal'nyy posibnyk [Gender roles and stereotypes. Basics of gender theory: a study guide]. K.: «K.I.S.», S. 157–182.
6. Tkalych M. H. (2012) Sotsial'no-psykholohichni osoblyvosti hendernoyi vzayemodiyi v orhanizatsiyi [Socio-psychological features of gender interaction in the organization]. *Problemy suchasnoyi psykholohiyi* [Problems of modern psychology]. #1. S. 46–52.
7. Nerivnist' v Ukrayini: masshtaby ta mozhlyvosti vplyvu [Inequality in Ukraine: scope and possibilities of influence]. K.: Instytut demohrafiyi ta sotsial'nykh doslidzhen' NAN Ukrayiny, 2012. 404 s.
8. Henderna rivnist' i rozvytok: pohlyad u konteksti yevropeys'koyi stratehiyi Ukrayiny [Gender equality and development: a view in the context of the European strategy of Ukraine]. *Doslidzhennya Tsentru Razumkova* [Research by the Razumkov Center]. Kyiv, 2016. 244 s.
9. Zakon Ukrayiny «Pro zabezpechennya rivnykh prav ta mozhlyvostey zhinok i cholovikiv» vid 08.09.05 r. № 2866-15 [Law of Ukraine «On Ensuring Equal Rights and Opportunities of Women and Men» dated September 8, 2005 No. 2866-15]. *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 2005. # 52. S. 6–8.

О. В. КОЗИР

аспірант

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0001-8886-3246

МОДЕЛЬ СИСТЕМНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ СОЦІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ МІСТА

У сучасних умовах воєнної агресії російської федерації все більшої актуальності набувають питання системних перетворень процесів, які формують соціально-економічний розвиток держави та її регіонів. В дослідженні описано особливості української системи соціального захисту, яка зазнала змін від патерналізму до субсидіарності, особливостями яких є формування соціальної держави, розвиток людського капіталу та реалізація сталості економічного розвитку. Але збройний конфлікт спричинив зміни у багатьох сферах соціально-економічного розвитку, до яких відноситься і система соціального розвитку міста. У статті наголошується про необхідність системних перетворень для з'ясування сутності та особливостей соціального захисту з урахування існуючих національних моделей, в зв'язку з чим в роботі розглянуто особливості залишкової моделі, моделі індустріально-економічного розвитку, моделі індустріально-розподільчої та моделі державного добробуту. Теоретичний аналіз моделей соціального захисту дав змогу імплементації деяких ідей північної моделі, а само використання принципу довіри як основи взаємодії між органами влади (надавачами соціальних послуг) та населенням (отримувачем соціальних пільг). У статті наведено основні проекти Плану відновлення України як підтвердження сучасного процесу трансформаційних зрушень системи соціального захисту населення. Також у роботі запропонована модель системних перетворень соціального захисту міста, яка містить шість основних кроків реалізації. Запропонована модель розглядає соціальний захист як комплексну систему, яка потребує постійного аналізу, реформ та адаптації до змінних потреб, спричинених викликами сучасного міста. Модель ґрунтується на фундаментальних принципах: системності, випереджального стану, раціоналізації публічного управління; відкритості та прозорості функціонування органів публічної влади; ефективності функціонування механізмів публічного управління соціальним розвитком міста.

Ключові слова: соціальний захист, соціальне забезпечення, соціальний розвиток міста, 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

MODEL OF SYSTEMIC TRANSFORMATIONS OF CITY SOCIAL DEVELOPMENT

In the modern conditions of the military aggression of the Russian Federation, the issue of systemic transformations of the processes that shape the socio-economic development of the state and its regions is becoming more and more relevant. The study describes the peculiarities of the Ukrainian social protection system, which has undergone changes from paternalism to subsidiarity, the features of which are the formation of a welfare state, the development of human capital, and the realization of sustainability of economic development. But the armed conflict caused changes in many areas of socio-economic development, including the city's social development system. The article emphasizes the need for systemic transformations to clarify the essence and features of social protection taking into account existing national models, in connection with which the work considers the features of the residual model, the model of industrial and economic development, the model of industrial distribution and the model of state welfare. The theoretical analysis of social protection models enabled the implementation of some ideas of the northern model, and the use of the principle of trust as the basis of interaction between authorities (providers of social services) and the population (recipients of social benefits). The article presents the main projects of the Recovery Plan of Ukraine as a confirmation of the modern process of transformational shifts in the social protection system of the population. The work also proposes a model of systemic transformations of the city's social protection, which contains six main steps of implementation. The proposed model considers social protection as a complex system that needs constant analysis, reforms and adaptation to the changing needs caused by the challenges of the modern city. The model is based on fundamental principles: systematicity, anticipatory status, rationalization of public administration; openness and transparency of the functioning of public authorities; effectiveness of the mechanisms of public management of social development of the city.

Key words: social protection, social security, social development of the city, social sphere, public authorities, public administration, level and quality of life.

Постановка проблеми

У складних умовах воєнного стану зростає необхідність трансформаційних зрушень у системі соціального захисту, як складової соціального розвитку міста. Процес системних перетворень містить трансформаційні зміни в системі, що можуть включати перетворення у структурі, функціонуванні, взаємодії елементів та результатів, які генерує система. Системні перетворення це перш за все трансформація відповідно до нових потреб, викликів, технологій чи факторів, які можуть бути реалізовані суб'єктам публічного управління на державному та локальному рівні. Стосовно системи соціального захисту трансформаційні зрушення повинні містити зміни самої сутності захисту, який повинен формуватися на партнерських відносинах між державою та населенням. Це можливо здійснити за допомогою побудови моделі системних перетворень соціального розвитку міста, якій і буде присвячено дана стаття.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Обранню моделей публічного управління соціальним розвитком нашої держави присвятили свої праці науковці: М. Будова, О. Вольська, М. Євтушенко, Д. Ковалевич, О. Кочемеровська, В. Криворучко, В. Лаврухін, О. Латишева, В. Москаленко, Л. Павлова, О. Пищула, С. Пронин, В. Філіппова на ін. Незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених вирішенню проблем соціального розвитку, питання моделювання соціальних процесів залишаються актуальними та своєчасними.

Формування мети дослідження

Мета статті полягає в обґрунтуванні можливості застосування моделі системних перетворень соціального захисту населення, що забезпечить стійкість соціального розвитку міста.

Викладення основного матеріалу дослідження

Стійкість соціального розвитку міста забезпечується ефективним функціонуванням галузей соціальної сфери, до яких в тому числі належить соціальний захист населення. Під яким розуміється система державних та громадських заходів, спрямованих на забезпечення соціальної підтримки, безпеки та добробуту різних категорій населення, особливо тих, хто перебуває у вразливому становищі або потребує додаткової допомоги [1].

Варто зазначити, що сучасне українське законодавство не містить чітко визначеного поняття соціальний захист та соціальне забезпечення. Стаття 46 Конституції України акцентує увагу на соціальному захисті населення. В статті зазначається, що «громадяни мають право на соціальний захист, що включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом [2].

З цієї статті, очевидним є наявність принципів, на яких будується соціальний захист населення, а саме: відповідальність, яку мають нести наймані працівники, роботодавці інші категорії за фінансове забезпечення соціального захисту; фінансова підтримка працездатним населенням найменш захищених верств населення; наявна субсидіарність, яка визначає розмір та форми солідарної підтримки найменш захищених верств населення [3].

Згідно українського законодавства основними складовими соціального захисту є:

соціальне забезпечення: система допомоги в формі грошових виплат, пенсій, допомоги по безробіттю, матеріальної підтримки сімей та інших форм підтримки, які надаються державою або іншими соціальними організаціями;

медичне обслуговування та охорона здоров'я: забезпечення доступу населення до медичної допомоги, лікування, профілактичних заходів, ліків та інших медичних послуг;

освіта та навчання: забезпечення доступу до якісної освіти для всіх верств населення, включаючи державну та загальнодоступну освіту, вищу освіту, професійну підготовку та навчання дорослих;

житлове забезпечення: забезпечення доступу до житла, включаючи програми соціального житлового будівництва, субсидії на оплату комунальних послуг та інші форми підтримки у сфері житлового забезпечення;

захист прав дітей, інвалідів, літніх та інших вразливих категорій населення: забезпечення захисту прав та інтересів дітей, осіб з інвалідністю, літніх громадян та інших груп, які потребують особливої уваги та захисту;

соціальна реабілітація та підтримка: надання психологічної підтримки, соціальної реабілітації та інших послуг для осіб, які пережили травми, насильство або інші складні життєві обставини.

До системи соціального захисту входить соціальне забезпечення під яким можна розуміти інструмент соціального захисту, сутність якого полягає у виконанні державою захисної функції через забезпечення матеріальними засобами та соціальними послугами населення у разі настання соціальних ризиків [4].

Зазначимо, що в українському науковому просторі ведуться дискусії відносно понять «соціальний захист» та «соціальне забезпечення». Розбіжності стосуються трактування та першорядності. Поділяючи думки вітчизняних дослідників, ми дотримуємося думки про першорядність соціального захисту. Так В. Москаленко, зазначає що само «соціальний захист», на відміну від «соціального забезпечення», передбачає державні соціальні гарантії щодо охорони праці, здоров'я, навколишнього середовища, оплати праці та інші гарантії, необхідні для життєзабезпечення населення держави. А «соціальне забезпечення» це практика виплати пенсій, соціальної допомоги, соціального догляду [5].

У відповідності до досліджень [6] українська система соціального захисту – сукупність заходів правового, економічного та соціального характеру, які гарантовані Конституцією України, сутність створення яких полягає у створенні та забезпеченні умов життєдіяльності для працездатного населення так і для тих, хто опинився у скрутних життєвих умовах. При цьому держава гарантує обом категоріям соціальну безпеку та захищеність, функціонуючи у відповідності до своєї структури, яка є цілеспрямованою та всеосяжною та має елементи: 1) соціальне страхування для працездатного населення; 2) соціальну допомогу для тих, хто опинився у скрутних життєвих умовах; 3) соціальні гарантії для першої та другої категорії.

Особливості української системи соціального захисту за роки незалежності характеризуються переходом від патерналізму до субсидіарності, основними рисами якого є формування соціальної держави, розвиток людського капіталу та реалізація сталості економічного розвитку. Однак, воєнна агресія російської федерації спричинила зміну у багатьох сферах суспільного життя, що вимагає системних перетворень в інституціях. державного та публічного управління, до яких відноситься і система соціального захисту.

За визначенням В. Лаврухіна, до основних недоліків чинної моделі соціального захисту в Україні можна віднести: переоцінку ролі і можливостей держави в соціальному захисті (наявність дисбалансу бюджету, неможливість забезпечити сталість рівня та якості життя населення держави); ігнорування потенціалу самопомогі окремих груп соціально незахищеного населення; недооцінку можливостей ринкової економіки в соціальному захисті [7].

Зазначимо, що в умовах воєнного стану система соціального захисту зазнає істотних змін та спрямовується на пошук нових, більш прогресивних механізмів та інструментів участі держави у вирішенні соціальних проблем суспільства. На нашу думку, цього можна досягти через дослідження існуючих ефективних моделей соціального захисту (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика існуючих національних моделей соціального захисту

Існуюча модель соціального захисту	Характеристик моделі
Залишкова (на основі моделі Бісмарка та Бевериджа) [7] США, Великобританія	Роль держави мінімальна. Провідна роль при здійсненні соціальної політики віддається благодійним та (або) громадським організаціям, при цьому держава виступає у цих відносинах тільки в тому випадку, якщо сім'я та ринок, як соціальні інститути, перестають здійснювати свої функції або роблять це неналежним чином. Допомога направлена лише особам, нездатним самостійно задовольнити свої потреби.
Модель індустріально-економічного розвитку ФРН, Франція [7]	Інститут соціального страхування населення функціонує під контролем держави. Основою забезпечення є обов'язкове соціальне страхування. Фінансовою основою є фонди соціального страхування. Внески фінансуються в рівних долях самими застрахованими особами та роботодавцями. Держава бере активну участь у поповненні фондів соціального страхування. Пенсію за віком отримує лише той, хто досяг пенсійного віку та має достатній страховий стаж.
Модель індустріально-розподільча Данія [8]	Модель заснована за принципом, що всі групи населення повинні мати гідний рівень життя та всім громадянам гарантуються основні права у разі безробіття, хвороби чи старості. Пенсійне забезпечення складається з двох виплат: народна пенсія, яку отримують всі категорії громадян незалежно від трудової діяльності; трудова пенсія, яка виплачується щорічно, її розмір залежить від трудового стажу та розміру заробітної плати, оскільки кожен працюючий зобов'язаний відраховувати щомісячно певний відсоток своєї зарплати до Пенсійного фонду, що становить 1/3 частину його внеску, а роботодавець зобов'язаний відраховувати решту 2/3 частини внеску.
Модель державного добробуту (північна модель) Швеція, Норвегія [8]	Всеосяжний характер соціального страхування, до якого входить безкоштовна медична допомога, загальне пенсійне забезпечення, страхування безробіття і навіть допомоги у разі хвороби. Отримання соціальних виплат та послуг не обумовлено зайнятістю та звичай гарантується всім жителям держави незалежно від їх соціального та майнового статусу. Універсалізму моделі сприяє активна перерозподільна політика, що ґрунтується на принципі соціальної солідарності. Зазначений принцип передбачає участь всіх громадян у фінансуванні системи соціального захисту та внесення ними вкладу, пропорційного одержуваним доходам. Соціальний захист діє на системі довіри між державою та отримувачами соціальних пільг.

Отже, можна стверджувати, що для удосконалення системи соціального захисту населення України можна застосувати принципу довіри між державою як надавачем соціальних послуг та населенням як отримувачем соціальних пільг, що є основою північної моделі соціального захисту. Розглянемо більш детально запропоновані положення.

Почати слід з того, що в основу північної моделі покладено принцип «колективного індивідуалізму», який передбачає, що найбільш ефективна реалізація потенціалу кожного окремого громадянина можлива лише в рамках певної колективістської системи, яка діє у відповідному місцевому співтоваристві. Кожен член суспільства має певним чином робити свій внесок у цю колективістську систему і підтримувати її функціонування, усвідомлюючи те, що першим вигоду з неї може отримати хтось інший, хто її більше потребує. При цьому зберігається розуміння то, що кожен громадянин розуміє то, що він не даремно вкладає свої гроші: при необхідності ця система обов'язково прийде йому на допомогу і вже внесків інших спрацюють на нього [9].

Такого рівня довіри між державою та суспільством можна досягти лише через наявність демократичних перетворень у нашій країні, які обов'язково будуть здійснені після перемоги над агресором. Для зміни моделі соціального захисту нашій державі необхідна відкритість і свобода, що забезпечать високий рівень довіри громадян як відносно один одного так, і до органів влади та політики держави.

Розуміння сутності довіри в українському суспільстві, вимагає сприймання її як «системоутворюючого елементу» всієї моделі соціального розвитку, визначений як якість відносин, що складаються в її межах. Українська модель соціального захисту повинна спиратись на довіру як важливу складову у відносинах між постачальниками соціальних послуг та їх споживачами. Відсутність належної довіри до останніх як окремих споживачів, так і суспільства в цілому, може призвести до дисбалансу у соціальній системі.

Реалізацію принципу довіри у системі соціального захисту можна простежити у Плані відновлення України, якій містить проекти забезпечення ефективної соціальної політики (табл. 2).

Таблиця 2

Проекти забезпечення ефективної соціальної політики [10]

Розвиток української сім'ї	Реабілітація ветеранів	Пенсійне забезпечення та підтримка ВПО та соціальна інтеграція	Інші сфери
Комплексна підтримка і захист дітей та сімей з дітьми, переміщених (евакуйованих) за кордон	Програма інтеграції ветеранів, що включатиме освітні та рекреаційні ініціативи для ветеранів та їх сімей, а також ініціативи з працевлаштування	Інтеграційна інформаційна інтерактивна платформа взаємодії та підтримки переміщених осіб «Самореалізація в Україні»	Запровадження у експлуатацію ЄССС (єдиної інформаційної системи соціальної сфери)
Популяризація та розвиток усиновлення	Розбудова системи регіональної реалізації ветеранської політики шляхом утворення мережі сучасних сервісних офісів у справах ветеранів	Запровадження повноцінного функціонування системи загальнообов'язкового накопичувального пенсійного забезпечення в Україні	Проект «Створення умов для професійної реадaptaції батьків, які втратили роботу внаслідок війни»
Проект «Забезпечення (молодих сімей, сімей з дітьми) житлом»	Скорочення житлової черги серед ветеранів та членів сімей загиблих	Підвищення доступності та прозорості інформації про Фонди загальнообов'язкового соціального та пенсійного страхування, зокрема щодо їхніх фінансових показників	Трансформація розгалуженої системи соціальних виплат в універсальну таргетовану соціальну допомогу
Проект «Запровадження механізму фінансування “Гроші ходять за дитиною”»	Створення системи центрів ветеранського розвитку на базі закладів освіти	Оновлення політики щодо розвитку соціальної інтеграції та участі у житті суспільства людей з інвалідністю та реалізація оновленої політики щодо зайнятості осіб з інвалідністю	Спеціальна програма підтримки, що включає доступ до житла, фінансову компенсацію та соціальні послуги
Проект Національний план дій щодо реалізації державної сімейної політики в Україні	Трансформація мережі госпіталів ветеранів війни у сучасні реабілітаційні центри з метою забезпечення належного рівня та обсягу реабілітаційної допомоги в рамках маршруту ветерана в тривірневій системі реабілітації	Розроблення система підвищення кваліфікації фахівців, які надають соціальні послуги	Розбудова системи соціальних послуг та побудова інтегрованої моделі їх надання Розширення програми надання допомоги по частковому безробіттю
Проект «Кадрове забезпечення служб у справах дітей»	Всеукраїнське дослідження потреб ветеранів	Загальний аналіз доступності публічних об'єктів (відкритих для громадськості) для людей з інвалідністю та маломобільних груп населення	Розроблення програми підготовки посадових осіб органів місцевого самоврядування щодо планування, надання, моніторингу та оцінки якості послуг

Ефективність реалізації зазначених проектів можлива через удосконалення кадрового забезпечення органів соціального захисту населення, що може стати основою моделі системних перетворень соціального захисту. Важливою характеристикою таких перетворень є їх комплексний характер та взаємозв'язок з різними аспектами життя суспільства. Перетворення можуть мати значний вплив на розвиток і динаміку соціальної сфери.

До того ж, модель системних перетворень соціального захисту міста може включати ряд ключових етапів та заходів для вдосконалення цієї системи, з метою підвищення ефективності та адаптації до потреб мешканців, що можуть постійно змінюватися (рис. 1).

Алгоритмом реалізації зазначеної моделі включає шість основних складових є:

перший крок – здійснення комплексного аналізу соціальних потреб мешканців міста, визначення основних проблем та пріоритетних напрямків розвитку системи соціального захисту;

другий крок – формування стратегії соціального захисту, реалізація якої забезпечить його відповідність сучасним викликам та потребам мешканців міста;

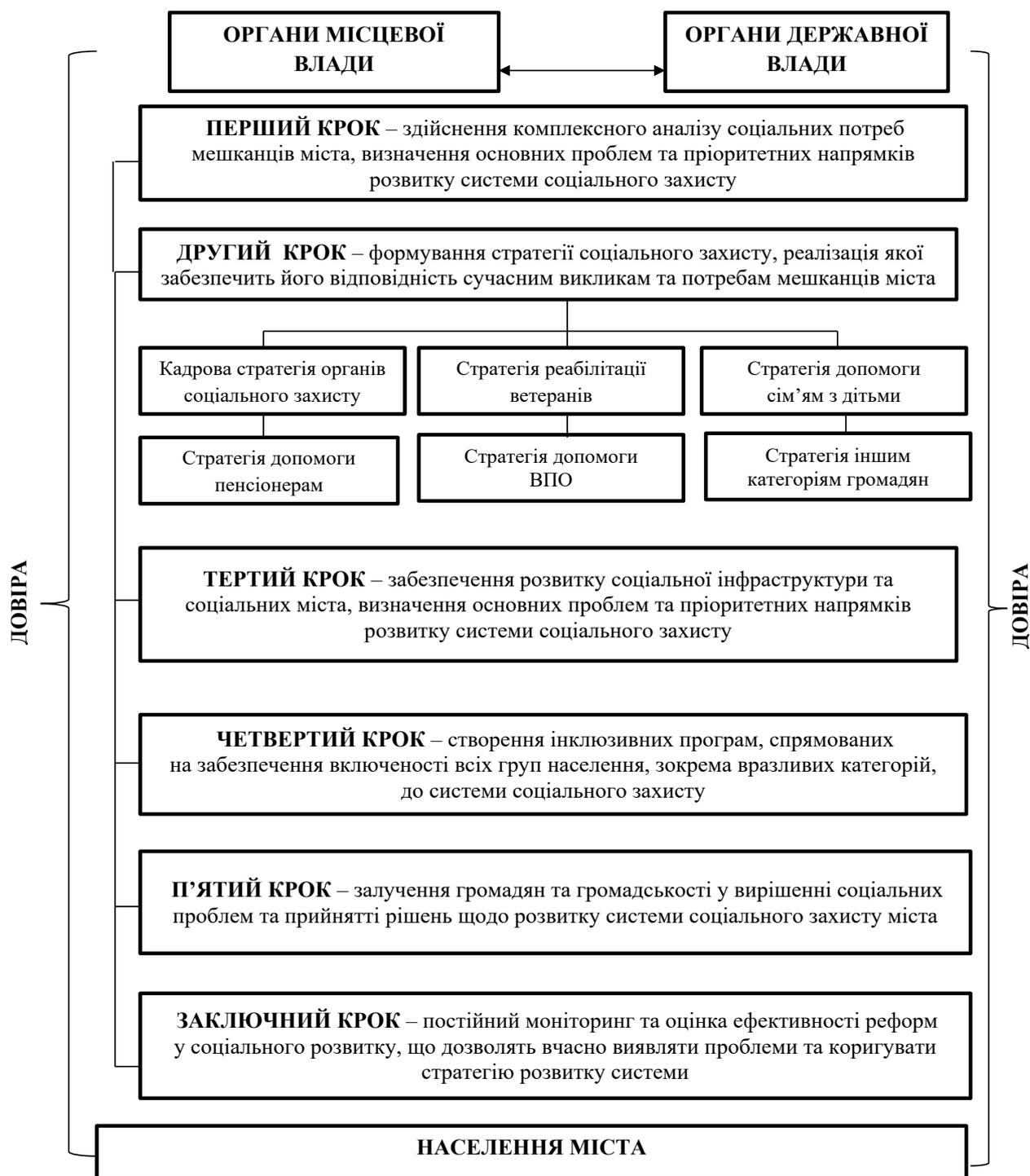


Рис. 1. Модель системних перетворень соціального розвитку міста

третій крок – забезпечення розвитку соціальної інфраструктури та соціальних послуг, які надаються мешканцям міста. Це може включати розвиток медичних, освітніх, культурних та інших соціальних закладів;

четвертий крок – створення інклюзивних програм, спрямованих на забезпечення включеності всіх груп населення, зокрема вразливих категорій, до системи соціального захисту;

п'ятий крок – залучення громадян та громадськості у вирішенні соціальних проблем та прийнятті рішень щодо розвитку системи соціального захисту населення міста;

заключний крок – постійний моніторинг та оцінка ефективності реформ соціального розвитку, що дозволять вчасно виявляти проблеми та коригувати стратегію розвитку системи.

Отже, запропонована нами модель розглядає соціальний розвиток як комплексну систему, яка потребує постійного аналізу, реформ та адаптації до змінних потреб та викликів сучасного міста. При цьому модель ґрунтується на фундаментальних принципах: системності, випереджального стану, раціоналізації публічного управління; відкритості та прозорості функціонування органів публічної влади; ефективності функціонування механізмів публічного управління соціальним розвитком міста.

Висновки

Таким чином, проведене нами дослідження доводить, що соціальний розвиток відіграє важливішу роль у соціально-економічному розвитку міста, саме завдяки йому вдається вирівнювати соціальне становище різних категорій громадян та забезпечувати стабільну рівновагу громадянського суспільства. Саме завдяки системним перетворенням системи соціального розвитку українське суспільство має можливість досягнути свого сталого розвитку, піклуючись про громадян, які постраждали внаслідок воєнної агресії російської федерації. Тому формування довіри між органами влади та членами громадянського суспільства є запорукою підвищення ефективності системи соціального розвитку нашої держави.

Список використаної літератури

1. Ковалевич Д.А. Соціальний захист населення як важливий напрям соціальної політики держави. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2020. Випуск 30. С. 87–91.
2. Конституція України – Розділ II. Права, свободи та обов'язки людини і громадянина URL: <https://www.president.gov.ua/ua/documents/constitution/konstituciya-ukrayini-rozdil-ii#:~:text>
3. Основні напрями оптимізації системи соціального захисту в Україні : аналіт. доп. / О. О. Кочемировська, О. М. Пищуліна. К. : НІСД, 2012. 88 с.
4. Криворучко В.В. Соціальне забезпечення: теоретичні проблеми. *Вісник ХНУВС*. 2013. № 4(63). С. 215–222.
5. Москаленко В. В. Сутність соціального захисту та його місце в політиці соціальної держави. *Наукові записки Києво-Могилянської академії. Політичні науки*. 2005. Т. 21. С. 41–44.
6. Павлова Л.О. Політико-економічний аналіз системи соціального захисту населення в Україні: дисертація на здобуття наукового ступеня к.е.н. за спец. 08.00.01. Київ, 2016. 230 с. URL: https://www.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/12/dis_pavlova.pdf
7. Лаврухін В. В. Реформування чинної моделі соціального захисту в системі пріоритетів державної соціальної політики в Україні: дисертація на здобуття наукового ступеня к. н. з державного управління за спеціальністю 25.00.02. Національна академія державного управління при президентові України. Київ, 2015. 263 с. URL: <http://academy.gov.ua/pages/dop/138/files/2f2118a5-f3eb-400d-9c45-5903e4244a39.pdf>
8. Латишева О.В., Євтушенко М.О., Пронин С.В., Будова М.Ю. Соціальний захист держави: суть, моделі та особливості забезпечення. *Вісник економічної науки України* 2020. № 2. С. 95–104.
9. The Relational Nordic Welfare State: Between Utopia and Ideology / ed. by S. Hänninen, K.-M. Lehtelä, P. Saikkonen. Cheltenham, 2019. P. 263.
10. Проєкти нацпрограми Забезпечення ефективної соціальної політики URL: <https://recovery.gov.ua/project/program/secure-targeted-and-effective-social-policy?page=5>
11. Родіонов Є.О., Філіппова В.Д. Теоретичні засади соціальної взаємодії влади та суспільства в сучасних умовах державотворення *Вісник ХНТУ. Публічне управління та адміністрування*. 2023 № 3 (86). С. 171–175. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2028-4481.2023.3.23>
12. Вольська О.М. Соціальні інновації як складова державної соціальної політики. *Актуальні проблеми державного управління* 2(58)/2020. С.216-221 DOI: 10.34213/ap20.02.25

References

1. Kovalevych D.A. (2020) Sotsial'nyj zakhyst naseleennia iak vazhlyvyj napriam sotsial'noi polityky derzhavy. [Social protection of the population as an important direction of the state's social policy] *Naukovyj visnyk Uzhhorods'koho natsional'noho universytetu*. 2020. Vypusk 30. S. 87–91 [in Ukrainian]
2. Konstytutsiia Ukrainy – Rozdil II. Prava, svobody ta obov'iazky liudyny i hromadianyna [Constitution of Ukraine – Chapter II. Rights, freedoms and duties of a person and a citizen] URL: <https://www.president.gov.ua/ua/documents/constitution/konstituciya-ukrayini-rozdil-ii#:~:text> [in Ukrainian]
3. Osnovni napriamy optymizatsii systemy sotsial'noho zakhystu v Ukraini : analit. dop.[The main directions of optimization of the social protection system in Ukraine] / O. O. Kochemyrovs'ka, O. M. Pyschulina. K. : NISD, 2012. 88 s. [in Ukrainian]
4. Kryvoruchko V.V.(2013) Sotsial'ne zabezpechennia: teoretychni problemy.[Social security: theoretical problems] *Visnyk KhNUPS*. 2013. № 4(63). S. 215–222 [in Ukrainian]
5. Moskalenko V. V.(2005) Sutnist' sotsial'noho zakhystu ta joho mistse v politytsi sotsial'noi derzhavy [The essence of social protection and its place in the policy of the welfare state]. *Naukovi zapysky Kyievo-Mohylians'koi akademii. Politychni nauky*. 2005. T. 21. S. 41–44. [in Ukrainian]

6. Pavlova L.O.(2016) Polityko-ekonomichnyj analiz systemy sotsial'noho zakhystu naselennia v Ukraini [Political and economic analysis of the system of social protection of the population in Ukraine]: dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia k.e.n. za spets. 08.00.01. Kyiv, 2016. 230 s. URL: [https://www.lnu.edu. ua/ wp-content/uploads/2015/12/dis_pavlova.pd](https://www.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/12/dis_pavlova.pd) [in Ukrainian]
7. Lavrukhin V.V. (2015) Reformuvannia chynnoi modeli sotsial'noho zakhystu v systemi priorytetiv derzhavnoi sotsial'noi polityky v Ukraini [Reforming the current model of social protection in the system of state social policy priorities in Ukraine]: dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia k. n. z derzhavnoho upravlinnia za spetsial'nistiu 25.00.02. Natsional'na akademiia derzhavnoho upravlinnia pry prezidentovi Ukrainy. Kyiv, 2015. 263 s. URL: [http://academy.gov.ua/pages/dop/138/files/ 2f2118a5-f3eb-400d-9c45-5903e4244a39.pdf](http://academy.gov.ua/pages/dop/138/files/2f2118a5-f3eb-400d-9c45-5903e4244a39.pdf) [in Ukrainian]
8. Latsheva O.V., Yevtushenko M.O., Pronyn S.V., Budova M.Yu. (2020) Sotsial'nyj zakhyst derzhavy: sut', modeli ta osoblyvosti zabezpechennia. [Social protection of the state: essence, models and features of provision]. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy* 2020. № 2. S. 95–104 [in Ukrainian]
9. The Relational Nordic Welfare State: Between Utopia and Ideology / ed. by S. Hänninen, K.-M. Lehtelä, P. Saikkonen. Cheltenham, 2019. P. 263 [in English]
10. Proiekty natsprohramy Zabezpechennia efektyvnoi sotsial'noi polityky [Projects of the national program Ensuring effective social policy] URL: <https://recovery.gov.ua/project/program/secure-targeted-and-effective-social-policy?page=5> [in Ukrainian]
11. Rodionov Ye.O., Filippova V.D. (2023) Teoretychni zasady sotsial'noi vzaiemodii vlady ta suspil'stva v suchasnykh umovakh derzhavotvorennia [Theoretical principles of social interaction of government and society in modern conditions of state formation]*Visnyk KhNTU. Publichne upravlinnia ta administruvannia*. 2023 № 3 (86). S. 171–175. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2028-4481.2023.3.23> [in Ukrainian]
12. Vol's'ka O.M. (2020) Sotsial'ni innovatsii iak skladova derzhavnoi sotsial'noi polityky. [Social innovations as a component of state social policy]*Aktual'ni problemy derzhavnoho upravlinnia* 2(58)/2020. S. 216–221. DOI: 10.34213/ap20.02.25 [in Ukrainian]

І. М. ПЕРЕСТЮК

кандидат наук з державного управління, доцент,
докторант кафедри публічного управління та адміністрування
Національний авіаційний університет
ORCID: 0000-0003-1692-9247

ДЕФОЛТ І ФІНАНСОВА СИСТЕМА УКРАЇНИ: ПЕРЕГЛЯД РЕГУЛЯТОРНОЇ ПОЛІТИКИ

Автором досліджено що, на сьогоднішній день в нашій країні, що дефолт України становить серйозну загрозу для економіки та фінансової системи країни. Проаналізовані різноманітні причини дефолту, такі як економічні труднощі, бюджетний дефіцит, погіршення зовнішнього торговельного балансу, політичні кризи та зростання державного боргу. З'ясовано, що для запобігання дефолту та забезпечення фінансової стабільності України необхідно впроваджувати реформи у різних сферах, включаючи фіскальну політику, монетарну політику, банківську систему, податкову систему та енергетику. Визначено також співпрацювати з міжнародними фінансовими організаціями та залучати іноземні інвестиції. Забезпечення фінансової стабільності та підтримки економічної безпеки України вимагає комплексного підходу та рішучих дій з боку уряду та інших зацікавлених сторін. Також у статті висвітлені політичні кризи та їх вплив на фінансову стабільність. Нестабільність у внутрішній політиці та відсутність консенсусу можуть призвести до втрати довіри як внутрішніх, так і зовнішніх інвесторів. Зростання державного боргу також є важливою причиною дефолту, особливо якщо немає можливості рефінансувати цей борг та сплатити відсотки. Недисциплінована позичкова політика та високі процентні ставки на борг можуть ускладнити ситуацію ще більше. Досліджено, що для запобігання дефолту та зміцнення фінансової стабільності України необхідно впроваджувати комплекс реформ та стратегій. Це включає в себе роботу над фіскальною політикою, монетарною політикою, банківською системою, податковою системою та енергетичною реформою. Підкреслено, що важливо співпрацювати з міжнародними фінансовими організаціями та залучати іноземні інвестиції для підтримки фінансової стабільності та забезпечення економічної безпеки України. Комплексний підхід та рішучі дії є важливими факторами у запобіганні дефолту та забезпеченні сталого розвитку країни. Розглянуто вплив можливого дефолту України на міжнародні фінансові ринки та відносини з міжнародними кредиторами та іншими країнами, а також обговорено роль міжнародних фінансових організацій, зокрема Міжнародного валютного фонду у вирішенні фінансових криз.

Ключові слова: дефолт, фінансова система, регулятивна політика, економічні труднощі, бюджетний дефіцит, зовнішній торговельний баланс, політичні кризи, державний борг.

І. М. PERESTYUK

PhD in Public Administration, Associate Professor,
Doctoral Student at the Department of Public Management and Administration
National Aviation University
ORCID: 0000-0003-1692-9247

DEFAULT AND FINANCIAL SYSTEM OF UKRAINE: REVIEW OF REGULATORY POLICY

The author researched that, today in our country, the default of Ukraine poses a serious threat to the country's economy and financial system. Various causes of default are analyzed, such as economic difficulties, budget deficits, deterioration of the external trade balance, political crises and the growth of public debt. It was found that in order to prevent default and ensure the financial stability of Ukraine, it is necessary to implement reforms in various areas, including fiscal policy, monetary policy, banking system, tax system and energy. It is also determined to cooperate with international financial organizations and attract foreign investments. Ensuring financial stability and maintaining the economic security of Ukraine requires a comprehensive approach and decisive actions on the part of the government and other stakeholders. The article also highlights political crises and their impact on financial stability. Instability in domestic politics and lack of consensus can lead to loss of confidence of both domestic and foreign investors. The growth of public debt is also an important cause of default, especially if there is no possibility to refinance this debt and pay the interest. An undisciplined borrowing policy and high interest rates on debt can complicate the situation even more. It has been studied that in order to prevent default and strengthen the financial stability of Ukraine, it is necessary to implement a complex of reforms and strategies. This includes work on fiscal policy, monetary policy, the banking system, the tax system and energy reform. It was emphasized that it is important to cooperate with international financial organizations and attract foreign investments to support financial stability and ensure the economic security of Ukraine. A comprehensive approach and decisive actions are important factors in preventing default and ensuring sustainable development of the country. The

impact of a possible default of Ukraine on international financial markets and relations with international creditors and other countries was considered, as well as the role of international financial organizations, in particular the International Monetary Fund, in resolving financial crises was discussed.

Key words: *default, financial system, regulatory policy, economic difficulties, budget deficit, foreign trade balance, political crises, public debt.*

Постановка проблеми

Постановка проблеми полягає у визначенні серйозної загрози дефолту та недостатньої фінансової стабільності в Україні. Країна стикається з війною і рядом проблем, таких як економічні труднощі, бюджетний дефіцит, погіршення зовнішнього торговельного балансу, які можуть призвести до негативних наслідків для її фінансової системи та економіки загалом. Поставлення цієї проблеми вимагає ретельного аналізу та розгляду регуляторної політики та реформ, які можуть бути впроваджені для запобігання дефолту та забезпечення стабільності фінансової системи України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Окремі аспекти проблеми ролі дефолту і фінансової системи України: перегляду регуляторної політики досліджували такі науковці, як: Н. Слав'юк [1], С. Глущенко [2], Ю. Деркач [3], М. Небава [6], С. Онишко [7] та інші.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є вивчення причин та наслідків можливого дефолту України та розгляд регуляторної політики для забезпечення фінансової стабільності.

Викладення основного матеріалу дослідження

Дефолт країни – це потенційна загроза, яка може виникнути, коли держава не в змозі виконати свої фінансові зобов'язання перед кредиторами або власними громадянами. Ця проблема належить до особливо важливих, оскільки має серйозний вплив на фінансову систему, економіку та життя населення.

Важливо зазначити, що перегляд регуляторної політики стає критичним завданням для запобігання дефолту та забезпечення стійкої фінансової майбутності України.

Таблиця 1

Основні причини дефолту України

Причина	Пояснення
Економічні труднощі	зниження економічного зростання та рецесія зменшують доходи уряду та підвищують фінансовий тиск на бюджет
Бюджетний дефіцит	надмірний бюджетний дефіцит призводить до збільшення державного боргу, що може вплинути на спроможність погасити борг та відсотки
Погіршення зовнішнього торговельного балансу	негативний зовнішній торговий баланс може зменшувати іноземні валютні надходження та створювати тиск на валютний ринок
Воєнні дії	руйнація інфраструктури, релокація бізнесу, зростання соціальних виплат категоріям громадян, що зазнали прямих втрат, витрати на відновлення життєво необхідних об'єктів, залежність від фінансових надходжень партнерів.
Політичні кризи	нестабільність у внутрішній політиці та нездатність до реформ можуть погіршити довіру інвесторів та ускладнити фінансові операції
Зростання державного боргу	надмірне збільшення державного боргу без здатності його рефінансувати може призвести до фінансового тиску та дефолту

Складено та узагальнено на основі аналізу джерела [3]

Слід наголосити, що з розглянутих причин дефолту України видно, що ця проблема є складною та має багато чинників. Економічні труднощі, бюджетний дефіцит, погіршення зовнішнього торговельного балансу, політичні кризи та зростання державного боргу – всі ці чинники можуть спільно призвести до дефолту. Запобігання цій небажаній ситуації вимагає детального аналізу та впровадження ефективних економічних та фінансових стратегій з метою забезпечення стабільності та надійності фінансової системи України [5].

Необхідно звернути увагу, що на думку вченої Н. Слав'юк [1, с. 101–106], дефолт може мати серйозний вплив на фінансову систему, особливо на фінансові інститути, такі як банки, страхові компанії та інші фінансові установи. Основні наслідки дефолту для фінансової системи включають таке:

банкрутство фінансових установ: дефолт може призвести до значних втрат для банків та інших фінансових установ, які мають інвестиції в державний борг або зв'язані з ними облигаціями. Великі втрати можуть викликати банкрутство цих установ, що створює хвилю незабезпеченості на ринку та може спровокувати фінансовий криз; *втрата довіри клієнтами:* дефолт може призвести до втрати довіри клієнтів до фінансових установ, які можуть бути втягнуті в цю кризу. Клієнти можуть почати знімати свої депозити з банків з обуренням та обмежувати свої інвестиції, щоб уникнути ризиків. Це може спричинити банківську нервозність і масовий вивід коштів з фінансових установ, що створює загрозу для стабільності системи. Це може призвести до банківських панік та великого

виведення коштів з фінансових установ, що загрожує стабільності системи; *зменшення доступності кредитів*: фінансова незабезпеченість може призвести до зменшення ліквідності на ринку та обмеження доступу до кредитів для підприємств і громадян. Це може призвести до зменшення інвестицій, економічного спаду та безробіття; *спад цін на фінансові активи*: дефолт може викликати паніку на фінансових ринках, що призводить до різкого спаду цін на акції, облігації та інші фінансові активи. Це може втратити велику частку майна інвесторів; *вплив на страховий сектор*: страхові компанії можуть постраждати внаслідок дефолту через великі виплати за полісами страхування облігацій та інших активів, пов'язаних з державним боргом.

Крім того, у великій мірі відновлення фінансової стабільності після дефолту вимагає дієвого кризового управління, реформ в фінансовому секторі та зусиль для відновлення довіри ринків та клієнтів.

Окремо необхідно відмітити думку вченого С. Онишко [7], що регулятивна політика грає важливу роль у попередженні дефолту та управлінні наслідками дефолту в економіці. Вона включає в себе різні заходи та інструменти, які держава може вживати для забезпечення фінансової стабільності та запобігання кризам.



Рис. 1. Основні інструменти регуляторної політики та їх застосування

Складено та узагальнено на основі аналізу джерела [7]

Варто підкреслити, що управління фінансовою стабільністю та попередження дефолту включає в себе комплекс регулятивних інструментів. Монетарна політика дозволяє впливати на грошовий обіг та інфляцію через регулювання відсоткових ставок. Фіскальна політика вимагає бюджетної дисципліни та оптимізації грошових витрат. Валютне регулювання має на меті стабілізацію валютного ринку. Зміни в законодавстві та моніторинг ризиків також грають важливу роль. Співпраця з міжнародними організаціями може забезпечити додаткову фінансову та технічну підтримку. Всі ці інструменти допомагають забезпечити стабільність фінансової системи та попередити фінансові кризи [2, с. 5–9; 6].

Варто підкреслити, що дефолт України може мати значний міжнародний вплив, який охоплює міжнародні фінансові ринки, відносини з міжнародними кредиторами та економічну дипломатію. Зокрема, в разі настання дефолту країни виникатиме ряд загроз на міжнародній арені:

– Міжнародні фінансові ринки: дефолт України може викликати неспокій на міжнародних фінансових ринках. Це може призвести до росту ставок по облігаціях інших країн з ризиковими активами, оскільки інвестори зможуть більше не довіряти облігаціям інших емітентів;

– Відносини з міжнародними кредиторами: державний борг України значною мірою залежить від міжнародних кредиторів і організацій, таких як Міжнародний валютний фонд (далі – МВФ) та Світовий банк. Дефолт може порушити угоди та умови кредитів, що має наслідком важливі переговори та вплив на фінансову допомогу;

– Економічна дипломатія: дефолт може вплинути на економічні відносини України з іншими країнами. Це може призвести до складних переговорів з міжнародними партнерами, перегляду торгових угод та впливу на інвестиційний клімат;

– Міжнародна репутація: дефолт може мати вплив на міжнародну репутацію України та довіру міжнародних інвесторів. Це може вплинути на імідж країни та її здатність залучати іноземні інвестиції;

– Допомога та підтримка: після дефолту Україна може шукати допомогу та фінансову підтримку від міжнародних партнерів для відновлення фінансової стабільності та реформ. Ця допомога може включати фінансову допомогу, технічну підтримку та рекомендації з політичних реформ [3, с. 21–25; 7].

Отже, всі ці аспекти міжнародного впливу дефолту України є суттєвими для осмислення потенційних впливів цієї ситуації на міжнародному рівні та в економіці України.

Доцільно зазначити, що міжнародні фінансові організації, такі як МВФ, грають важливу роль у вирішенні фінансових криз та наданні підтримки країнам, які переживають економічні труднощі.

МВФ та інші аналогічні організації можуть надавати міжнародну фінансову допомогу країнам, які стикаються з фінансовими труднощами або, можливо, дефолтом. Ця підтримка може включати надання позик або надання гарантій для допомоги країнам в погашенні боргів та забезпеченні фінансової стабільності.

Важливо зазначити, що заради отримання фінансової підтримки, міжнародні фінансові організації можуть встановлювати умови, які вимагають від країни виконання певних заходів. Ці вимоги можуть включати необхідність дотримання фінансової дисципліни, проведення реформ в галузі податків, бюджету, банківської системи та поліпшення системи управління.

Крім цього, організації, такі як МВФ, надають країнам експертну підтримку та консультації у сфері економічних реформ і політики. Вони сприяють у вдосконаленні фінансової системи, забезпеченні стабільності на валютному ринку та впровадженні ефективних грошово-кредитних стратегій. МВФ здійснює постійний моніторинг економічної ситуації та ступеня виконання встановлених умов країною. Це допомагає стежити за прогресом у впровадженні реформ та визначати необхідні заходи для корекції ситуації [8].

Варто наголосити, що наявність фінансової підтримки від міжнародних організацій може сприяти підвищенню довіри інвесторів до країни та створити сприятливі умови для приваблення іноземних інвестицій. Співпраця з іншими країнами також може виявитися важливою, оскільки в разі фінансових криз може знадобитися спільна дія кількох націй, і міжнародні фінансові організації можуть сприяти координації таких зусиль та підтримувати міжнародну співпрацю.

Таким чином, міжнародні фінансові організації грають критичну роль у врегулюванні фінансових криз та сприяють збереженню стабільності в глобальній економіці. Їхня допомога і підтримка є важливими для країн, які знаходяться в складних фінансових ситуаціях.

Необхідно зазначити, щодо уникнення можливого дефолту та зміцнення фінансової стабільності України, можливі заходи та стратегії можуть бути спрямовані на реформування регуляторної політики. Слід розглянути детальніше про можливі заходи:

– *забезпечення фінансової дисципліни*: Уряд України має активно дотримуватися фінансової дисципліни, забезпечуючи баланс бюджету та обмежуючи дефіцит. Це також включає прозоре управління бюджетом та публічними фінансами;

– *ефективна монетарна політика*: Національний банк України має вживати ефективних заходів для контролю інфляції та забезпечення стабільності національної валюти. Також необхідно сприяти розвитку та надійності банківської системи;

– *реформування банківської сфери*: Уряд має продовжувати реформи в банківській системі для підвищення надійності та прозорості. Це може включати підвищення капіталізації банків, посилення нагляду та регулювання, а також розв'язання проблемних активів;

– *податкові реформи*: Уряд повинен працювати над спрощенням системи оподаткування, зменшенням податкового тягаря та підвищенням ефективності збору податків, що може збільшити привабливість для іноземних інвесторів;

– *реформи в енергетичному секторі*: реформи в цій галузі допоможуть зменшити субсидії та підвищити її ефективність, а також зменшити залежність від імпортованих енергоресурсів;

– *приваблення іноземних інвестицій*: Україна повинна створити сприятливий інвестиційний клімат та привабити іноземних інвесторів шляхом поліпшення правової системи, захисту прав власності та забезпечення прозорості у сфері інвестицій;

– *співпраця з міжнародними партнерами*: Уряд може співпрацювати з міжнародними організаціями, такими як МВФ та Світовий банк, для отримання фінансової підтримки та технічної допомоги у впровадженні реформ та розв'язанні економічних проблем [2, с. 5–9; 3; 8].

Для запобігання можливого дефолту та зміцнення фінансової стабільності України необхідно провести комплекс реформ у таких сферах, як фінансова політика, монетарна політика, банківська сфера, податкова система, енергетика, приваблення іноземних інвестицій та співпраця з міжнародними партнерами. Впровадження цих заходів сприятиме підвищенню стійкості фінансової системи України та зменшенню ризику дефолту.

Так, забезпечення фінансової стабільності в Україні є критично важливим для її майбутнього. Реформи, регуляторна політика та співпраця з міжнародними партнерами можуть допомогти уникнути можливого дефолту та зміцнити фінансову систему. Стабільність та ефективність фінансового сектору створюють умови для сталого економічного зростання та підвищення рівня життя громадян, сприяючи загальному розвитку країни.

Висновки

Таким чином, слід зазначити, що дефолт України є серйозною загрозою, яка може мати негативні наслідки для економіки та фінансової системи країни. Причини дефолту можуть бути різноманітними, але найбільш суттєва причина сьогодні це постійні бойові дії, що підсилюють бюджетний дефіцит, погіршують зовнішній торговельний баланс та зростання державного боргу.

Отже, для запобігання дефолту та зміцнення фінансової стабільності України необхідно впроваджувати стабілізаційні заходи та нагальні реформи у різних сферах, включаючи фіскальну політику, монетарну політику, банківську систему, податкову систему та енергетику. Важливо, також співпрацювати з міжнародними фінансовими організаціями. Забезпечення фінансової стабільності та підтримки економічної безпеки України вимагає комплексного підходу та рішучих дій з боку уряду та інших зацікавлених сторін.

Список використаної літератури

1. Слав'юк Н. Р. Державний борг України: тенденції і наслідки. *Наукові записки НаУКМА. Економічні науки*. 2018 р. 3(1), С. 101–106. URL: <http://spne.ukma.edu.ua/article/view/150636> (дата звернення 08.04.2024)
2. Глушенко С. В. Монетарна політика: теоретико-методологічні аспекти : підруч. для студ. вищ. навч. закл. К. : НаУКМА, 2017 р. 64 с. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/fa9aefc2-a699-41e6-a681-708cb6832c5e/content> (дата звернення 08.04.2024)
3. Деркач Ю. Б. Використання інструментів валютного регулювання в умовах воєнного стану. *Трансформаційна економіка*. № 3 (03), 2023 р. С. 21–25. URL: <https://www.transformations.in.ua/index.php/journal/article/view/27/28> (дата звернення 08.04.2024)
4. Дефолт – що це таке та що значить для країни і людини. URL: https://termin.in.ua/default/#Defolt_pricini_viniknenna (дата звернення 08.04.2024)
5. Дефолт через великий держборг Україні не загрожує – фінансовий експерт. 2023 р. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3777665-defolt-cerez-velikij-derzborg-ukraini-ne-zagrozue-finansovij-ekspert.html> (дата звернення 08.04.2024)
6. Небава, М. І. Теорія макроекономіки : Навч. Посібник.. Київ : Слово, 2003. 536 с. Дискреційна фіскальна політика та її інструменти. Політика державних видатків і податкова політика. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmib/14nebava_teoriya_makroekonomiki/7.htm(дата звернення 08.04.2024)
7. Онишко С. В. Регулятивний потенціал фінансового ринку в умовах глобальних викликів: Ірпінь : Видавництво Національного університету ДПС України, 2016 р. 452 с.
8. Співпраця з міжнародними фінансовими організаціями. *Національний банк України*. URL: <https://bank.gov.ua/ua/about/international/financial-institutions> (дата звернення 08.04.2024)

References

1. Claviuk, N. R. (2018). Derzhavnyi borh Ukrainy: tendentsii i naslidky [Public debt of Ukraine: trends and consequences]. *Ekonomichni nauky*. vol. 3, pp. 101–106 [in Ukraine].
2. Hlushchenko, S. V. (2017). Monetarna polityka: teoretyko-metodolohichni aspekty : pidruch. dla stud. vyshch. navch. zakl. K. : NaUKMA [Monetary policy: theoretical and methodological aspects: tutorial. for students higher education closing. K. : NaUKMA] pp. 5–9 [in Ukraine].
3. Derkach, Yu. B. (2023). Vykorystannia instrumentiv valiutnoho rehuliuвання v umovakh voiennoho stanu [Use of instruments of currency regulation in the conditions of martial law]. *Transformatsiina ekonomika*. vol. 3 (03), pp. 21–25 [in Ukraine].
4. Defolt – shcho tse take ta shcho znachyt dla krainy i liudyny. [Default – what it is and what it means for the country and the person] URL: https://termin.in.ua/default/#Defolt_pricini_viniknenna
5. Defolt cherez velykyi derzhborh Ukraini ne zahrozhuie – finansovyi ekspert [Ukraine is not at risk of default due to a large national debt – a financial expert]. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3777665-defolt-cerez-velikij-derzborg-ukraini-ne-zagrozue-finansovij-ekspert.html> [in Ukraine].
6. Dyskretsiina fiskalna polityka ta yii instrumenty. Polityka derzhavnykh vydatkiv i podatkovna polityka [Discretionary fiscal policy and its instruments. Public expenditure policy and tax policy]. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmib/14nebava_teoriya_makroekonomiki/7.htm[in Ukraine].
7. Onyshko, S. V. (2016). Rehuliatyvnyi potentsial finansovoho rynku v umovakh hlobalnykh vyklykiv [The regulatory potential of the financial market in the face of global challenges]: Irpin : Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu DPS Ukrainy, 452 pp. [in Ukraine].
8. Spivpratsia z mizhnarodnymy finansovymy orhanizatsiiamy [Cooperation with international financial organizations]. URL: <https://bank.gov.ua/ua/about/international/financial-institutions> [in Ukraine].

Н. О. СЕРЬОГІНА

кандидат юридичних наук, доцент,
завідувач відділу аспірантури та докторантури
Національний університет охорони здоров'я України
імені П. Л. Шупика
ORCID: 0000-0002-4491-4723

І. О. КЛИМЧУК

кандидат педагогічних наук,
професор кафедри військової підготовки
Національний університет оборони України
ORCID: 0009-0006-0670-1512

ТИПОЛОГІЯ КОРУПЦІЙНИХ РИЗИКІВ У ВІЙСЬКОВИХ КОНФЛІКТАХ

Наразі не існує жодної держави, в якій корупцію вдалося повною мірою викоринити. Жодна із соціально-політичних та економічних систем не передбачала, не передбачає та не здатна передбачати повного імунітету до корупції. Корупція здатна існувати довгий період навіть в розвинених демократичних державах, а також у відкритих ринкових економіках. Різниця полягає не в існуванні або відсутності власне корупції, а в її обсягах, особливостях виявів корупції, впливі на економічні, соціальні, політичні, правові й інші процеси. Корупція, з одного боку, розкриває головні суспільні відносини, які реалізуються в державі й соціумі, з другого – чинить вплив на економіку, політику, правову сферу, ідеологію, суспільну психологію та ін. В корупції відображаються нерезультативність влади, недовершеність вагоміших державних та суспільних інститутів. Україна належить до держав, де існують зони ведення бойових дій, котрим властиве збільшення ступеня корупції. Необхідно усвідомити, що корупція вважається головною загрозою національній безпеці країни, водночас в синергетичному контексті впливає на решту загрози у безпековому секторі, сприяючи функціонуванню різноманітних видів організованої злочинності, поглиблюючи суспільну нестійкість, позбавляючи державу змоги здійснювати делеговані їй суспільством функції, роблячи неможливим економічне зростання. В статті проаналізовано найбільш актуальні корупційні ризики в військових конфліктах, зокрема у публічних закупівлях, мобілізаційній сфері та сфері гуманітарної допомоги. Наведено основні напрями подолання корупції у вище зазначених сферах, зокрема зростання ступеня прозорості й контролю процесу публічних закупівель; введення вимог стосовно додержання конкуренції й гарантування однакових умов для всіх, хто бере участь у процесі; забезпечення умов для відповідності понятійного апарату; перегляд переліку спеціально уповноважених державних органів щодо питань надання гуманітарної допомоги, діапазону їхніх повноважень і алгоритм їх здійснення; здійснення перегляду підстав для надання гуманітарної допомоги, а також правил митного оформлення вантажів із гуманітарною допомогою; окреслити принципи взаємодії між військовими адміністраціями й органами місцевого самоврядування; формулювання принципів та критеріїв розподілу гуманітарної допомоги; встановлення вимог щодо з'ясування кількості, звітності й контролювання цільового використання гуманітарної допомоги.

Ключові слова: корупція, корупційний ризик, публічні закупівлі, гуманітарна допомога, мобілізаційна сфера.

N. O. SERUOHINA

Candidate of Legal Sciences, Associate Professor,
Head of the Postgraduate and Doctoral Studies Department
National University of Health Care of Ukraine
named after P. L. Shupyk
ORCID: 0000-0002-4491-4723

I. O. KLYMCHUK

Candidate of Pedagogical Sciences,
Professor at the Department of Military Training
National University of Defense of Ukraine
ORCID: 0009-0006-0670-1512

TYPOLOGY OF CORRUPTION RISKS IN MILITARY CONFLICTS

Currently, there is no state in which corruption has been fully eradicated. None of the socio-political and economic systems predicted, does not predict, and is not capable of predicting complete immunity to corruption. Corruption can exist for a long period even in developed democratic states, as well as in open market economies. The difference is

not in the existence or absence of corruption itself, but in its scope, features of corruption manifestations, influence on economic, social, political, legal and other processes. Corruption, on the one hand, reveals the main social relations that are implemented in the state and society, on the other hand, it affects the economy, politics, legal sphere, ideology, social psychology, etc. Corruption reflects the ineffectiveness of the government, the imperfection of more important state and social institutions. Ukraine belongs to the countries where there are war zones, which are characterized by an increase in the degree of corruption. It is necessary to realize that corruption is considered the main threat to the national security of the country, at the same time, in a synergistic context, it affects the rest of the threat in the security sector, contributing to the functioning of various types of organized crime, deepening social instability, depriving the state of the ability to perform the functions delegated to it by society, making economic growth impossible. The article analyzes the most relevant corruption risks in military conflicts, in particular in public procurement, mobilization and humanitarian aid. The main directions for overcoming corruption in the above-mentioned areas, in particular, increasing the degree of transparency and control of the public procurement process; introduction of requirements regarding compliance with competition and guaranteeing the same conditions for all who participate in the process; ensuring the conditions for the conformity of the conceptual apparatus; review of the list of specially authorized state bodies regarding the provision of humanitarian assistance, the range of their powers and the algorithm of their implementation; conducting a review of the grounds for providing humanitarian aid, as well as the rules for customs clearance of cargo with humanitarian aid; outline the principles of interaction between military administrations and local self-government bodies; formulation of principles and criteria for distribution of humanitarian aid; establishing requirements for ascertaining the amount, reporting and monitoring the targeted use of humanitarian aid.

Key words: *corruption, corruption risk, public procurement, humanitarian aid, mobilization sphere.*

Постановка проблеми

Затяжна й широкомасштабна збройна агресія Росії проти України зумовила велику кількість змін щодо організації військового управління. Перетворення пріоритетів, а також критеріїв оцінки управлінських дій обумовило переоцінку напрямів антикорупційної діяльності й окреслення першочергових напрямів зменшення корупційних ризиків. Проблематика запобігання й протидії корупційним правопорушенням досліджується наразі в системному зв'язку із дієвістю протидії збройній агресії ворога. Порушення в результаті корупційної діяльності логістичних, кадрових, фінансових й решти процесів у сфері безпеки й оборони, ослаблення результативності постачання військової техніки й озброєння, надання медичної допомоги особовому складу, змоги реалізації мобілізаційних планів є наразі особливо небезпечними для України. Велика кількість чинників дозволяють зробити припущення, що бойові дії стануть довготривалими, відтак, антикорупційна діяльність повинна стати пристосованою до правового режиму воєнного стану.

Запобігання корупційним проявам на тлі військових конфліктів – соціальна проблема, що торкається інтересів усього суспільства України та зосереджується довкола відповідей на три головні питання. По-перше, щодо ефективності застосування фінансів й інструментів значного переліку суб'єктів (іноземних держав, державного й місцевих бюджетів, різних донорів) на розв'язання завдань протидії збройній агресії Росії. Ми вважаємо, поняття згаданої ефективності можливо визначити так: по-максимуму успішні військові операції щодо деокупації українських земель із паралельним якнайбільшим збереженням життя і здоров'я військовослужбовців. По-друге, це дотримання принципу об'єктивності в процесі розподілу тягаря військового обов'язку між різними суб'єктами (як регіонами й територіальними громадами, так і певними громадянами). По-третє, це збереження здобутків демократичного характеру, що є в нашій державі, створення перепон для незаконного зменшення кола прав та свобод громадян, запобігання тоталітаризації державних органів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дану проблему досліджували такі науковці як О. Булгакова, В. Козюк, К. Нестеренко, Л. Родіонова, І. Шопіна та інші. Разом з тим складність і багатоплановість питань, пов'язаних із корупційними ризиками у військових конфліктах обумовлюють потребу у нових наукових розвідках

Формулювання мети дослідження

Метою статті є розкриття типології корупційних ризиків у військових конфліктах.

Викладення основного матеріалу дослідження

В сфері державного управління України феномен корупції протягом десятиріч є, фактично, найбільшою загрозою для демократичного й економічного зростання нашої країни. Незважаючи на позитивний досвід докорінної боротьби з корупцією в низці європейських держав (приміром, Грузії, Румунії), в Україні, як не прикро, й нині є «два світи»: з одного боку – це визначене сильне антикорупційне законодавство й система органів, які здійснюють боротьбу з корупцією, а з іншого боку – колективна ментальність українців так і не спромоглася виробити в собі нульову стійкість до корупції, в державі до цього часу існують гучні корупційні скандали, незважаючи на війну, що триває.

Прийнятий у 2014 році Закон України «Про запобігання корупції» № 1700-VII визначає поняття «корупція» як «використання особою наданих їй службових повноважень чи пов'язаних з ними можливостей з метою

одержання неправомірної вигоди або прийняття такої вигоди чи прийняття обіцянки/пропозиції такої вигоди для себе чи інших осіб або відповідно обіцянка/пропозиція чи надання неправомірної вигоди особі, або на її вимогу іншим фізичним чи юридичним особам з метою схилити цю особу до протиправного використання наданих їй службових повноважень чи пов'язаних з ними можливостей» [5].

Походження корупції як соціального явища звичайно пов'язують з неможливістю держави та її органів повністю додержуватися принципу справедливості під час розподілу суспільно значущих благ та ресурсів. Якщо проаналізувати в історичному аспекті витрати держав на потреби оборони, можна перекоонатися, що вони протягом століть носили виключно суб'єктивний характер і були обумовлені волею певних осіб та великою кількістю факторів чинників. Обов'язок отримувати військо міг покладатися на різні категорії суб'єктів, як-то на власних громадян. Інший принцип полягав у покладенні обов'язку нести витрати на утримання збройних сил та їх особового складу на переможені певної армією народи. Це, у свою чергу потребувало постійних бойових дій для залучення нових ресурсів, оскільки населення воюючої держави не здатне було забезпечувати утримання війська за свій рахунок [1].

Подібна суб'єктивність та брак чітких критеріїв забезпечення фінансами потреб оборони спричинила відсутність прозорості в проведенні витрат і, таким чином, стала підставою збільшення корупційних ризиків. Як результат, дієвість функціонування збройних сил ослаблювалася через брак ресурсів, що спричинено відповідною корупційною діяльністю. Таким чином, небезпека корупції в аспекті військових відносин зрозуміла доволі давно, що стало причиною намагань вирішити названу проблему на рівні законодавства.

Початок війни 22 лютого 2022 року, а також запровадження воєнного стану в Україні визначили проблему усунення корупції як головну умову збереження стабільної системи державного управління й міжнародної допомоги та довіри. Шкода, але на корупційних виявах на всіх рівнях державного управління протягом півтора року війни до цього часу наголошують представники європейських держав і Сполучених Штатів Америки.

4 червня 2022 року набув чинності наказ НАЗК «Про вдосконалення процесу управління корупційними ризиками», відповідно до якого розроблена методологія управління корупційними ризиками. Корупційний ризик визначається як імовірність вчинення корупційного або пов'язаного з корупцією правопорушення, що негативно вплине на діяльність організації. Даний Наказ визначає і принципи управління корупційними ризиками, до яких відносяться такі як: інтегрованість, всеохопленість, адаптованість, інклюзивність, динамічність, достатність інформації, постійне вдосконалення [4].

Зазвичай корупційні ризики виникають в тих галузях життєдіяльності соціуму, що вважаються найменше контрольованими зі сторони громадськості і в котрих сконцентровані великі фінансові потоки й надходження. В контексті українсько-російської війни такими галузями є галузь публічних закупівель, мобілізаційна й гуманітарної допомоги та інші. Проаналізуємо їх більш детально.

Запровадження в Україні воєнного стану через військову агресію Росії виявилось серйозним викликом для здійснення публічних закупівель із якнайбільшою ефективністю й прозорістю. На такому складному етапі для державної сфери економіки корупційні ризики стосовно здійснення закупівель істотно зростають. Корупційний ризик зводиться до того, що з боку органів державної влади й місцевого самоврядування можливі зловживання своїм станом, коли проводяться публічні закупівлі, через відхилення від нормативних процедур належних інструментів контролю і сприяння ліквідації корупційних ризиків. До того ж доволі значні корупційні ризики мають зв'язок з реалізацією готових процедур відповідно до отриманого досвіду й без належних процедур та контролю. Зазначене може загрожувати недостатнім здійсненням перевірки ймовірних постачальників і здатне спричинити надмірне використання бюджетних засобів чи взагалі впровадження неефективних і неякісних проектів. Варто наголосити, що зі зростанням інноваційних технологій стає очевидно, що активне використання дієвих систем контролю й підтримка ліквідації корупційних ризиків, які мають зв'язок зі здійсненням публічних закупівель в обставинах воєнного стану, матиме вплив на покращення якості проведення таких закупівель і ослаблення корупційного впливу в сфері державного контролю й закупівельних процедур.

Корупційні ризики у системі оборонних закупівель можуть негативно позначитися на оснащеності військових підрозділів військовою технікою, озброєннями та іншим необхідним військовим майном. Використання дискреційних повноважень з метою зайвих витрат бюджетних коштів в умовах змови посадових осіб, вплив на прийняття рішень уповноважених осіб (членів тендерних комітетів) шляхом маніпулювання процесом їх призначення, відбору без врахування рівня фахової підготовки та добросовісності, організація їх роботи в умовах обмеженого часу та недостатнього обсягу інформації для попереднього поглибленого вивчення умов договору було визнано корупційними ризиками у Звіті за результатами оцінки корупційних ризиків у діяльності Міністерства оборони України ще у 2021 році. Введення прямих договорів у разі здійснення замовником закупівлі товару для потреб Збройних Сил, інших військових формувань, правоохоронних органів на їх запит з подальшою передачею таких товарів на облік запитувача має, на нашу думку, подвійний вплив на безпекові фактори: з одного боку, такі заходи, без умовно, підвищують безпеку військових підрозділів та процеси їх забезпечення. Але, з іншого боку, відсутність зовнішнього незалежного контролю за здійсненням оборонних закупівель сприяє посиленню дії

корупційних ризиків. Компромісним варіантом уявляється механізм звітування про незбройні оборонні закупівлі, введений 23 квітня 2023 року, який передбачає, що оборонні замовники та військові частини публікують інформацію про ціни за одиницю у своїх незбройних закупівлях. Разом з тим проблема уникнення корупційних ризиків під час здійснення оборонних закупівель залишається актуальною [6].

НАЗК виробило відповідні рекомендації щодо корупційних ризиків у публічних закупівлях під час воєнного стану. Станом на червень 2023 року за результатами дослідження до них віднесли:

1. Проведення відкритих торгів при поданні лише однієї тендерної пропозиції
2. Можливість подання тендерних пропозицій за ціною, вищою за очікувану вартість
3. Збільшення ціни закупівлі як істотної умови договору
4. Зловживання закупівлями через електронний каталог
5. Корупційні зловживання шляхом укладення прямих договорів
6. Непослідовність рішень органу оскарження (відсутність усталеної / узагальненої практики)
7. Неможливість оскарження рішень, дій чи бездіяльності замовників під час проведення процедур закупівель, зокрема спрощених
8. Проблеми з виконанням рішень органу оскарження та судів
9. Обмеження прав учасників під час розгляду скарг Антимонопольним комітетом України
10. Інші (нецінові) критерії оцінки пропозицій
11. Застосування «штучних перепон» у закупівлях для надання переваги необхідному учаснику [2].

Отже, в Україні засади правового порядку воєнного стану формують сприятливі умови для корупції, насамперед у секторі публічних закупівель. Військовим необхідні різноманітні товари й послуги, щоб здійснювати свої обов'язки, через це їхні запити здатні бути предметом корупційної діяльності зі сторони відповідальних осіб учасників процедур закупівлі. Аби оминати ці ризики, потрібно покращити ступінь прозорості й контролю процесу публічних закупівель, ввести вимоги стосовно додержання конкуренції й гарантування однакових умов для усіх, хто бере участь у процесі. Напрацювання і введення механізмів контролю за процедурами закупівель необхідно виконати як найбільш складну, проте потрібну передумову з метою гарантування прозорості й ефективності публічних закупівель в обставинах воєнного стану.

Наступними можна виокремити ризики, пов'язані із мобілізацією, які особливо помітно впливають на територіальному рівні. Приклад родичів, колег, однокласників, друзів, які стали свідками корупційних проявів під час мобілізаційних заходів, завжди переважатиме за своєю силою активність державних заходів патріотичного виховання, оскільки у таких випадках діє так званий закон прискореного поширення негативної інформації. Мобілізаційні ризики можуть сприяти ухиленню військовозобов'язаних від постановки на облік, проходження військово-лікарської комісії та мобілізації, пошуку законних і незаконних варіантів уникнення виконання військового обов'язку [6].

Досліджуючи, як на практиці на час дії воєнного стану реалізуються процеси із забезпечення гуманітарною допомогою, можна виокремити наступні корупційні ризики:

1. На етапі визначення джерела задоволення потреб у гуманітарній допомозі існує ризик задоволення посадовими особами військових адміністрацій, інших державних органів приватних інтересів у зв'язку з практикою видачі донорам, волонтерам листів для підтвердження того, що отримувачем гуманітарної допомоги є військова адміністрація або інший державний орган.

2. На етапі митного оформлення гуманітарних вантажів існують ризики: задоволення приватних інтересів посадовими особами органів Державної митної служби України; зловживання посадовими особами, до компетенції яких належить прийняття рішення про примусове відчуження або вилучення майна в умовах правового режиму воєнного стану, з метою задоволення приватних інтересів своїх або третіх осіб; ввезення на митну територію України комерційних вантажів під виглядом гуманітарної допомоги.

3. Ризики на етапі транспортування гуманітарних вантажів: ненадходження товарів гуманітарної допомоги отримувачу або кінцевому набувачеві; вимагання та отримання посадовими особами військових адміністрацій неправомірної вимоги за надання дозволу на виїзд за кордон військовозобов'язаних водіїв гуманітарних вантажів або прийняття таких рішень в умовах конфлікту інтересів; зловживання посадовими особами обласних військових адміністрацій своїми повноваженнями при видачі супровідних документів та опізнавальних знаків для транспортних засобів, які перевозять гуманітарні вантажі.

4. Ризиками в системі складської логістики: використання посадовими особами військових адміністрацій, відповідальними за роботу з гуманітарною допомогою, свого становища для забезпечення відвантаження товарів гуманітарної допомоги на приватних складах, доступ до яких мають лише пов'язані особи, без належного обліку таких товарів з метою їхньої подальшого незаконного використання; нездійснення належного обліку гуманітарної допомоги, яка надходить на склад, фіксування факту її видачі зі складу, обліку залишків гуманітарної допомоги на складі з метою задоволення приватних інтересів осіб, відповідальних за роботу складів.

5. Ризики на етапі розподілу гуманітарної допомоги: зловживання з боку осіб, відповідальних за розподіл/видачу/використання гуманітарної допомоги, з метою задоволення приватних інтересів своїх або третіх осіб [3].

Щоб звести до мінімуму корупційні ризики у процедурах одержання гуманітарної допомоги в обставинах воєнного стану, окрім регулювання на нормативному рівні й утворення державної політики, зокрема:

- забезпечення відповідності понятійного апарату;
- здійснення перегляду переліку спеціально уповноважених державних органів щодо питань надання гуманітарної допомоги, діапазон їхніх повноважень і алгоритм їх здійснення;
- перевірка підстав для надання гуманітарної допомоги й перегляд правил митного оформлення вантажів, що містять гуманітарну допомогу;
- окреслити принципи взаємодії між військовими адміністраціями й органами місцевого самоврядування;
- встановлення засад і критеріїв розподілу гуманітарної допомоги;
- окреслення вимог щодо обліку, звітності й контролювання цільового використання гуманітарної допомоги.

Висновки

Таким чином, на основі вище наведеного можна дійти висновку, що характерною ознакою корупційних ризиків у військових конфліктах вважається велика спокуса щодо здійснення корупційної діяльності на вищих рівнях як загальноукраїнського, так і регіонального рівнів системи державного управління. Корупція – один із вагомих противників України на внутрішньому рівні та є перепорою для ефективного економічного, соціального й культурного становлення держави. Також вона гальмує процеси євроінтеграції, що шкодить національній безпеці й формує перевагу для зовнішніх ворогів нашої країни. Корупція в системі військового управління здатна сприяти утворенню міжнародних ризиків. Загальновідомо, що наразі Україні допомагає багато зарубіжних країн, міжнародних і благодійних організацій, персональних іноземних донорів, й одержання ними відомостей про корупційні правопорушення здатне спричинити переорієнтацію їхньої діяльності. Проте варто погодитися, що стабільні вітчизняні демократичні процедури держав-донорів стосовно протидії корупції у військовій галузі є гарантією запобігання зловживанням у застосуванні міжнародної допомоги в Україні.

Список використаної літератури

1. Історія економіки та економічної думки : підруч. / В. В. Козюк, Л. А. Родіонова, О. В. Длугопольський [та ін.] ; за ред. В. В. Козюка, Л. А. Родіонової. Тернопіль : ТНЕУ, 2015. 792 с.
2. Корупційні ризики під час проведення публічних закупівель в умовах воєнного стану (станом на червень 2023 року). URL: <https://nazk.gov.ua/uk/novyny/koruptsiyniryzyky-v-publichnyh-zakupivlyah-pid-chas-voyennogo-stanu-rekomendatsiyi-nazk/>.
3. Нестеренко К.О., Булгакова О.В. Корупційні ризики в процедурах отримання гуманітарної допомоги в умовах воєнного стану. *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2022. № 5. С. 347–350.
4. Про вдосконалення процесу управління корупційними ризиками: Наказ Національного агентства з питань запобігання корупції від 28 грудня 2021 року № 830/21. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0219-22#Text>.
5. Про запобігання корупції: Закон України від 14 жовтня 2014 р. № 1700-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1700-18#Text>.
6. Шопіна І. Особливості запобігання корупції та підвищення доброчесності у період правового режиму воєнного стану. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2023. № 10. С. 458–461.

References

1. Istoryia ekonomiky ta ekonomichnoyi dumky: pidruch. (2015) [History of economics and economic thought] / V. V. Kozyuk, L. A. Rodionova, O. V. Dluhopol's'kyu [ta in.]; za red. V. V. Kozyuka, L. A. Rodionovoyi. Ternopil' : TNEU, 2015. 792 s. (in Ukrainian)
2. Koruptsiyni ryzyky pid chas provedennya publichnykh zakupivl' v umovakh voyennoho stanu (stanom na cherven' 2023 roku). [Corruption risks during public procurement under martial law (as of June 2023)] (2023) URL: <https://nazk.gov.ua/uk/novyny/koruptsiyniryzyky-v-publichnyh-zakupivlyah-pid-chas-voyennogo-stanu-rekomendatsiyi-nazk/>
3. Nesterenko K.O., Bulhakova O.V. (2023) Koruptsiyni ryzyky v protsedurakh otrymannya humanitarnoyi dopomohy v umovakh voyennoho stanu. [Corruption risks in procedures for receiving humanitarian aid under martial law] *Analitichno-porivnyal'ne pravoznavstvo*. 2022. № 5. S. 347–350.
4. Pro vdoskonalennya protsesu upravlinnya koruptsiynymy ryzykamy: Nakaz Natsional'noho ahentstva z pytan' zapobihannya koruptsiyi vid 28 hrudnya 2021roku № 830/21. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0219-22#Text>
5. Pro zapobihannya koruptsiyi: Zakon Ukrayiny vid 14 zhovtnya 2014 r. № 1700-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1700-18#Text>
6. Shopina I. (2023) Osoblyvosti zapobihannya koruptsiyi ta pidvyshchennya dobrochesnosti u period pravovoho rezhymu voyennoho stanu. [Peculiarities of preventing corruption and improving integrity during the legal regime of martial law] *Yurydychnyy naukovyy elektronnyy zhurnal*. 2023. № 10. S. 458–461.

О. С. СЕМІЛЕТОВ

доктор філософії, науковий співробітник наукового відділу
з проблем управління у сфері цивільного захисту
Національний університет цивільного захисту України
ORCID: 0000-0002-7903-0098

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АВТОНОМІЇ В УКРАЇНІ

В роботі розглядаються ключові аспекти енергетичної автономії що є протидією на збройну військову агресію російської федерації та запровадження енергетичної автономії на територіях територіальних громад та активної протидії, диверсифікації джерел енергії, розвитку альтернативних джерел енергії запровадженню виконань директив Європейського союзу та ратифікованих угод у сфері енергетичної безпеки та екологічної безпеки, підвищенню енергоефективності та модернізація інфраструктури. У дослідженні автори пропонують створити у відокремлених громадах та територіях які потерпають від збройної агресії російської федерації створити або модернізувати існуючу потенціал інфраструктуру для забезпечення сталого розвитку та зменшення залежності від імпортованих енергоресурсів.

У роботі зазначається важливість розвитку малої енергетики та енергоефективних технологій для підтримки енергетичної автономії на рівні окремих громад та регіонів. Автори обговорюють можливості фінансування та підтримки з боку держави, міжнародних організацій та приватного сектору для стимулювання розвитку відновлювальних джерел енергії та підвищення енергоефективності.

Крім того, в роботі розглядаються виклики та перешкоди, що впливають на процес формування енергетичної автономії в Україні, такі як політична нестабільність, бойові дії, корупція, технічні та фінансові обмеження. Автори пропонують шляхи подолання цих перешкод шляхом вдосконалення законодавства, стимулювання інновацій та розвитку громадського сектору.

У висновках роботи підводиться висновок щодо необхідності стимулювання та запровадженню системного підходу до формування енергетичної автономії в Україні та економічній ефективності територіальних громад та регіону

Ключові слова: альтернативна енергетика, відновлення держави, Публічне управління, місцеве самоврядування, децентралізація влади.

O. S. SIEMILIETOV

PhD in Public Administration,
Research Fellow of the Scientific Department
of Management in the Field of Civil Defense
National University of Civil Defence of Ukraine
ORCID: 0000-0002-7903-0098

FEATURES OF THE FORMATION OF ENERGY AUTONOMY IN UKRAINE

The work considers the key aspects of energy autonomy, which is a countermeasure to the armed military aggression of the Russian Federation and the introduction of energy autonomy in the territories of territorial communities and active countermeasures, diversification of energy sources, development of alternative energy sources, the implementation of European Union directives and ratified agreements in the field of energy security and environmental security, energy efficiency improvement and infrastructure modernization. In the study, the authors propose to create or modernize existing infrastructure potential in isolated communities and territories suffering from the armed aggression of the Russian Federation to ensure sustainable development and reduce dependence on imported energy resources.

The paper notes the importance of the development of small-scale energy and energy-efficient technologies to support energy autonomy at the level of individual communities and regions. The authors discuss the possibilities of financing and support from the state, international organizations and the private sector to stimulate the development of renewable energy sources and increase energy efficiency.

In addition, the work examines challenges and obstacles affecting the process of forming energy autonomy in Ukraine, such as political instability, hostilities, corruption, technical and financial limitations. The authors suggest ways to overcome these obstacles by improving legislation, stimulating innovation and developing the public sector.

In the conclusions of the work, a conclusion is drawn regarding the need to stimulate and introduce a systemic approach to the formation of energy autonomy in Ukraine and the economic efficiency of territorial communities and the region

Key words: alternative energy, restoration of the state, public administration, local self-government, decentralization of power.

Постанова проблеми

Початок та посилення бойових дій на території України та прифронтових територіях, критично оголили проблеми держави у забезпеченні цивільного захисту та цивільної безпеки громадян та об'єктів критичної інфраструктури у межах їх підпорядкування та організаційної та структурної діяльності, що негативно вплинуло на можливості енергетичного сектору економіки держави в достатній кількості задовольняти споживачів енергетичними ресурсами та емоційний стан громадян що в подальшому може негативно вплинути на соціальну безпеку регіону спричинити нову хвилю еміграції до інших держав в пошуках прихистку та подальшої інтеграції у суспільство іншої держави, посилити занепад регіонів та соціальну нерівність серед громадян держави. Таким чином, ця проблема потребує подальшого комплексного дослідження та розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблематику щодо впровадження альтернативних джерел енергії вивчали: Л. Антонова, Н. Ліндер, І. Манжул, Р. Тормосов, А. Трачук та інші. Вони детально вивчили теоретичні основи впровадження альтернативної енергетики. Однак, дослідження, виконані вченими, аналіз світової практики розвитку та впровадження альтернативних джерел енергії вказує на недосконалість та наявні протиріччя у господарській діяльності більшості та значних економічних витрат країн розвивати енергетичний ринок через альтернативні джерела енергії та недоліки у рівні володіння сучасними механізмами та технологіями. Ці проекти вимагають значних інвестицій та сприятливої законодавчої бази, а також підтримки держави та міжнародної співпраці.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає в визначенні особливостей та нормативно-правових актів, щодо формування та розробки енергетичної автономії у територіальних громадах шляхом визначення найбільш сприятливих умов для регіонів для створення об'єктів критичної інфраструктури в Україні та популяризацією альтернативних джерел енергії у господарську діяльність.

Викладення основного матеріалу дослідження

Українська енергосистема постійно перебуває під постійними ракетними атаками російських військових. На наш погляд мета російської федерації – повністю зруйнувати нашу енергосистему та залишити країну без світла, тепла та води. Та вимусити громадян покинути звичне місце проживання в пошуках більш безпечного місця втрата об'єктів генерації та об'єктів транзиту вплине на внутрішню та зовнішню політику держави та її економічну складову. Саме тому рф обирає цілями об'єкти критичної інфраструктури, що забезпечують промисловість що працюють на військовий сектор або є основними об'єктами промисловості у регіоні.

Як зазначає Голова Комітету Верховної Ради України з питань енергетики та житлово-комунальних послуг Андрій Герус «При такій архітектурі, коли в одній географічній точці зосереджений значний обсяг генерації або передачі, енергомережа стає легкою ціллю для ракетних атак рф». Що виявляє слабкі сторони енергетичної системи України а саме: При пошкодженні основних об'єктів енергомережі, для критичної інфраструктури (яка забезпечує теплопостачання, водопостачання і водовідведення) збільшується дефіцит електроенергії або й зовсім припиняється енергопостачання. В містах це призводить до гуманітарних катастроф (зникає централізоване опалення і вода, по декілька днів споживачі не мають світла). Тобто у державі виникає необхідність розвитку розподіленої (або децентралізованої) генерації електроенергії або мережі малих електростанцій, потужністю від кількох сотень кіловат до кількох десятків мегават в залежності від вимог енергосистеми, по всій території України.

Слід відзначити що найбільш поширеними та вже традиційними для України об'єктами розподіленої генерації виступає генерація, яку відносять до відновлюваних джерела енергії наприклад такі (сонячні, вітрові, гідро електростанції) та когенераційні установки, або станції які можуть отримувати енергію від біомаси, твердих побутових відходів та природний газу) [3]. Але слід зазначити що в Україні на жаль у недостатній кількості створені альтернативні об'єкти генерації та супутня інфраструктура

Слід відзначити такі нормативні акти що регулюють діяльність у енергетичній сфері відповідно до нормативно-правових засад господарська діяльності у енергетичній сфері регулюється (табл. 1).

Таблиця 1

Законом України «Про альтернативні джерела енергії»;	Законом України «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні»;
Законом України «Про державне регулювання у сфері комунальних послуг»;	Законом України «Про енергетичну ефективність».
Законом України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу»;	Законом України «Про житлово-комунальні послуги»;
Законом України «Про заходи, спрямовані на забезпечення сталого функціонування підприємств паливно-енергетичного комплексу»;	Законом України «Про заходи, спрямовані на погашення заборгованості, що утворилася на оптовому ринку електричної енергії»;
Законом України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу»;	Законом України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання»;

Продовження таблиці 1

Законом України «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг»;	Законом України «Про особливості доступу до інформації у сферах постачання електричної енергії, природного газу, тепlopостачання, централізованого постачання гарячої води, централізованого питного водопостачання та водовідведення»
Законом України «Про оборону України»	Законом України «Про захист економічної конкуренції»;
Законом України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення»	Законом України «Про природні монополії»
Законом України «Про ринок електричної енергії»;	Законом України «Про ринок природного газу»;
Законом України «Про тепlopостачання»	Законом України «Про трубопровідний транспорт»

Також слід зазначити інші нормативно правові акти, що регулюють відносини у сферах енергетики та комунальних послуг:

Указом Президента України: Указ Президента України від 27.08.2014 № 694/2014 «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг».

Постанови національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг: постанова НКРЕКП від 06.12.2016 № 2133 «Про затвердження Регламенту Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг»; постанова НКРЕКП від 30.06.2017 № 866 «Про затвердження Порядку проведення відкритого обговорення проєктів рішень Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг»; постанова НКРЕКП від 14.06.2018 № 428 «Про затвердження Порядку контролю за дотриманням ліцензіатами, що провадять діяльність у сферах енергетики та комунальних послуг, законодавства у відповідних сферах та ліцензійних умов»; постанова НКРЕКП від 03.03.2020 № 548 «Про затвердження Порядку ліцензування видів господарської діяльності, державне регулювання яких здійснюється Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг».

Актами Кабінету міністрів України: постанова Кабінету Міністрів України від 26.07.1999 № 1357 «Про затвердження Правил користування електричною енергією для населення»; постанова Кабінету Міністрів України від 08.02.2006 № 122 «Про затвердження Порядку визначення розміру і відшкодувань збитків, завданих енергопостачальнику внаслідок викрадення електричної енергії»; постанова Кабінету Міністрів України від 07.05.2015 № 263 «Про особливості регулювання відносин у сфері електроенергетики на території, де органи державної влади тимчасово не здійснюють або здійснюють не в повному обсязі свої повноваження»; розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.09.2004 № 648-р «Про заходи щодо реконструкції та модернізації теплоелектростанцій і теплоелектроцентралей»; постанова Кабінету Міністрів України від 23.02.2011 № 138 «Про затвердження Порядку відрахування до державного бюджету частини чистого прибутку (доходу) державними унітарними підприємствами та їх об'єднаннями»; та іншими нормативно правовими документами.

Актами Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг: постанова НКРЕ від 17.01.2013 № 32 «Про затвердження Правил приєднання електроустановок до електричних мереж»; постанова НКРЕ від 31.07.1996 № 28 «Про затвердження Правил користування електричною енергією»; постанова НКРЕ від 21.01.2006 № 47 «Про затвердження Правил приєднання когенераційних установок до електричних мереж»; постанова КРЕ від 04.05.2006 № 562 «Про затвердження Методики визначення обсягу та вартості електричної енергії, не облікованої внаслідок порушення споживачами правил користування електричною енергією»; та іншими нормативно правовими документами.

Актами міністерств та відомств: Наказом Міністерства палива та енергетики України від 21.06.2003 № 322 «Про затвердження Положення про проведення експертизи приладів обліку електричної енергії у побутових споживачів»; Наказом Міністерства палива та енергетики України від 02.06.2008 № 303 «Про затвердження Правил взаємовідносин між Державним підприємством «Національна енергетична компанія «Укренерго» та суб'єктами (об'єктами) електроенергетики в умовах паралельної роботи в складі Об'єднаної енергетичної системи України»; Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 29.09.2014 № 680 «Про затвердження Порядку підготовки системним оператором плану розвитку об'єднаної енергетичної системи України на наступні десять років та Порядку оприлюднення плану розвитку об'єднаної енергетичної системи України на наступні десять років»; Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 27.08.2018 № 448 «Про затвердження Правил про безпеку постачання електричної енергії».

Слід зазначити що найбільш ефективними та перспективними рішеннями для створення об'єктів генерації які будуть мати довго тривалий ефект у період відновлення держави або у разі замороження чи затягування військових дій у прифронтових та потерпаючих від руйнівних наслідків війни територіях України ефективним є альтернативних мобільних модульних електростанцій на базі високо-продуктивних двигунів та генераторів які відповідно до своїх особливостей мають можливість працювати на більшості видів палива (природний газ; біогаз; звалищний газ; газ стічних вод; шахтний газ; попутний нафтовий газ; доменний газ; деревний і піролізний газ; водень і суміші із вмістом водню.

Слід зазначити що на початку 2023 року у в місті Ірпінь вже був реалізований проєкт із встановлення модульної малої електростанції, що є прикладом розподіленої енергогенерації. Це перший такий проєкт в Україні на базі муніципалітету. Метою проєкту стало енергопостачання критично важливих об'єктів міста Ірпінь. «Ця установка, в порівнянні з дизельним генератором, являє собою постійне, а не резервне джерело живлення, та спроектована для роботи у безперервному режимі протягом усього строку експлуатації, – зазначив Андрій Герус, – такі готові рішення дозволяють швидко забезпечити безперебійне енергопостачання об'єктам комунального господарства під час постійних обстрілів енергетичної інфраструктури. Вдячні президенту компанії INNIO Олафу Берлієн та команді «КТС Інжиніринг» за допомогу в реалізації цього проєкту».

За словами Голови Комітету з питань енергетики та ЖКП, масштабування таких проєктів розподіленої генерації по всій Україні підвищить стійкість та гнучкість Об'єднаної енергосистеми та стане кроком до європейських стандартів роботи в енергетиці.

За для покращення інфраструктури держави та розвитку інновацій в Україні застосовують такі види підтримки:

1. Зелений тариф: Вперше поняття зелений тариф було закріплено на законодавчому рівні з 70-х років ХХ століття в США. Зараз уряд України встановлює зелені тарифи, які гарантують виробникам електроенергії з альтернативних джерел фіксовані ціни за кожен кіловат-годину виробленої електроенергії. Це може бути дуже привабливо для інвесторів, оскільки забезпечує стабільний потік доходу.

2. Гранти та конкурси: Уряд може оголошувати конкурси на надання грантів для розвитку проєктів в галузі альтернативної енергетики. Це може включати фінансування для досліджень, впровадження нових технологій та розвитку інфраструктури.

Україна використовує гранти та конкурси для сприяння розвитку зеленої енергетики, які стимулюють інновації та впровадження нових технологій у сфері виробництва електроенергії з використанням альтернативних джерел енергії.

Слід виділити такі види грантів:

Гранти для досліджень і розробок: Уряд або міжнародні організації можуть оголошувати конкурси на отримання грантів для наукових досліджень та розробок у галузі зеленої енергетики. Це може стосуватися нових технологій виробництва електроенергії з сонячної, вітрової, гідроенергетики та інших джерел.

Конкурси на інноваційні проєкти: Уряд або енергетичні компанії можуть оголошувати конкурси на кращі інноваційні проєкти в галузі зеленої енергетики. Ці конкурси можуть включати фінансування для пілотних проєктів, спрямованих на впровадження нових технологій або енергоефективних рішень.

Гранти для розвитку інфраструктури: Уряд може надавати гранти для розвитку інфраструктури, пов'язаної з виробництвом зеленої енергії, такої як будівництво сонячних, вітряних або гідроелектростанцій, розвиток електромереж та сховищ для акумулювання енергії.

Стартап-акселератори: Програми стартап-акселераторів можуть надавати фінансову підтримку, консультації та доступ до менторів для стартапів у галузі зеленої енергетики, щоб допомогти їм вирости та розвинутися.

3. Пільгове оподаткування: Уряд може надавати пільги щодо оподаткування для підприємств, які інвестують у проєкти альтернативної енергетики та когенераційні установки. Це може включати звільнення від податку на прибуток або зменшення податку на додану вартість на обладнання для виробництва альтернативної енергії.

4. Лізинг та кредитування: Уряд може сприяти фінансуванню проєктів шляхом підтримки лізингу або кредитування обладнання для альтернативної енергетики. Це може допомогти знизити початкові витрати для інвесторів.

Зазначимо що відповідно до принципів, закладених в європейському законодавстві, зокрема в п. 11 статті 14 Директиви 2012/27/ЄС, будь-яке державне стимулювання (включаючи податкові пільги та преференції) можуть отримати тільки високоефективні когенераційні установки. Тобто, прийнятий Закон враховує цей європейський підхід і створює умови для перебудови діючих когенераційних та теплогенеруючих об'єктів у високоефективні установки комбінованого циклу, що надає можливість скоротити витрати палива при виробництві енергії, зменшити викиди парникових газів та підвищити рівень енергетичної безпеки країни. Механізмом, що має стимулювати використання кваліфікованих когенераційних установок, наразі є податкова пільга у вигляді звільнення від акцизного збору (розмір 3,2%) (визначена яка визначена підпунктом 213.2.8 пункту 213.2 статті 213 Податкового кодексу України) за реалізацію електричної енергії, виробленої кваліфікованими когенераційними установками.

Після введення в дію Закону про високоефективну когенерацію та відповідних підзаконних актів ця пільга буде надаватися тільки високоефективним когенераційним установкам [5].

Також слід приділити увагу вже існуючим джерелам генерації. Слід зазначити що триває плідна робота щодо покращення властивостей об'єктів генерації їх модернізацію та перепрофілювання на нові види сировити та технічного розвитку. Як зазначають фахівці у галузі енергетики при плідній роботі із партнерами та лідерами у виробництві енергетичної промисловості будівництво власної міні-ТЕЦ може вирішити проблеми з енергоресурсами для житлових комплексів або невеликих районів, тобто виступати альтернативою і рішенням, у випадках складнощів з підключенням до розподільних мереж централізованих структур та стати підтримкою у пікові години.

Основна перевага когенераційних міні-ТЕЦ, в порівнянні з традиційними котельнями, полягає в можливості більш ефективного використання палива, що спалюється. Гаряче водопостачання та опалення покривається тепловою потужністю міні-ТЕЦ. Електроенергія, що виробляється, забезпечує власні потреби, а надлишки, в разі необхідності, можуть експортуватися в мережу за ствердженим тарифом. У міні-ТЕЦ також можна реконструювати існуючу котельню. Перевага цього формату – використання вже наявних ресурсів – землі, будівлі котельні, природного газу теплових мереж, при цьому забезпечується максимальний ККД. Міні-ТЕЦ на базі газопоршневих двигунів JENBACHER встановлюються поблизу від споживача. Споживачами можуть бути школи, лікарні, готелі, житлові будинки, бізнес-центри, спортивні комплекси та інші громадські та комерційні установи. Близьке розташування і сучасні установки допомагають виключити при роботі ТЕЦ втрати енергії в ході розподілу енергії, що часто притаманне централізованій системі енергопостачання.

Перевагами розподіленої генерації електроенергії є, зокрема, менша вразливість при масованих ракетних атаках – пошкоджену малу електростанцію оперативно можна замінити іншою. Обстрілами неможливо одночасно вивести із ладу мережу малих енергооб'єктів, так, як це можна зробити з великими електростанціями і підстанціями.

Серед інших переваг – малі електростанції мають значно більший моторесурс та кращі економічні показники роботи порівняно з генераторами. Монтаж мережі з декількох малих електростанцій порівняно з монтажем звичайних великих теплоелектростанцій не потребує значного часу, а експлуатація об'єктів розподіленої генерації може здійснюватися з використанням наявного персоналу підприємств комунальної інфраструктури [1].

Серед мінусів слід відзначити такі:

Вибір місця розташування: Пошук та вибір місця розташування може бути складним завданням, особливо з урахуванням вимог до доступності палива, ефективності генерації енергії та впливу на довкілля.

Економічна ефективність: Малі ТЕЦ можуть потребувати значних інвестицій у будівництво та обслуговування, і їх економічна ефективність може бути залежною від ціни на паливо та інших факторів.

Екологічні аспекти: Деякі типи малих ТЕЦ можуть мати негативний екологічний вплив, зокрема ті, що використовують вугілля або забруднюючі джерела паливної сировини.

Потенційні технічні проблеми: Малі ТЕЦ можуть стикатися з технічними проблемами, такими як поломки обладнання або нестабільність роботи, що може вимагати регулярного технічного обслуговування та витрат на ремонт.

Висновки

Створення та модернізація об'єктів генерації та критичної інфраструктури альтернативних джерел енергії дасть змогу створити в громадах відокремлену енергетичну та опалювальну систему яка уразі за необхідністю дозволить залучити виробничі потужності у державну енергетичну систему.

Слід відзначити позитивні чинники створення альтернативної мережі: відповідно до технічних характеристик нові види ТЕЦ мають можливість працювати на більшості видів палива адже при Створенні об'єктів генерації найбільш ефективними та перспективними рішеннями для створення об'єктів генерації є створення модульних електростанцій на базі мобільних високо-продуктивних двигунів та генераторів які відповідно до своїх особливостей мають можливість працювати на більшості видів палива (природний газ; біогаз; звалищний газ; газ стічних вод; шахтний газ; попутний нафтовий газ; доменний газ; деревний і піролізний газ; водень і суміші із вмістом водню тобто такий спосіб отримання енергії підвищити екологічну безпеку шляхом впровадження сортування та переробки відходів та продуктів переробки та економічну доцільність підприємств, створити нові робочі місця. Малі ТЕЦ можуть бути корисними інструментами для забезпечення енергетичної незалежності та сталого розвитку на місцевому рівні, але їх ефективне впровадження вимагає уважного контролю, економічної доцільності аналізу та планування.

Список використаної літератури

1. Валерій Безус. Високоєфективна когенерація: проект Закону прийнято, що далі?. *Energy Club*. URL: <https://iclub.energy/blog/valeriybezus/tpost/06df4m5jy1-visokoeffektivna-kogeneratsiya-proekt-zako> (дата звернення: 01.03.2024).
2. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
3. В Україні запущено першу малу електростанцію на базі муніципалітету. *Офіційний портал Верховної Ради України*. URL: https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/232561.html (дата звернення: 01.04.2024).
4. Держенергонагляд – Перелік нормативно-правових актів, дотримання вимог яких перевіряється під час здійснення заходів державного нагляду (контролю). *Головна | Державна інспекція енергетичного нагляду України*. URL: <https://sies.gov.ua/organizaciya-zdijsnennya-derzhavnogo-kontrolyu-naglyadu/perelik-normativno-pravovih-aktiv-dotrimannya-vimog-yakih-perevirayetsya-pid-chas-zdijsnennya-zahodiv-derzhavnogo-naglyadu-kontrolyu> (дата звернення: 15.04.2024).

5. Економічна правда. Як запустити розподілену генерацію в Україні. *Економічна правда*. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2024/04/11/712293/> (дата звернення: 15.04.2024).

6. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. *Головна | Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/licenzuvannya/normativni-akti-shcho-regulyuyut-licenzuvannya> (дата звернення: 15.04.2024).

7. Акименко О., Костюченко І. Перспективи впровадження альтернативних джерел енергії як крок до міжнародного співробітництва. *Problems and prospects of economic and management*. 2020. № 4(24). С. 43–50. URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2020-4\(24\)-43-50](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2020-4(24)-43-50) (дата звернення: 26.04.2024).

8. Dobryanska N., Lagodiienko V., Torishnya L. Prospects for the use of renewable energy sources in Ukraine. *Ukrainian journal of applied economics*. 2020. Т. 5, № 2. С. 206–213. URL: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-2-25> (дата звернення: 26.04.2024).

9. Kuzmina M. M. Legal features of the functioning of renewable energy objects. *Economic theory and law*. 2018. Т. 33, № 2. С. 136–148. URL: <https://doi.org/10.31359/2411-5584-2018-33-2-136> (дата звернення: 26.04.2024).

10. Skorokhod I., Kostiuk D. Features of development of the global market of alternative energy sources. *Herald UNU. international economic relations and world economy*. 2021. № 39. URL: <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2021-39-26> (дата звернення: 26.04.2024).

References

1. Valeriy Bezus. Highly efficient cogeneration: The draft law has been adopted, what's next? (2023). Energy Club. <https://iclub.energy/blog/valeriybezus/tpost/06df4m5jy1-visokoeffektivna-kogeneratsya-proekt-zako>

2. Renewable energy sources / In general. ed. S.O. Curls – Kyiv: Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences, 2020. – 392 p.

3. The first small power plant on the basis of a municipality was launched in Ukraine. (2023). The official portal of the Verkhovna Rada of Ukraine. https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/232561.html

4. Derzhenergonadzor – List of normative legal acts, compliance with the requirements of which is checked during the implementation of state supervision (control) measures. (2024). Home | State Inspection of Energy Supervision of Ukraine. <https://sies.gov.ua/organizaciya-zdijsnennya-derzhavnogo-kontrolyu-naglyadu/perelik-normativno-pravovih-aktiv-dotrimannya-vimog-yakih-pereviryyayetsya-pid-chas-zdijsnennya-zahodiv-derzhavnogo-naglyadu-kontrolyu>

5. Economic truth. (2024, April 11). How to start distributed generation in Ukraine. <https://www.epravda.com.ua/columns/2024/04/11/712293/>

6. The National Commission, which carries out state regulation in the spheres of energy and communal services. (2024). Home | The National Commission, which carries out state regulation in the spheres of energy and communal services. <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/licenzuvannya/normativni-akti-shcho-regulyuyut-licenzuvannya>

7. Akymenko, O., & Kostiuchenko, I. (2020). Prospects for the introduction of alternative energy sources as a step towards international cooperation. *Problems and Prospects of Economics and Management*, (4(24)), 43–50. [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2020-4\(24\)-43-50](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2020-4(24)-43-50)

8. Dobryanska, N., Lagodiienko, V., & Torishnya, L. (2020). Prospects for the use of renewable energy sources in Ukraine. *Ukrainian Journal of Applied Economics*, 5(2), 206–213. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2020-2-25>

9. Kuzmina, M. M. (2018). Legal features of the functioning of renewable energy objects. *Economic Theory and Law*, 33(2), 136–148. <https://doi.org/10.31359/2411-5584-2018-33-2-136>

10. Skorokhod, I., & Kostiuk, D. (2021). Features of development of the global market of alternative energy sources. *UNU Herald. International Economic Relations and World Economy*, (39). <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2021-39-26>

Л. Я. СЛОБОДЯН

аспірант кафедри публічного управління та адміністрування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ORCID: 0009-0005-1616-8742

ДЕРЖАВНА ПОЛІТИКА СТВОРЕННЯ БЕЗБАР'ЄРНОГО СЕРЕДОВИЩА В УКРАЇНІ: НАПРЯМКИ ТА РЕАЛІЇ

У статті досліджено політику безбар'єрності відповідно до її напрямків і сьогоденних реалій в Україні, коли проблеми воєнного стану вже є бар'єрами на шляху розбудови демократичної України. Докладно проаналізовано напрямки такої політики, визначені Національною стратегією зі створення безбар'єрного простору, що зводяться до реалізації прав людини на участь у суспільному житті, незважаючи на її відмінності – фізичні, вікові, гендерні, етнічні, релігійні тощо. Визначено, що така реалізація передбачає безперешкодний доступ до всіх сфер життєдіяльності – фізичної (інфраструктура, транспорт), інформаційної та цифрової (ознайомлення з послугами та можливостями), соціальної та економічної (рівноправне працевлаштування і трудова кар'єра), освітньої (збільшення тривалості навчання в середньому в країні). Також проаналізовано становище людей з інвалідністю як найбільш уразливої категорії населення, зокрема в освітньому напрямку, де декларовано інклюзивну освіту, що дає таким особам можливість розвитку їх інтелектуального потенціалу, гідності й самоповаги, розумових і фізичних здібностей, на повноправну участь у житті суспільства.

Зроблено висновки, що державна політика безбар'єрності з метою забезпечити й гарантувати всім громадянам України рівний доступ до публічних об'єктів надає можливість брати участь у суспільно-політичному, економічному, освітньому й культурному житті незалежно від їхнього фізичного й інтелектуального стану. Щоб цього досягти, потрібно реалізувати комплекс заходів, зокрема моніторинги, інформування громадян, контроль за виконанням (із боку держави та суспільства), імплементацію міжнародних стандартів у нормативних і правових актах держави, підвищення рівня кваліфікації фахівців за кожним із напрямків політики безбар'єрності тощо.

Ключові слова: безбар'єрність, напрямки створення безбар'єрного простору, особи з обмеженими можливостями, доступність.

L. YA. SLOBODIAN

Postgraduate Student at the Department of Public Administration
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
ORCID: 0009-0005-1616-8742

STATE POLICY OF CREATING A BARRIER-FREE ENVIRONMENT IN UKRAINE: DIRECTIONS AND REALITIES

The article examines the barrier-free policy in accordance with its directions and current realities in Ukraine, when the problems of martial law are already barriers to the development of a democratic Ukraine. The directions of such a policy, defined by the National Strategy for the Creation of a Barrier-Free Space, which boil down to the realization of human rights to participate in public life, regardless of their differences – physical, age, gender, ethnic, religious, etc. – are analyzed in detail. It was determined that this implementation provides unimpeded access to all spheres of life – physical (infrastructure, transport), information and digital (familiarization with services and opportunities), social and economic (equal employment and work career), educational (increasing the duration of education in average in the country). The situation of people with disabilities as the most vulnerable category of the population is also analyzed, in particular in the educational direction, where inclusive education is declared, which gives such persons the opportunity to develop their intellectual potential, dignity and self-respect, mental and physical abilities, for full participation in society.

The conclusions were drawn that the state policy of barrier-free access in order to ensure and guarantee equal access to public facilities for all citizens of Ukraine provides an opportunity to participate in socio-political, economic, educational and cultural life regardless of their physical and intellectual condition. In order to achieve this, it is necessary to implement a set of measures, including monitoring, informing citizens, control over implementation (by the state and society), implementation of international standards in normative and legal acts of the state, raising the level of qualifications of specialists in each of the directions of barrier-free policy, etc.

Key words: barrier-free, directions for creating a barrier-free space, persons with disabilities, accessibility.

Постановка проблеми

Навіть в умовах воєнного стану, попри проблеми безпосереднього захисту країни, загострилася глобальна проблема захисту демократичних цінностей, серед яких пріоритетне місце займають права людини. Українці

хоча й не відразу від 1991 року, але вже відчули, що таке насправді вільний вибір і як вони можуть впливати на розвиток держави. Вони вже розуміють, що особистість швидше реалізує свої здібності та інтереси, коли не має на цьому шляху певних обмежень (бар'єрів), а з іншого боку – усе суспільство лише виграє у своєму загальному розвитку, коли його члени є вільними й активними. Так, в іншому разі не було би такого спротиву від українців агресору і в бойових умовах, і в тилових, і навіть у ситуації окупації. При цьому громадяни, підтримуючи всіма засобами українське військо та найбільш вразливі категорії населення (волонтерство, перерахування власних коштів), а також і владу (бо без такої віри не було би перемоги), залишаються вільними у своїх думках і висловлюваннях, піддаючи критиці певні невдалі владні дії та контролюючи витрати народних коштів.

У такому колі проблем і здобутків відзначається потреба нівелювання бар'єрів у реалізації інтересів і прагнень людини, зокрема доступу до державних, медичних, муніципальних послуг. Ці бар'єри (обмеження) є предметними (фізичними) – наприклад, у міській інфраструктурі чи транспорті, і моральними – наприклад, ставлення до людей з обмеженими можливостями в суспільстві, де Конституція України вимагає поваги до будь-яких відмінностей окремої людини [1]. Тобто створення безбар'єрного простору є нагальним завданням держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відповідно до напрямків державної політики безбар'єрності вчені досліджують проблеми в різних сферах життєдіяльності. Так, В. Дереш вивчає процеси адаптації українських громадян до проблем, що виникли в умовах воєнного стану, коли такі незахищені категорії населення, як жінки, діти, літні люди й особи з інвалідністю, потрапляють під обстріли, швидко змінюють місце проживання, потрапляючи в нові для себе умови та соціум [2]. Інформаційний напрямок безбар'єрності досліджує М. Роганов, визначаючи можливості створення інтернет-середовища [3], а В. Цимбалюк аналізує систему захисту інформації відповідно до принципів захисту прав громадян [4]. А. Свящук з'ясовує питання гендерної рівності, відзначаючи багатоаспектну його природу, проблеми стереотипів і соціальних ролей [5], Т. Христова аналізує проблеми обслуговування людей з обмеженими можливостями в реабілітаційних установах [6], а С. Кандиба – питання їх адміністративно-правового захисту [7]. Попри таку багатоаспектність вивчення проблем безбар'єрності, відзначаємо недостатність комплексних її досліджень, що б об'єднували всі напрямки аналізованої державної політики.

Формулювання мети дослідження

Мета нашої статті – проаналізувати напрямки державної політики безбар'єрності, зважаючи на реальний стан їх виконання в Україні, зокрема в умовах воєнного стану. Для цього ми маємо вирішити відповідні завдання – визначити актуальність цієї проблеми в сучасній Україні, з'ясувати положення відповідного вітчизняного законодавства, визначити думки окремих учених у цій проблемній сфері, дослідити й уніфікувати положення Національної стратегії зі створення безбар'єрного середовища в Україні. У дослідженні використано такі методи: аналізу наукових джерел, дедукції (для узагальнення напрямків політики безбар'єрності), індукції (для розкриття кожного такого напрямку).

Викладення основного матеріалу дослідження

За положеннями Національної стратегії зі створення безбар'єрного простору в Україні до 2030 року (далі – Національна стратегія) відзначаються окремі напрямки та відповідні заходи для реалізації такої політики. Такими напрямками є фізичний, інформаційний, суспільний, економічний, цифровий та освітній, і кожен із них передбачає свій комплексний опис – тему, завдання, перспективи, рішення й можливі результати [8]. Головна ж мета всієї стратегії безбар'єрності – досягти такого стану в суспільстві, коли пріоритетною буде повага до кожної людини з її особливими потребами та інтересами.

Сам же термін «безбар'єрність» (анг. Barrier-free) у Національній стратегії трактується як усунення бар'єрів (обмежень) на шляху виконання прав людини, її доступу до будь-яких публічних послуг (трудовах, освітніх, культурних, фізичних) і власної реалізації (політичної, громадянської), більш предметно – це фізична доступність до об'єктів життєдіяльності – будівель, транспорту, природного простору [8].

Якщо проаналізувати кожен означений вище напрямок, то фізичний забезпечує реальну доступність до різноманітних публічних місць людям, зокрема з фізичними обмеженнями. Це вирішується через побудову таких об'єктів з урахуванням особливих потреб означених осіб, а тому потрібно вдосконалювати відповідне нормативне законодавство, змінювати технології та навчальні програми, імплементувати зарубіжні норми, моніторити й контролювати їх дотримання. Інформаційний напрямок спрямований на реалізацію технологій, що допоможуть уразливим категоріям населення швидше інтегруватися в соціум. Такі технології, наприклад, удосконалять доступ до публічних послуг (адміністративних, виборчих, судових, громадських). Цифровий напрямок передбачає удосконалення цифрових технологій і сервісів та доступ до них, а також набуття цифрових навичок. Це також покращить доступ до публічної інформації та інших онлайн-ресурсів. У межах суспільного (громадянського) напрямку вирішуються, зокрема, гендерні питання (більше залучення жінок), молодіжні (підтримка молодіжних громадських організацій), а також дітей і людей старшого віку.

Освітній напрямок передбачає «вільний доступ до освіти» (усіх рівнів і форм) для всіх, незважаючи на їх фізичні чи інтелектуальні особливості, зокрема й упродовж усього життя. Для цього мають удосконалюватися

й самі педагоги, які в такому разі мусять, по-перше, позитивно сприймати всі реформи й новації в цій сфері, по-друге – набувати навичок роботи з уразливими категоріями людей (зокрема психологічних, логопедичних тощо), по-третє – адаптувати навчальні заклади до потреб означених осіб. Економічний напрямок передбачає вільний доступ до ринку праці, зокрема питання працевлаштування, адаптованого робочого місця, відкриття власного бізнесу, адекватної податкової політики, пільгового кредитування молоді, жінок із малими дітьми, літніх людей та осіб з інвалідністю [8].

Якщо узагальнити цілі політики безбар'єрності, що подаються Національною стратегією за кожним із наведених напрямків, то отримуємо такі засади: рівного доступу до публічних об'єктів (наприклад, до інформації чи отримання державних послуг) – для всіх людей незалежно від їхнього соціального статусу й фізичного стану; участі в суспільно-політичному, економічному, освітньому й культурному житті (наприклад, реалізації у працевлаштуванні, започаткуванні власного бізнесу); інформування всіх людей, зокрема з обмеженими можливостями, про доступність певної сфери (наприклад, через відповідні вебсайти); контролю та відповідальності за виконання запланованих заходів (зокрема з боку держави чи громадянського суспільства); імплементації міжнародних стандартів у вітчизняні нормативні акти; пільгового фінансування (наприклад, у цифровій сфері); підвищення рівня кваліфікації відповідних фахівців, зокрема з інклюзії (наприклад, в освіті чи економіці); адаптації програм і методик (зокрема, у цифровій освіті чи отриманні е-послуг); пошани до прав людини, недискримінації (як серед громадян, так і публічних службовців); стимулювання працедавців у прийнятті на роботу осіб з обмеженими можливостями та в адаптації їх робочих місць.

Так само можна узагальнити результати, що очікуються від вирішення таких засадничих завдань:

– забезпечення громадянам незалежно від їх фізичного чи соціального рівня доступу до всіх сфер життєдіяльності; установлення рівних прав і можливостей громадян, а також недискримінації в суспільстві; удосконалення системи реабілітаційних послуг;

– забезпечення доступності та збільшення кількості публічної інформації на всіх рівнях, зокрема судової та виборчої; збільшення доступності інтернету в сільській місцевості, упровадження цифрової освіти для всіх людей, зокрема щодо отримання публічних цифрових послуг;

– збільшення початкових освітніх закладів, де враховані потреби та проблеми дітей з обмеженими можливостями, забезпечення таких закладів відповідними фахівцями, поширення університетів «третього віку» серед літніх людей;

– забезпечення робочими місцями представників вразливих суспільних категорій, зокрема осіб з інвалідністю, набуття ними навичок підприємницької діяльності, пільгова допомога при відкритті власного бізнесу; облаштування робочих місць і соціального супроводу для таких осіб.

– імплементація міжнародної нормативно-правової бази в українське законодавство, зокрема упровадження Міжнародної класифікації обмежень життєдіяльності та здоров'я [8].

Загалом ці результати засвідчать створення безбар'єрного середовища в Україні. Тобто, коли вони будуть у реальності – не для звітування, не для проформи, а для утвердження насправді демократичного суспільства, тоді наша країна може вважати себе членом європейського гуманістичного простору.

Більш предметно можна розглянути напрямки політики безбар'єрності щодо такого її об'єкта, як люди з обмеженими можливостями (зокрема з інвалідністю) – найбільш уразлива категорія населення. Для цього проаналізуємо положення Конвенції про права осіб з інвалідністю 2009 року [9]. Так, в освітньому напрямку декларовано забезпечення інклюзивної освіти на всіх рівнях і впродовж усього життя, що надає таким уразливим людям можливість включення в систему загальної освіти, дітям – у систему безоплатної початкової та середньої освіти, а загалом – на розвиток інтелектуального потенціалу, гідності й самоповаги, розумових і фізичних здібностей, на повноправну участь у житті суспільства. Для цього потрібні умови, які «сприяють засвоєнню знань і соціальному розвитку», а також заходи й засоби з особистої підтримки таких осіб (зокрема спеціальні мови) [Конвенція 2009]. При цьому й учителі – особи з інвалідністю, які володіють жестовою мовою чи абеткою Брайля, мають бути підтримані та, разом із тим, навчати й консультувати інших освітян.

Якщо виділяти в межах суспільного напрямку сферу охорони здоров'я, то в ній особам з інвалідністю приділяється особлива увага, адже вони потребують медичної допомоги «без дискримінації за ознакою інвалідності», зокрема із забезпеченням доступу до медичних послуг, з урахуванням гендерної специфіки, дитячої та людей літнього віку; з урахуванням місця проживання, поінформованістю про послуги, їх вартість та етичні стандарти охорони здоров'я; з уникненням дискримінації щодо таких осіб, а також страхування чи отримання продовольчої допомоги, зокрема в умовах війни [9].

У колі економічних питань безбар'єрності можна виділити сферу трудової зайнятості, у якій Конвенцією 2009 року декларовано рівність у праві на працю всіх людей, і тому особи з інвалідністю мають можливість отримувати вільно погоджену заробітну платню, право інклюзивної доступності, зокрема й ті з них, хто отримав інвалідність під час трудової діяльності; декларовано заборону дискримінації на всіх рівнях трудової зайнятості – від прийняття на роботу до виходу на пенсію; гарантовано здорові умови праці, рівні можливості на винагороду,

безпечні умови та задоволення скарг; доступ до фахової орієнтації, працевлаштування, фахового навчання, адаптування їх робочого місця; гарантування робочого місця при поверненні після лікування та ін. [9].

Держава забезпечує особам з інвалідністю право на участь у суспільному та політичному житті, що передбачає можливість самим голосувати й бути обраними. Для цього потрібно, щоб всі виборчі процедури, приміщення й матеріали були доступними їм для розуміння та використання; сама участь не підлягала примушенню чи залякуванню, зокрема висунення своєї кандидатури на вибори, зайняття відповідної посади й виконання відповідних публічних повноважень на всіх рівнях державної влади; вільне волевиявлення таких осіб відбувалося з умовою задоволення їхніх можливих прохань про надання певної допомоги через їхню обмеженість у діях; участь в публічному управлінні відбувалася без дискримінації та із заохоченням, зокрема в неурядових організаціях, політичних партіях; можливість створення організацій осіб з обмеженими можливостями із представленням їх на всіх рівнях – місцевому, національному, міжнародному. Також особи з обмеженими можливостями мають усі можливості для участі в культурному та спортивному житті, що передбачає доступність у доступних форматах електронних бібліотек, відеотек, а також концертних і театральних заходів із забезпеченням відповідного зручного для таких людей доступу; можливість розвивати й використовувати власний творчий потенціал у культурному житті суспільства, виявляючи свою самобутність; гарантування захисту прав інтелектуальної власності; у спортивній сфері – заохочення до участі у спортивних заходах, надання відповідної підготовки та ресурсів для цього, доступність спортивних і туристичних об'єктів, місць відпочинку на природі, допомоги надавачів відповідних послуг [9].

Тобто на прикладі категорії осіб з обмеженими можливостями можна побачити, що держава підходить до питання створення безбар'єрного середовища з повною відповідальністю, не для «галочки», розуміючи, що таке оновлене суспільство відповідає нормам демократичного світу, де інтереси та можливості людини безвідносно до її фізичного стану є пріоритетними, тобто мають бути враховані та реалізовані.

Потрібно зазначити, що в умовах воєнного стану проблеми політики безбар'єрності загострилися, адже крім фізичного руйнування українських міст і сіл агресор використовує різноманітні засоби – від зброї, зокрема й заборононої, до дезінформації та пропаганди, що спрямовуються й на цивільних осіб. У такому контексті відбуваються масові порушення прав людини, зокрема замах на її життя та здоров'я, руйнування житла та знищення приватного майна чи бізнесу. Це зумовлює відповідні не лише матеріальні, але й психологічні втрати кожної людини, тобто витрачання нею внутрішніх ресурсів для протистояння таким жорстоким викликам. Одним із таких викликів є потреба переміщення в інші регіони України, проживання в чужих житлах, що потребує залучення адаптаційних можливостей людини, зокрема й дітей чи літніх осіб.

В. Дереш наводить перелік заходів, що здійснюються державою для підтримки тимчасово переміщених осіб та їхніх дітей [2]. Так, із залученням місцевих бюджетів і бізнесу здійснюються фінансова і благодійна допомога (надання безкоштовного одягу, взуття, продуктових і гігієнічних наборів) – за Законом України від 16 січня 2020 року № 474-ІХ «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення безкоштовним харчуванням дітей внутрішньо переміщених осіб» [10]; діти влаштовуються в дошкільні та загальноосвітні заклади; їм надається безкоштовний відпочинок – за Законом України від 21 травня 2009 року № 1401-VI «Про оздоровлення та відпочинок дітей» [11]; їм гарантується можливість здобуття освіти – за постановою Кабінету Міністрів України від 23 листопада 2016 року № 975 «Про надання державної цільової підтримки деяким категоріям громадян для здобуття професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти» [12]. Окрім цього здійснюється соціальний супровід сімей внутрішньо переміщених осіб із наданням відповідних послуг, а також у регіонах діють координаційні центри підтримки населення.

Така соціально-педагогічна підтримка працює в одному комплексі із внутрішньою адаптацією самої людини, що позначає процес пристосування до нового середовища, взаємодії з чужими людьми, і це середовище в умовах воєнного стану доволі суттєво відрізняється від попереднього – більш звичного (без теми війни з її загрозами). У цьому разі на перше місце виходить психологічна адаптація. В. Дереш зазначає, що особа, яка змінила місце проживання, мусить не лише соціалізуватися в новому соціумі, прийнявши його норми, але й вплинути сама на нову ситуацію та намагатися змінити її в бажаному для неї напрямку [2].

Отже, державна політика безбар'єрності в усіх своїй запланованих напрямках має бути зорієнтована й на захист прав людини в умовах воєнної агресії, відповідних правових обмежень, викликаних оголошенням воєнним станом в Україні, а також має враховувати стійкість і адаптованість українських громадян до складних обставин життя.

Висновки

Розглянувши напрямки державної політики безбар'єрності в Україні, можемо зробити такі висновки:

– для її реалізації Національна стратегія визначила відповідні напрямки й заходи, за допомогою яких в Україні буде створено безперешкодне середовище, де кожен громадянин, незважаючи на соціальні й фізичні особливості та відмінності, зможе реалізувати свої права й інтереси у всіх сферах життя – фізичній, інформаційній, цифровій, суспільній, економічній, освітній – у прагненні бути потрібним і невідчужуваним у суспільстві;

– у результаті виконання означених напрямків має бути забезпечений доступ до фізичного простору (будинків, транспорту), інформаційного (доступ до державних послуг), цифрового (наявність інтернет-мережі та цифрових

технологій), суспільного (вирішення гендерної нерівності, проблем літніх людей), освітнього (доступ до освіти на всіх рівнях, зокрема неперервної), економічного (доступ до ринку праці – працевлаштування, бізнесу, кар'єри);

– означені напрямки найбільш конкретизуються стосовно осіб з обмеженими можливостями, яким має бути забезпечена насамперед можливість брати активну участь у суспільно-політичному, економічному, освітньому й культурному житті. Для цього держава має виконати комплекс заходів, зокрема проведення моніторингів, інформування про певні послуги, контролювання виконання запланованих заходів, підвищення рівня кваліфікації фахівців за кожним із напрямків, адаптування відповідних технологій, створення інклюзивного освітнього середовища тощо.

Отже, наведені плани та заходи, визначені політикою безбар'єрності, доводять, що держава має бажання нівелювати різноманітні обмеження на шляху її громадян до реалізації своїх прав й інтересів. Це має бути зроблено реально, а не для звітування, адже за показниками безбар'єрності суспільства оцінюють саму державу, особливо коли вона прагне бути членом Європейського співтовариства.

Список використаної літератури

1. Конституція України, прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80> (дата звернення – 19.09.2023).
2. Дереш В.С. Соціально-педагогічна підтримка учасників освітнього процесу в умовах воєнного стану. *Педагогічний альманах*. 2023. Вип. 53. С. 171–179. DOI: <https://doi.org/10.37915/pa.vi53.454> (дата звернення: 11.08.2023).
3. Роганов М.М., Роганов М.Л. Розробка моделі інтелектуального безпечного середовища засобами технології інтернет-речей (Internet Of Things). *Духовність особистості: методологія, теорія і практика*. 2021. № 1. С. 166–174. DOI: <https://doi.org/10.33216/2220-6310-2021-100-1-166-174> (дата звернення – 12.12.23).
4. Цимбалюк В. С. Правове регулювання інформаційної безпеки в Україні: проблеми теорії та практики. *Адміністративне право і процес*. 2014. № 2 (8). С. 22–30.
5. Свящук А.Л. Правовий захист ЛГБТ-спільноти : навчальний посібник. Київ, 2018. URL : https://nlu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/msc_4_cory.pdf (дата звернення – 12.11.2023).
6. Христова Т., Мовіла І. Комплексна рухова реабілітація людей з обмеженими функціональними можливостями. *Перспективи, проблеми та наявні здобутки розвитку фізичної культури і спорту в Україні* : матеріали II Всеукраїнської електронної конференції. 2019. С. 240–245. URL: <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/2948> (дата звернення – 20.11.23).
7. Кандиба С. Поняття адміністративно-правового захисту осіб з інвалідністю в Україні. *Entrepreneurship, Economy and Law*. 2020. С. 101–105. DOI: <https://doi.org/10.32849/2663-5313/2020.1.18> (дата звернення – 20.11.23).
8. Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 квітня 2021 р. № 366-р. Верховна Рада України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#top> (дата звернення – 20.09.2023).
9. Конвенція про права осіб з інвалідністю, ратифікована Законом України від 16 грудня 2009 р. № 1767-VI. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71#Text (дата звернення – 25.09.23).
10. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення безкоштовним харчуванням дітей внутрішньо переміщених осіб». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/474-20#Text> (дата звернення – 18.12.23).
11. Закон України «Про оздоровлення та відпочинок дітей». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/375-17#Text> (дата звернення – 18.12.23).
12. Про надання державної цільової підтримки деяким категоріям громадян для здобуття професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти : постанова Кабінету Міністрів України від 23 листопада 2016 року № 975. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/975-2016-%D0%BF#Text> (дата звернення – 18.12.23).

References

1. Konstytutsiya Ukrayiny [Constitution of Ukraine]. Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 1996. № 30. St. 141. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/constitution> (accessed 17.01.2024).
2. Deresh V.S. (2023). Sotsial'no-pedahohichna pidtrymka uchasykiv osvith'oho protsesu v umovakh voyennoho stanu [Social and pedagogical support of participants in the educational process under martial law]. *Pedahohichnyy al'manakh* [Pedagogical almanac]. # 53. S. 171–179. DOI: <https://doi.org/10.37915/pa.vi53.454> (accessed 11.08.2023).
3. Rohanov M.M., Rohanov M.L. (2021). Rozrobka modeli intelektual'noho bezpechnoho seredovyscha zasobamy tekhnolohiyi internet-rechey (Internet Of Things) [Development of a model of an intelligent secure environment using Internet of Things technology]. *Dukhovnist' osobystosti: metodolohiya, teoriya i praktyka* [Personal spirituality: methodology, theory and practice]. # 1. S. 166–174. DOI: <https://doi.org/10.33216/2220-6310-2021-100-1-166-174> (accessed 12.12.23).

4. Tsymbalyuk V. S. (2014). Pravove rehulyuvannya informatsiyanoi bezpeky v Ukraini: problemy teorii ta praktyky [Legal regulation of information security in Ukraine: problems of theory and practice]. *Administratyvne pravo i protses* [Administrative law and process]. # 2 (8). S. 22–30 [in Ukrainian].

5. Svyashchuk A.L. (2018). Pravovy zakhyst LHBТ-spil'noty : navchal'nyy posibnyk [Legal protection of the LGBT community: a study guide]. Kyiv. URL: https://nlu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/msc_4_copy.pdf (accessed 12.11.2023).

6. Khrystova T., Movila I. (2019). Kompleksna rukhova rehabilitatsiya lyudey z obmezhenyimi funktsional'nymi mozhlyvostyami [Complex motor rehabilitation of people with limited functional capabilities]. *Perspektyvy, problemy ta nayavni zdotuky rozvytku fizychnoyi kul'tury i sportu v Ukraini: materialy II Vseukrayins'koyi elektronnoyi konferentsiyi* [Prospects, problems and existing achievements of the development of physical culture and sports in Ukraine: materials of the II All-Ukrainian electronic conference]. S. 240–245. URL: <http://eprints.mdpu.org.ua/id/eprint/2948> (accessed 20.11.23).

7. Kandyba S. (2020). Ponyattya administratyvno-pravovoho zakhystu osib z invalidnistyu v Ukraini [Concept of administrative and legal protection of persons with disabilities in Ukraine]. *Entrepreneurship, Economy and Law* [Entrepreneurship, Economy and Law]. S. 101–105. DOI: <https://doi.org/10.32849/2663-5313/2020.1.18> (accessed 20.11.23).

8. Pro skhvalennya Natsional'noyi stratehii iz stvorennya bezbar'yernoho prostoru v Ukraini na period do 2030 roku. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14 kvitnya 2021 r. № 366-r [On the approval of the National Strategy for the creation of a barrier-free space in Ukraine for the period up to 2030. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 14, 2021 No. 366]. *Verkhovna Rada Ukrainy*. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#top> (accessed 20.09.2023).

9. Konventsiya pro prava osib z invalidnistyu, ratyfikovana Zakonom Ukrainy vid 16 hrudnya 2009 r. № 1767-VI [The Convention on the Rights of Persons with Disabilities, ratified by the Law of Ukraine dated December 16, 2009 No. 1767-VI]. *Verkhovna Rada Ukrainy*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_g71#Text (accessed 25.09.23).

10. Zakon Ukrainy «Pro vnesennya zmin do deyakykh zakoniv Ukrainy shchodo zabezpechennya bezkoshtovnym kharchuvanniam ditey vnutrishn'o peremishchenykh osib» [The Law of Ukraine "On Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding Provision of Free Food for Children of Internally Displaced Persons"]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/474-20#Text> (accessed 18.12.23).

11. Zakon Ukrainy «Pro ozdorovlennya ta vidpochynok ditey» [Law of Ukraine «On Children's Health and Recreation»]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/375-17#Text> (accessed 18.12.23).

12. Pro nadannya derzhavnoyi tsil'ovoyi pidtrymky deyakym katehoriyam hromadyan dlya zdotuttya profesiynoyi (profesiyno-tekhnichnoyi), fakhovoyi peredvyshchoyi ta vyshchoyi osvity : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23 lystopada 2016 roku № 975 [On the provision of targeted state support to certain categories of citizens for obtaining professional (vocational and technical), professional pre-higher and higher education: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November 23, 2016 No. 975]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/975-2016-%D0%BF#Text> ((accessed 18.12.23).

В. Д. ФІЛІПОВА

доктор наук з державного управління, професор
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-8476-3341

СУЧАСНІ ОРІЄНТИРИ ІМІДЖЕВОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

Стаття присвячена дослідженню питання іміджевої політики держави. З'ясовано, що імідж держави є сукупністю раціональних та інтуїтивних ідей, яким бракує суттєвого розуміння. Встановлено, що такі ідеї в основному базуються на образах, наративах, метафорах чи символах, які представляють лише частину держави або її функціонування. При цьому масова свідомість здатна зафіксувати ці масштабні публічні прояви репутації держави, які можуть проявлятися через різні інституційні утворення. Визначено, що на міжнародній арені імідж України залежить від багатьох факторів, зокрема від: рівня демократії; геополітичного положення; реформ та механізму боротьби з корупцією; гуманітарної допомоги та миротворчої операції. Визначено, що на сьогодні суперечки навколо іміджу України є не лише політичними, а й пов'язані з безпекою країни, економічним розвитком та демократичною еволюцією. Тільки системне залучення широкого кола різноманітних акторів до формування та корегування іміджевої політики, може забезпечити формування позитивного образу України (та його корегування) в очах світової спільноти та населення країни, що в свою чергу сприятиме внутрішньо-державній консолідації сил, легітимації влади та активізації взаємодії держави з інститутами громадянського суспільства. На рівні зовнішньої політики необхідно активізувати співпрацю з іншими країнами та недержавними акторами світової політики, сприяти укріпленню позиції держави в міжнародних рейтингах, залученню інвестицій та політичних партнерів, і відповідно, стійкому розвитку суспільства. Сьогодні, коли Україна перебуває у воєнному стані, створити імідж держави складніше, оскільки це потребує більш узгоджених дій уряду щодо формування та реалізації іміджевої політики України та стратегічного плану, здатного підвищити імідж нашої країни в світовому співтоваристві. Враховуючи ці багатогранні фактори та розробляючи політику, яка відповідає національним цінностям і прагненням, український уряд має працювати над створенням позитивного та автентичного іміджу України для міжнародної спільноти, зміцнюючи таким чином свій авторитет на міжнародній арені.

Ключові слова: механізм держави, державне управління, іміджева політика держави, міжнародний імідж країни.

V. D. FILIPPOVA

Doctor of Public Administration, Professor
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-8476-3341

CURRENT GUIDELINES OF THE IMAGE POLICY OF UKRAINE

The article is devoted to the study of the issue of image policy of the state. It is found out that the image of the state is a set of rational and intuitive ideas lacking essential understanding. It has been found that such ideas are mainly based on images, narratives, metaphors or symbols that represent only a part of the state or its functioning. At the same time, mass consciousness is able to capture these large-scale public manifestations of the state's reputation, which can manifest themselves through different institutional formations. It is established that in the international arena Ukraine's image depends on many factors, in particular: the level of democracy; geopolitical position; reforms and anti-corruption mechanism; humanitarian aid and peacekeeping operation. It is determined that today the controversy surrounding Ukraine's image is not only political, but also related to the country's security, economic development and democratic evolution. Only the systematic involvement of a wide range of different actors in the formation and adjustment of image policy can ensure the formation of a positive image of Ukraine (and its adjustment) in the eyes of the international community and the country's population, which in turn will contribute to the domestic consolidation of forces, legitimisation of power and intensification of interaction between the state and civil society institutions. At the level of foreign policy, it is necessary to intensify co-operation with other countries and non-state actors of world politics, to promote strengthening of the state's position in international rankings, attraction of investments and political partners and, accordingly, sustainable development of society. Today, when Ukraine is in a state of war, it is more difficult to create an image of the state, as it requires more concerted actions of the government to form and implement the image policy of Ukraine and a strategic plan capable of improving the image of our country in the world community. Taking into account these multifaceted factors and developing a policy that meets national values and aspirations, the Ukrainian government should work to create a positive and authentic image of Ukraine for the international community, thus strengthening its credibility in the international arena.

Key words: state mechanism, public administration, state image policy, international image of the country.

Постановка проблеми

Створення позитивної репутації країни має вирішальне значення для будь-якої держави, яка бажає брати участь у міжнародних процесах. У політичній сфері позитивна репутація досягається за рахунок активного прагнення інших народів до об'єднання з певною країною або групою країн, ведення переговорів, створення спільних міжнародних платформ, укладання взаємовигідних угод тощо. До того ж в умовах глобалізації навколо сучасної держави виникає специфічне проблемне поле, яке формує новий порядок денний і потребує якісно інших методів вирішення актуальних завдань. Зважаючи на останні події, Україні для проведення зовнішньої і внутрішньої політики необхідне розроблення адекватної іміджевої політики держави, наявність стратегій, що дозволять забезпечувати лояльність світової спільноти та підтримку громадян усередині країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Різноманітні аргументовані точки зору в сфері питань іміджу України розкрили в своїх наукових працях О. Григор'єва, Т. Нагорняк, М. Терещук, Н. Кінаш, В. Лісовський В., І. Цурканова, Т. Зазуляк, А. Руднева, Ю. Мальована, О. Корх, В. Кравченко, А. Личова, Г. Піскорська, Г. Поспехова, К. Савон, А. Старостіна, О. Чумак, Н. Яковенко, О. Ялова та інші провідні вчені. Однак, не зважаючи на вагомий науковий доробок, проблема формування політичного іміджу нашої держави потребує додаткового наукового осмислення.

Формування мети дослідження

Виходячи зі сказаного вище, метою нашого дослідження виступає теоретичний аналіз сучасних орієнтирів та можливостей іміджевої політики України на сучасному етапі.

Викладення основного матеріалу дослідження

Слід зазначити, імідж є одним із важливіших інструментів політики, який дозволяє зафіксувати конкурентні переваги держави на міжнародній арені, презентувати її стратегічні пріоритети, підтримати модернізаційну, реформаторську та економічну діяльність уряду, створити сприятливий інвестиційний клімат в країні та вирішити конкретні зовнішньополітичні завдання [1, с. 43]. Стратегія будь-якої сучасної держави має включати формування іміджевої складової державного управління та країни загалом. Отже, імідж держави сприймається як складна система, основу якої складає організація державних структур та його взаємовідносин, і навіть суттєві принципи політичної діяльності. Загальними ознаками іміджу держави виступають: соціальна мета політичного іміджу; його зміст; конкретні пільги, права та повноваження, пов'язані з іміджем держави; характером зв'язків з іншими інститутами, в тому числі політичними, економічними, соціальними, військовими тощо. Тут як міру успіху країни можна навести ефективність створеного іміджу: те, як характеристики іміджу впливають на політичний клімат країни, соціальну, економічну, культурну складові суспільного життя і, звісно, міжнародні відносини з іншими країнами.

Узагальнення досліджуваного питання дозволяє стверджувати, що імідж держави є сукупністю раціональних та інтуїтивних ідей, яким бракує суттєвого розуміння. Ці ідеї в основному базуються на образах, наративах, метафорах чи символах, які представляють лише частину держави або її функціонування. Масова свідомість здатна зафіксувати ці масштабні публічні прояви репутації держави як: імідж політики (захист національних інтересів держави, зображення держави ЗМІ, ступінь визнання держави як легітимного представника); обороноздатність та комунікаційну стратегію Збройних Сил, державну інформаційну політику та національну безпеку; імідж політичного режиму (розвиток демократії та забезпечення прав громадян, правовий захист населення території, прозорість виборчих процесів, легітимність політичних інститутів); візуальне зображення економічного розвитку, показників фінансової стабільності (включаючи стабільність національної валюти), візуальне враження від інвестиційного клімату та візуальне враження про потенціал (з точки зору комфорту, можливостей розвитку, екологічного стану, престижності освіти, діапазону роботи та потенціалу зростання); візуальне зображення інвестиційного клімату держави, соціокультурний портрет держави та особистості, а також самотність (автентичність і сучасність, місцеві традиції, що відрізняють місцевість від інших місць) [2, с. 78]. Відповідно, існують складові іміджу держави, які є пріоритетними для зовнішнього та внутрішнього просування. До перших відносимо природні ресурси, лідерство, міжнародне визнання та участь у міжурядових організаціях, публічна історія та експортні бренди; до другого: менталітет, цінності та ідеї, успішність реформ, соціальний захист населення, суспільна історія.

Ми погоджуємося, що сприйняття держави суспільством формується за допомогою відповідних інструментів стратегічної комунікації та векторів внутрішньої політики (явних і прихованих), при цьому, особистий рівень репутації держави формується через колективну свідомість. Метою сприяння позитивної суспільної репутації держави є, як правило, створення іміджу держави та бажаного попиту на неї в конкретних регіонах країни для конкретних цільових груп і в межах конкретного ринку глобальної економіки. Тобто Україну можуть розглядати люди різних професій, наукові інституції чи культурні організації з різних країн з різними акцентами, але їй одночасно мають вважати надійним партнером і перспективним ринком для співпраці.

На сьогодні, основною інституцією, яка бере участь у процесі формування іміджу України, є Міністерство закордонних справ країни (МЗС). Очевидно, що це передусім впливає з функцій і обов'язків, традиційно пов'язаних із зовнішньополітичним відомством держави. Як наслідок, у чинному Регламенті МЗС України серед

першочергових завдань визначено «сприяння входженню країни у світовий інформаційний простір, підвищення її міжнародного авторитету, створення позитивної репутації держави як надійного та передбачуваного партнера» [3].

З метою підвищення іміджу країни, уряд України за останні кілька років ініціював низку реформ. Метою цих реформ є вдосконалення внутрішньої та міжнародної політики країни, правової системи, сприяння економічному розвитку держави. Однак, оскільки політична спільнота України була ідеологічно розділена щодо стратегії реформ та зовнішньополітичного напрямку країни, міжнародна спільнота не змогла визнати справжній потенціал країни з точки зору національного розвитку [4, с. 501]. На нашу думку, сьогодні при формуванні іміджу Україна використовує динамічний підхід, пов'язаний з виникненням суспільно-політичних змін (зовнішніх і внутрішніх). До того ж, для досягнення нових цілей міжнародного іміджу держави доводиться часто переглядати та модифікувати їх, особливо що стосується воєнних, економічних, соціальних, політичних, технологічних, інформаційних та демографічних аспектів. Процедура підвищення позитивного іміджу держави має бути підкріплена ініціативами різного масштабу та ступеня спрямованості, а також репутацією держави. Репутація держави є одним із активів, пов'язаних з її іміджем: це складова, яка є водночас є динамічною та її важко змінити, свого роду це оцінка держави, яка ґрунтується на довготривалих зв'язках із певними групами інтересів, їхньому власному досвіді, надійній інформації або фактичній точності [5, с. 79]. Тобто репутація держави – це сукупність переваг, гарантій і можливостей, які дозволяють певним групам людей досягати своїх цілей у межах держави. Однак при цьому слід визнати, що в стратегічних документах України немає спільного інтересу у використанні промоційних інструментів для підвищення позитивної репутації держави. Зокрема, у Стратегії національної безпеки України відсутні інструменти для захисту та просування національних інтересів держави через стратегічну комунікацію чи публічну дипломатію, які вважаються першочерговими [6].

Разом з тим, імідж України на міжнародній арені залежить від багатьох факторів, які визначаються через наступні складові:

1) демократія та реформи. Україна, як незалежна держава, активно працює над зміцненням демократичних інститутів та проведенням економічних та політичних реформ. Це може сприйматися як позитивний елемент у міжнародних відносинах та впливати на імідж країни;

2) геополітичне положення. Передусім, Україна розташована поряд з ЄС, що надає їй важливе стратегічне значення в контексті міжнародних відносин та геополітичних процесів;

3) реформи та боротьба з корупцією. Протягом багатьох років наша країна здійснює значні кроки у впровадженні реформ та боротьбі з корупцією, проте це може виявитися довготривалим процесом;

4) гуманітарна допомога та миротворчі операції. До війни Україна брала участь у гуманітарних місіях та миротворчих операціях під егідою ООН та інших міжнародних організацій. Це також може сприяти позитивному сприйняттю країни та впливати на її імідж як миролюбної нації [7, с. 90].

Існує думка, що іміджева політика сучасної України в цих умовах вимагає, наскільки це можливо, щоб керівництво держави забезпечувало її ефективність в найкоротші терміни, виконуючи певні функції і завдання. Головним завданням, яке Україна має вирішити на шляху до професійного формування іміджу держави на міжнародній арені, є створення державного механізму вироблення та реалізації іміджевої політики, а також державної системи контролю за виконанням завдань щодо підвищення рівня ефективності останньої. Необхідною умовою створення такого державного механізму є, перш за все, підвищення рівня зацікавленості органів державної влади в проблемі, що має бути реалізовано шляхом розробки та прийняття відповідної нормативно-правової бази, через належний рівень фінансування промисловості та створення державного механізму швидкого реагування на проблеми ситуаційної картини [8, с. 66]. До того ж, ми вважаємо, що сьогодні суперечки навколо іміджу України є не лише політичними, а й пов'язані з безпекою країни, економічним розвитком та демократичною еволюцією. Міжнародний авторитет країни базується на бажанні іноземних інвесторів брати участь у ній, виході українських товарів, технологій і послуг на світовий ринок, а також на загальному враженні про країну та її громадян. На практику зовнішньополітичних та економічних відносин з міжнародним співтовариством, як і на ефективне забезпечення внутрішньополітичних процесів в Україні, негативно впливає повномасштабне воєнне вторгнення, яке здійснила РФ, обмеженість законодавства, корупція, нерівномірний розподіл власності, гонитва за владою, відокремлення влади від населення та декларативність демократичних принципів.

На сьогодні зображення воєнних подій в Україні в міжнародних засобах масової інформації має вирішальне значення для формування глобального сприйняття країни та формування її іміджу. Міжнародні засоби масової інформації виступають у ролі посередників, ретельно відбираючи та фільтруючи інформацію перед її поданням аудиторії, тим самим впливаючи на те, як сприймаються такі події, як війна в Україні. Більше того, думки та аналіз експертів з конфлікту в Україні мають значну вагу у формуванні громадської думки та міжнародного іміджу країни. Способи висвітлення таких подій можуть суттєво відрізнятися залежно від точок зору та термінології, що використовуються різними засобами масової інформації, що ще більше впливає на те, як події, що відбуваються в Україні розуміються та інтерпретуються у глобальному масштабі. Очевидно, що різноманітні інструменти формування іміджу, висвітлення у засобах масової інформації та коментарі експертів, відіграють ключову роль у формуванні міжнародного іміджу України в умовах конфлікту.

Водночас учені наголошують, що проблеми, з якими стикається Україна при вирішенні цих питань, є досить серйозними та масштабними. Зазначимо, насамперед, відсутність концептуальної основи, зокрема у вигляді офіційних документів, що визначають зміст іміджевого образу України. З іншого боку, процеси демократизації призвели до руйнації зовнішньополітичного пропагандистського апарату. У державній інформаційній політиці Української держави проблема іміджу країни на міжнародній арені виявилася витісненою на периферію [8, с. 83]. До того ж слід погодитись з думкою науковців, що «в умовах невизначеності нормативні механізми формування публічного іміджу держави стають недієздатними через свою негнучкість і формальність. Під умовами невизначеності саме для України у зазначеному контексті, я маю на увазі такі об'єктивні чинники впливу, як пандемія, зміна векторів світової економіки та російсько-українська війна, так і суб'єктивні – відсутність єдності серед українців відносно свого майбутнього, розгубленість малого і середнього бізнесу, інституційна неспроможність держави та втрата почуття правової та соціально-економічної захищеності населенням країни» [5, с. 82].

Ми підтримуємо тезу, що підвищення авторитету країни серед міжнародної спільноти та власного населення, її презентація зовнішньому світу має починатися зі створення портрета України та розробки його критеріїв, зокрема: впевненість у собі як поштовх для реалізації внутрішньої політики та визначення зовнішньої, інформаційної стратегії та стратегії національної політики; толерантність і співробітництво як аспект міжнародного становища України; створена демократія, справжні права та привілеї для людини та громадянина; політична стабільність, безпека, відкритість і послідовність; економічна самостійність і життєздатність; історична, культурна, природна, традиційна та історична унікальність; рівень інвестиційної привабливості [9, с. 323].

Також важливо відзначити безпрецедентну колективну згоду демократичних держав світу щодо агресії їхнього східного контрагента: прикладом цього є надання військової, гуманітарної, фінансової, інформаційної, культурної та духовної допомоги як індикаторів формування спільноти нового співтовариства інформаційних людей. Прикладом цього є надання військової, гуманітарної, фінансової, інформаційної, культурної та духовної допомоги як показників нової спільноти людей, що базуються на володінні масивом інформації. Основою цієї допомоги є створений образ України як демократичної, вільної та відкритої держави. Зокрема, мова йде не просто про суперечку між двома країнами, а про суперечку щодо цінностей демократії, свободи та інформації на протигагу деспотизму, авторитаризму, тиранії, прагненню тотального контролю, придушенню прав людини та імідж міжнародного права на відміну від насильницького втручання та грубого порушення національної території.

Виходячи з вищесказаного, сьогодні актуальним є використання різноманітних інструментів формування іміджу країни. Тільки системне широке залучення широкого кола різноманітних акторів до формування та корегування іміджевої політики, може забезпечити формування позитивного образу держави (та його корегування) в очах світової спільноти та населення країни, що в свою чергу сприятиме внутрішньодержавній консолідації сил, легітимації влади та активізації взаємодії держави з інститутами громадянського суспільства. На рівні зовнішньої політики необхідно активізувати співпрацю з іншими країнами та недержавними акторами світової політики, сприяти укріпленню позиції держави в міжнародних рейтингах, залученню інвестицій та політичних партнерів, і відповідно, стійкому розвитку суспільства. Крім того, такі чинники, як мова, національний характер, сприйняття громадянами інформації, ритм і зовнішньополітична орієнтація відіграють ключову роль у формуванні стратегій, спрямованих на покращення міжнародного іміджу країни. Враховуючи ці багатогранні фактори та розробляючи політику, яка відповідає національним цінностям і прагненням, український уряд має працювати над створенням позитивного та автентичного іміджу України для міжнародної спільноти, зміцнюючи таким чином свій авторитет на міжнародній арені.

Висновки

Отже, іміджева політика держави є сферою діяльності, яка потребує системного підходу, вираженого та ціле-спрямованого вирішення. Його дієвість і ефективність в першу чергу впливають із загального використання визначеного набору інструментів, ресурсів і методів. При цьому варто пам'ятати, що помилки у формування іміджевої політики держави швидко можуть трансформуватись у значні негативні наслідки для національної безпеки, відтак, органи державного управління повинні приймати зважені рішення аби якісно і дієво впливати на формування позитивного іміджу України у світі. Однак треба розуміти, що формування позитивної репутації держави, створення відповідного клімату для інвестицій та вирішення довгострокових та стратегічних питань зовнішньої політики є першорядною метою стратегічних комунікацій. Звичайно сьогодні, коли Україна перебуває у воєнному стані, створити імідж держави складніше, оскільки це потребує більш узгоджених дій уряду щодо формування та реалізації іміджевої політики України та стратегічного плану, здатного підвищити імідж нашої країни в світовому співтоваристві. Досягнення та реалізація всіх намічених іміджевих цілей має здійснюється з використанням стратегічно спланованого набору інструментів.

Майбутні дослідження питання формування іміджевої політики можуть бути спрямовані на розробку практичних пропозицій щодо розпізнавання та використання означених методів, а також на вивчення міжнародного досвіду та поширених практик формування позитивної репутації держави.

Список використаної літератури

1. Григор'єва О. О. Інструменти конструювання іміджу держави. *Вісник студентського наукового товариства Донецького національного університету імені Василя Стуса*. Том 1 / Ред. кол. Хаджинов І. В. (голова) та ін. Вінниця: ДонНУ імені Василя Стуса, 2020. Вип. 12. Т. 1. С. 43–47.
2. Нагорняк Т. Л. Публічний імідж України в умовах невизначеності. *Політичне життя. Political Life*, 2022. №1. С. 77–87. DOI 10.31558/2519-2949.2022.1.9
3. Терещук М. І. Роль брендингових технологій у зовнішньополітичній діяльності. *Стратегічні аспекти розвитку суб'єктів господарювання в умовах посилення глобалізації*. (2015). URL: https://library.krok.edu.ua/media/library/category/materialikonferentsij/2015-10-21_materiali-%D1%81onference-krok.pdf#page=581
4. Кінаш Н. Б., Качковський О. В. Сучасний імідж України: міжнародний аспект. *Юридичний науковий електронний журнал*. № 7/2023. С. 500–503. DOI <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2023-7/114>
5. Лісовський В. М. Зовнішньополітичний імідж України та її лідера як чинник забезпечення національної безпеки країни. *Регіональні студії*. 2022. №. 28. С. 79–83. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-6170/2022.28.14>
6. Стратегія національної безпеки України: Указ Президента України від 14 вересня 2020 року № 392/2020. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/3922020-35037>
7. Цурканова І. Імідж України в умовах війни та міжнародна політична підтримка. *Науково-теоретичний альманах Грані*. 2023. Т. 26. №. 3. С. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.15421/172353>
8. Зазуляк Т. І. Роль іміджевої політики в процесі формування позитивного іміджу органів публічної влади. *Становлення та розвиток місцевого самоврядування в Україні*: Збірник тез XI Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Хмельницький, 7 грудня 2022 року). Хмельницький: Хмельницький університет управління та права імені Леоніда Юзькова, 2022. С. 65–68.
9. Руднева А., Мальована Ю. Імідж України в умовах сучасних інформаційних процесів: цифрової трансформації та становлення електронного урядування. *Вісник Львівського університету*. 2022. С. 320–327. DOI: <https://doi.org/10.30970/PPS.2022.42.42>

References

1. Hryhor'yeva O. O. Instrumenty konstruyuvannya imidzhu derzhavy [Tools for constructing the image of the state]. *Visnyk student-s'koho naukovoho tovarystva Donets'koho natsional'noho universytetu imeni Vasylya Stusa*. Tom 1 / Red. kol. Khadzhynov I. V. (holova) ta in. Vinnytsya: DonNU imeni Vasylya Stusa, 2020. Vyp. 12. T. 1. p. 43–47. [in Ukrainian].
2. Nahornyak T. L. Publichnyy imidzh Ukrayiny v umovakh nevyznachenosti [Public Image of Ukraine in Conditions of Uncertainty]. *Politychne zhyttya. Political Life*, 2022. № 1. p. 77–87. DOI 10.31558/2519-2949.2022.1.9 [in Ukrainian].
3. Tereshchuk M. I. Rol' brendynhovyykh tekhnolohiy u zovnishn'opolitychniy diyal'nosti [The role of branding technologies in foreign policy activity]. *Stratehichni aspekty rozvytku sub'yektiv hospodaryuvannya v umovakh posylennya hlobalizatsiyi*. (2015). URL: https://library.krok.edu.ua/media/library/category/materialikonferentsij/2015-10-21_materiali-%D1%81onference-krok.pdf#page=581 [in Ukrainian].
4. Kinash N. B., Kachkovs'kyu O. V. Suchasnyy imidzh Ukrayiny: mizhnarodnyy aspekt [Modern image of Ukraine: international aspect]. *Yurydychnyy naukovyy elektronnyy zhurnal*. № 7/2023. p. 500–503. DOI <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2023-7/114> [in Ukrainian].
5. Lisovs'kyu V. M. Zovnishn'opolitychnyy imidzh Ukrayiny ta yiy lidera yak chynnyk zabezpechennya natsional'noyi bezpeky krayiny [The foreign political image of Ukraine and its leader as a factor in ensuring the country's national security]. *Rehional'ni studiyi*. 2022. №. 28. p. 79–83. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-6170/2022.28.14> [in Ukrainian].
6. Stratehiya natsional'noyi bezpeky Ukrayiny [National Security Strategy of Ukraine]: Ukaz Prezydenta Ukrayiny vid 14 veresnya 2020 roku № 392/2020. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/3922020-35037> [in Ukrainian].
7. Tsurkanova I. Imidzh Ukrayiny v umovakh viyny ta mizhnarodna politychna pidtrymka [The image of Ukraine in the conditions of war and international political support]. *Naukovo-teoretychnyy al'manakh Hrani*. 2023. T. 26. №. 3. p. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.15421/172353> [in Ukrainian].
8. Zazulyak T. I. Rol' imidzhevoyi polityky v protsesi formuvannya pozytyvnoho imidzhu orhaniv publichnoyi vlady [The role of image policy in the process of forming a positive image of public authorities]. *Stanovlennya ta rozvytok mistsevoho samovryaduvannya v Ukraini*: Zbirnyk tez KHI Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (m. Khmel'nyts'kyu, 7 hrudnya 2022 roku). Khmel'nyts'kyu: Khmel'nyts'kyu universytet upravlinnya ta prava imeni Leonida Yuz'kova, 2022. p. 65–68. [in Ukrainian].
9. Rudnyeva A., Mal'ovana YU. Imidzh Ukrayiny v umovakh suchasnykh informatsiynykh protsesiv: tsyfrovoyi transformatsiyi ta stanovlennya elektronnoho uryaduvannya [The image of Ukraine in the conditions of modern information processes: digital transformation and the formation of electronic governance]. *Visnyk L'vivs'koho universytetu*. 2022. p. 320–327. DOI: <https://doi.org/10.30970/PPS.2022.42.42> [in Ukrainian].

СФЕРА ОБСЛУГОВУВАННЯ

УДК 338.41

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.50>**Л. В. ЧОРНА**

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри туризмознавства і краєзнавства
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
ORCID: 0000-0002-8959-3003

Л. В. КОВАЛЬСЬКА

кандидат географічних наук,
доцент кафедри туризмознавства і краєзнавства
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
ORCID: 0000-0001-7582-8249

Л. В. ПОЛЬОВА

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри готельно-ресторанної та курортної справи
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
ORCID: 0000-0003-2971-5993

**РОЗВИТОК ФРАНЧАЙЗИНГУ В ТУРИЗМІ В ПОСТКОВІДНИЙ ПЕРІОД:
СВІТОВА ТА ВІТЧИЗНЯНА ПРАКТИКА**

У статті проаналізовано світову та вітчизняну практики розвитку франчайзингових мереж у туризмі у зв'язку з процесами відновлення обсягів туристичної діяльності в постковідний період. Вказано на вплив пандемії Ковід-19 на стан туристичної діяльності в глобальному вимірі шляхом порівняння показників доковідного періоду з даними 2020 року. Розкрито процес відновлення економічної діяльності на основі кількості міжнародних прибуттів, надходжень від міжнародного туризму, числа зайнятих і внеску туризму в глобальний ВВП у постковідний період. Вказано на прогнози щодо темпів зростання світових обсягів діяльності та збільшення частки сфери подорожей і туризму у ВВП на наступне десятиліття.

Узагальнено підходи науковців до обґрунтування змісту категорії «франчайзинг», висвітлено його переваги як бізнес-моделі та засобу вирішення соціальних проблем.

Проаналізовано стан розвитку глобального ринку франчайзингу в туризмі на основі практики його лідерів у різних частинах світу. Обґрунтовано провідні позиції США через чисельність франчайзингових структур, галузеве представлення та масштаби експансії на ринки гостинності та туризму інших країн. Вказано на лідерів за обсягами франчайзингової мережі на туристичному ринку Північної Америки. Досліджено темпи поширення даного виду підприємництва в країнах Європейського Союзу з акцентом на його частці в різних сферах, включаючи туризм, і отриманих доходах. Обсяги франчайзингу в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні розкрито на прикладі ряду туристичних компаній.

Розкрито динаміку розвитку франчайзингу в Україні та вказано на сфери їх найбільшого представлення, зміни в географії франчайзингових об'єктів під впливом війни та тенденції експансії за кордон. Увагу зосереджено на українських підприємствах і їх практиці масштабування бізнесу. Досліджено підходи до розвитку мережі двох українських туристичних операторів з акцентом на їх експансію на міжнародний ринок, пропозицію франчайзингових пакетів і спектру включених послуг.

Ключові слова: франчайзинг, туризм, франчайзер, франчайзі, франшиза, франчайзингові пакети.

L. V. CHORNA

Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor at the Department of Tourism and Regional Studies
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
ORCID: 0000-0002-8959-3003

L. V. KOVALSKA

Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor at the Department of Tourism and Regional Studies
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
ORCID: 0000-0001-7582-8249

L. V. POLYOVA

Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor at the Department of Hotel-Restaurant and Resort Business
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
ORCID: 0000-0003-2971-5993

TOURISM FRANCHISING DEVELOPMENT IN THE POST-COVID PERIOD: GLOBAL AND DOMESTIC PRACTICE

The article analyzes the global and domestic practice of franchising networks development in tourism in connection with the processes of restoring the volumes of tourist activity in the post-covid period. The impact of the Covid-19 pandemic on the state of tourism activity in the global dimension is indicated by comparing the indicators of the pre-pandemic period with the data of 2020. The process of restoring economic activity is revealed based on the study of the number of international arrivals, income from international tourism, the number of people employed and tourism contribution to global GDP in the post-Covid period. Forecasts regarding the growth rate of global activity volumes and an increase in the share of travel and tourism in the GDP for the next decade are indicated.

Scientists' approaches to the "franchising" category content justification are summarized, its advantages as a business model and a means of solving social problems are highlighted.

The state of the global franchising market development in tourism is analyzed by studying the practice of its leaders in different parts of the world.

The leading position of the USA is substantiated due to the number of franchise structures, industry representation and the scale of expansion into the hospitality and tourism markets of other countries. The leaders in terms of franchise network volumes in the North American tourism market are indicated. The spread rates of this type of entrepreneurship in the countries of the European Union have been studied, with an emphasis on its share in various areas, including tourism, and the income received. The volume of franchising in the Asia-Pacific region is revealed on the example of a number of travel companies.

The dynamics of franchising development in Ukraine is revealed and the areas of their greatest representation, changes in the geography of franchise objects under the influence of the war and trends of expansion abroad are indicated. Attention is focused on Ukrainian enterprises and their business scaling practices. Approaches to the development of the network of two Ukrainian tourism operators with an emphasis on their expansion into the international market, the offer of franchise packages and the range of included services have been studied.

Key words: *franchising, tourism, franchisor, franchisee, franchise, franchise packages.*

Постановка проблеми

Туризм як галузь світової економіки динамічно розвивається. Запити споживачів туристичних продуктів щоразу змінюються. Туристи знаходяться у постійному пошуку новизни, унікальності та екологічності. А це зумовлює формування нових туристичних трендів, орієнтованих на відкриття нових напрямків, посилення позиції в сегменті внутрішнього туризму, утвердження принципів сталого розвитку та екологізацію туристичних послуг. Зміни на туристичному ринку впливають на підходи до організації бізнесу та актуалізують процес франчайзингу як форми ділового партнерства в туризмі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За будь-яких умов розвитку суспільства пошук шляхів для розширення площини для господарювання та здійснення підприємницької діяльності не втрачає актуальності. Розвиток підприємництва виступає вагомим інструментом формування конкурентних переваг як економіки країни в цілому, так і окремих її галузей. З огляду на це франчайзинг як форма організації бізнесу в туризмі викликає значний інтерес у вітчизняних і зарубіжних наукових колах.

Обґрунтування категоріального апарату франчайзингу в туризмі, з'ясування його особливостей як моделі для формування мереж виступило предметом дослідження Костинець В. В. (2018).

Крупський О. П., Стукало Н. В., Краснікова Н. А., Фалько Є. О. (2017) розкрили підходи зарубіжних франчайзерів до розширення бізнесу у сфері гостинності та вказали на економічну ефективність бізнес-моделі у процесі експансії. Тема експансії туроператорів на український туристичний ринок актуалізувалася в дослідженні Редько В. Є., Семич Ю. В. (2020). Автори акцентували увагу на відмінностях впровадження механізму франчайзингу туроператорами на європейському та українському ринках.

Проблема перспективності франчайзингу як каталізатора розвитку ринку туристичних послуг вивчалася Тихоненко Ю. М., Івашиною Л. Л. (2020). Дослідниками було проаналізовано пропозиції франшиз на туристичному ринку України та обґрунтовано доцільність об'єднання у такого виду мережі.

Визначення обов'язкових атрибутів франчайзингу як форми ділового партнерства й інструменту розвитку малого бізнесу в туризмі та питання організації контролю за франчайзинговими відносинами стали предметом дослідження Бардаш С. В. (2021). Чепурда Л. М., Дубіновський Д. В. (2023) розширили положення щодо змісту франчайзингових відносин. Автори вказали на переваги та недоліки франчайзингових угод і шляхи підвищення франчайзингової активності в країні.

Поза увагою дослідників не залишається проблема ринку франчайзингу в індустрії гостинності. Гончар Л., Батченко Л., Поплавська А., Комарницький І., Крупа І. та Беляк А. (2022) у контексті вивчення даного питання розкрили аспекти прибутковості підприємств, що працюють за такою формою організації бізнесу, та їх внесок у розв'язання проблеми зайнятості.

Завдяки напрацюванням науковців було сформовано теоретичні основи франчайзингу, розкрито генезу розвитку в глобальних масштабах, визначено економічні ефекти практики даної бізнес-моделі. Проте, проблеми економічних відносин, динаміки та тенденцій розвитку підприємництва у туризмі в умовах мінливості середовища залишаються актуальними питаннями та потребують наукових розвідок.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз світової та вітчизняної практики розвитку франчайзингових мереж у туризмі у зв'язку з процесами відновлення обсягів туристичної діяльності в постковідний період.

Викладення основного матеріалу дослідження

Перманентність змін як економічного, політичного, так і соціального характеру зумовлює пошук нових підходів до розвитку бізнесу загалом і в сфері туризму зокрема. Пандемія Covid-19 у черговий раз загострила питання взаємозалежності між суспільними процесами і станом підприємницької діяльності. В умовах карантинних обмежень туристичний бізнес зазнав вагомих втрат. Рівень скорочень за всіма напрямками діяльності був масштабним. Якщо до пандемії протягом 2014–2019 років у світовій індустрії туризму було зайнято 333 млн осіб, що становило 10,3% усіх робочих місць, то під загрозою їх скорочення в 2020 р. опинилося 62 млн, більшість з яких на малих і середніх підприємствах [1]. Як результат, число зайнятих в індустрії туризму зменшилося до 271 млн осіб. Загальний внесок туризму в глобальний ВВП скоротився з 9,6 трлн доларів США в доковідний рік до \$4,7 трлн у 2020 р., що на 50,4% менше. Якщо в 2019 р. кількість міжнародних прибуттів складала біля 1,5 млрд осіб, то роком пізніше вона скоротилася до 398 млн [2], спричинивши значний спад доходу в сегменті міжнародного туризму з \$1,7 трлн до \$651 млрд у 2020 р.

Попри руйнівні масштаби завданих пандемією збитків туристична індустрія протягом останніх трьох років поспіль демонструє поступове відновлення, її роль і значення посилюється у зв'язку зі зростанням показників економічної діяльності, деякі з яких представлено в таблиці 1 на основі узагальнення даних Всесвітньої ради з подорожей і туризму (ВРПТ). Внесок індустрії подорожей і туризму у світовий ВВП збільшився на \$1 трлн, досягши \$5,8 трлн у 2021 р. Темпи зростання були на рівні 21,7%. Частка сектору в економіці загалом зросла з 5,3% у 2020 році до 6,1% у 2021 році [1]. Зростання обсягів спостерігається за різними показниками за період 2020–2022 рр., включаючи кількість як зайнятих у туризмі, так і міжнародних прибуттів і витрат туристів. Витрати міжнародних відвідувачів зросли на 81,9% у 2022 р. у порівнянні з попереднім роком, а внутрішніх – на 20,4% [3].

ВТО вказує на позитивну динаміку відновлення індустрії в 2023 р., оскільки темпи розвитку міжнародного туризму досягли 88% обсягів доковідного року. За попередніми оцінками діяльності в 2023 р. встановлено, що кількість міжнародних прибуттів складала 1,3 млрд; надходження від міжнародного туризму досягли \$1,4 трлн; загальний експортний дохід від туризму, включаючи пасажирські перевезення, оцінюється в \$1,6 трлн; економічний внесок, виміряний у прямому ВВП туризму, обраховується \$3,3 трлн, що відповідає 3% світового ВВП [4].

Таблиця 1

Динаміка відновлення світової індустрії туризму в постковідний період

Показники	2020	2021	2022
кількість зайнятих (млн осіб)	271	289 (+ 18,2 млн)	301 (+ 22 млн)
кількість міжнародних прибуттів (млн осіб)	398	415	900
внесок туризму в глобальний ВВП (трлн \$)	4,7	5,8	7,7
частка туризму у ВВП (%)	5,3%	6,1%	7,6%

Не дивлячись на вагомий поступ на шляху відновлення, індустрія туризму все ще не досягла тих масштабів діяльності, які демонструвала в 2019 р. Значні очікування покладено на 2024 р.

Надзвичайно перспективними у контексті проблеми розвитку підприємництва в індустрії є прогнози ВРПТ щодо темпів зростання на період 2022–2032 рр., особливо щодо частки сфери подорожей і туризму у ВВП, яка збільшуватиметься в середньому на 5,8% щорічно, випереджаючи при цьому обсяги зростання загальної економіки, які прогнозуються на рівні 2,7% на рік [1]. Очікується створення приблизно 126 млн нових робочих місць у цій сфері протягом наступного десятиліття.

За таких умов актуалізується питання посилення практики франчайзингу в сфері туризму, що забезпечує підтримку, чіткі та послідовні правила ведення бізнесу та мінімізує ризики у випадку непередбачуваних обставин.

Франчайзинг у туризмі розглядається як «проста та ефективна організація бізнесу» [5, с. 28], «особлива форма організації бізнесу» [6, с. 60], «система ділових взаємовідносин» [7, с. 50] і як «довгострокові договірні відносини» [8, с. 146]. Його зміст пов'язаний з наданням права на ведення діяльності власником одного підприємства іншому. Головне підприємство, що виступає як франчайзер, надає право використовувати власну торгову марку, технології, інші складові інтелектуальної власності іншому підприємцю, яким є франчайзі. Організація бізнесу за даною формою передбачає виконання умов угоди, що укладається між учасниками франчайзингових відносин. Перевагою франчайзингу в туризмі є те, що він «істотно знижує матеріальні витрати його учасників, суттєво розширює ринок збуту товарів, робіт та послуг, мінімізує ризики для франчайзі» [9, с. 18], забезпечує «зменшення операційних ризиків, а також збільшення тривалості життєвого циклу компанії» [6, с. 60].

На тлі загального відновлення показників туристичної діяльності формуються прогнози щодо розвитку світового ринку туристичних франчайзингових послуг, згідно яких передбачається його зростання значними темпами. У 2023 р. найбільшу частку ринку займали туристичні франшизи двох типів: ті, що пов'язані з плануванням подорожі, та ті, що пов'язані з діяльністю туристичних агентств [10]. Лідери на ринку туристичних франчайзингових послуг представлені наступними регіонами:

- Північна Америка. Тут за кількістю франшиз домінують Сполучені Штати, Канада та Мексика;

- Європа. До країн з найбільшою кількістю таких підприємств належить Німеччина, Великобританія, Франція, Італія та Туреччина;

- Азіатсько-Тихоокеанський регіон. Франчайзинг інтенсивно розвивається в Китаї, Японії, Кореї, Індії, Австралії, Індонезії, Таїланді, Філіппінах, Малайзії та В'єтнамі;

- Південна Америка. Найбільша кількість таких підприємств нараховується в Бразилії, Аргентині та Колумбії;

- Близький Схід і Африка. Тут за кількістю франшиз домінують Саудівська Аравія, ОАЕ, Єгипет і Нігерія.

Ринок франчайзингу інтенсивно розвивається в США, де зосереджено 70 зі 100 найкращих франшиз світу. Кожного року франчайзингова діяльність розпочинає 300 компаній. Франчайзингом охоплено майже 300 різних галузей у США. Три американські компанії McDonald's, KFC, Pizza Hut складають більшу частину ринку. Найбільшою франшизою у світі є McDonald's, 93% ресторанів якого функціонували на основі франчайзингового договору станом на 2019 р. У 2022 р. на ринку країни функціонувало 790 492 франчайзингових підприємств, які забезпечили майже 8,4 млн прямих робочих місць, \$825,4 млрд доходу для економіки США та біля 3% ВВП [11]. Кількість франчайзингових підприємств у країні зросла на 2% у порівнянні з 2021 р. завдяки, головним чином, збільшенню споживчих витрат, сприятливій фінансовій ситуації та позитивній динаміці розвитку ринку праці.

Практика франчайзингу американських компаній стала предметом аналізу науковців. Л. Гончар, Л. Батченко, А. Поплавська, І. Комарницький, І. Крупа та А. Беляк вказують, що світовий ринок франшиз у сфері гостинності формується переважно компаніями США, які є абсолютними лідерами на європейському ринку [12, с. 613]. Їх думку поділяють дослідники Сплитського університету (Республіка Хорватія), стверджуючи, що з-поміж усіх найвідоміших готельних франчайзингових компаній світу переважають американські компанії, за винятком однієї австралійської та кількох європейських. Чотирьом великим мережам належить 47% усіх франчайзингових готелів, серед яких франчайзингова мережа Accor, що налічує 256 готелів на 35 073 номери; Marriott International – 208 готелів на 33395 номерів; Hilton – 172 готелів на 26 466 номерів; InterContinental Hotels Group – 147 готелів на 24 483 номери [13, с. 177].

Значний досвід роботи за франчайзингом демонструють туристичні підприємства. Американська компанія «World Travel Holdings» реалізує франшизи як туристичного агентства «Dream Vacations», так і «CruiseOne». Частка на ринку США є вагомою. На її франшизи круїзних і туристичних агентств припадає приблизно 5,7% загального доходу галузі [14]. Американське туристичне агентство «Cruise Planners» посідає третє місце у рейтингу двохсот найкращих франшиз. Діяльність агентства високо оцінюється. Серед його відзнак є Нагорода за франчайзингові інновації від Міжнародної асоціації франчайзингу. Хоч франчайзингова пропозиція даного агентства вирізняється ціною поміркованістю, проте вона забезпечує власникам франшиз доступ до інноваційних технологій і маркетингу, практичного тренінгу, професійного коучингу та розвитку.

Expedia Cruises туристична агенція, заснована в 1987 р. у Канаді, є лідером з круїзного відпочинку. Її франчайзингова мережа є добре масштабованою та нараховує понад 260 роздрібних точок [15]. Досягненню таких

масштабів, великою мірою, сприяло налагодження партнерства Expedia®Inc та CruiseShipCenters, що забезпечило не тільки кількісні обсяги мережі, але й зростання обсягів продажів у середньому на рівні 20%.

The Travel Franchise є лідером на туристичному ринку Великобританії. У 2023 р. підприємство отримало нагороду «Екофраншиза року» за внесок у збереження навколишнього середовища. Його франчайзингова пропозиція складається з трьох різних пакетів. Пакет «Лайт» є базовим і включає такі складові, які є необхідними для того, щоб розпочати бізнес. Пакет «Еліт», на додаток до базових послуг, охоплює ще додаткове навчання, наставництво та доступ до маркетингових ресурсів. Пакет «Підприємець» націлений на тих суб'єктів, котрі прагнуть якнайшвидше розширити масштаби своєї туристичної агенції.

Значний поступ на шляху до відновлення обсягів туристичної діяльності демонструє Європейський Союз. У 2022 р. кількість ночей, проведених туристами в готелях ЄС, дорівнює 2,8 млрд, з яких 1,6 млрд припадає на внутрішніх туристів, а 1,2 млрд – на міжнародних [16].

В Європейському Союзі більшість постачальників послуг у туристичних дестинаціях представлені малим бізнесом. Мікро- та малі підприємства створюють близько 64% доданої вартості сектору туризму та забезпечують зайнятість для 84% його працівників. Частка мікро- та малих компаній є особливо високою у сфері гостинності, де власники працюють або самостійно, або за франшизою великих компаній.

Німецька асоціація франчайзингу констатує щорічне зростання як кількості підприємств, так і їх доходів. В 2023 р. їх кількість дорівнювала 147 300 підприємствам, загальний дохід обраховувався 147,6 млрд євро, а число працівників складало 831 443 осіб, 48% з яких були зайняті в секторі послуг, 19% – у сфері громадського харчування, туризму та відпочинку, 19% – у секторі роздрібною торгівлі, 14% – у сфері ремесл, будівництва та реструктуризації [17]. Німеччина розглядається міжнародним бізнесом як найперспективніший напрям для експансії франчайзингу.

Певний рівень зрілості демонструє польський франчайзинговий ринок. У 2019 р. згідно Forbes Республіка Польща була названа як одна з найпривабливіших країн для франчайзингу в силу того, що тут зростає кількість міжнародних франшиз, з одної сторони, а з іншої, що польські експортні бренди успішно функціонують за кордоном. Франчайзинг виступає вагомим інструментом для розвитку малого підприємництва. На початку 2023 р. у країні діяло понад 1300 франчайзингових моделей із приблизно 87 000 франчайзингових точок [18]. Франчайзингові підприємства забезпечують роботою близько півмільйона населення країни.

Франчайзинг інтенсивно розвивається в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні. Helloworld Travel – це провідна австралійська туристична компанія з найбільшою в Австралії мережею з 2000 незалежних франчайзингових турагентів. Ще одне австралійське туристичне агентство, Flight Centre Travel Group, засноване в 1982 р., сьогодні представлено понад 30 брендами. Його світова мережа поширюється на 90 країн [28].

Ринок франчайзингу в Україні демонструє позитивну динаміку [20]. Кількість підприємств, націлених на масштабування бізнесу, постійно збільшується. Дані рисунка 1 доводять зростання як підприємств, що пропонують договір франчайзингу, так і тих, хто розвиває бізнес на його основі. На ринку франчайзингу домінують українські підприємства, їх відсоток від загального обсягу франчайзингових об'єктів поступово збільшується з 74% у 2017 р. до 80% у 2020 р. У 2021 р. дану модель підприємництва пропонувало 592 франчайзера та функціонувало на її основі 23597 франчайзі.

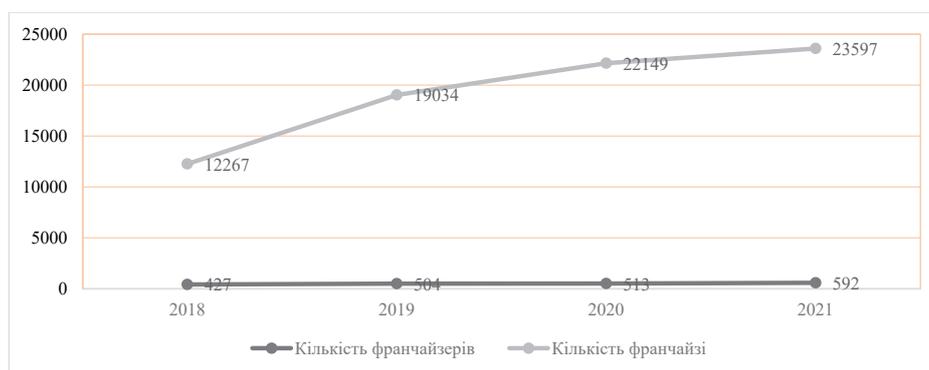


Рис. 1. Динаміка розвитку ринку франчайзингу в Україні за даними [20]

Франчайзингові об'єкти традиційно створюються в сфері харчування, послуг і роздрібною торгівлі. Найбільша їх кількість відкривається в сфері послуг, на другому – громадське харчування, а на третьому – роздрібною торгівля. За період 2020–2021 рр. їх частка в сфері громадського харчування залишалася незмінною, проте на 6% зменшилася в роздрібній торгівлі та на 1% у сфері споживчих послуг.

Війна визначальним чином вплинула на географію франчайзингових об'єктів. Серед регіонів для масштабування бізнесу домінують західні області. На них припадає 40% усіх франчайзингових структур. Кількість таких підприємств у регіонах, де не ведуться бойові дії, складає 23% [20].

Новим трендом у розвитку вітчизняного франчайзингу є вихід на ринки інших країн. Найпривабливішими з огляду на розширення бізнесу українських підприємств виступають Польська Республіка, Німеччина, Чехія, Казахстан.

На туристичному ринку України представлені як зарубіжні, так і вітчизняні туроператори, які широко практикують модель франчайзингу. Підходи двох українських туристичних операторів до організації франчайзингу розкрито в таблиці 2. Український туроператор міжнародного рівня «Travel Professional Group» демонструє сталу динаміку розширення бізнесу. В 2014 р. оператор відкрив більше 50 франчайзингових офісів, у 2015 р. – 10 офісів, у 2017 р. – 25 [21]. На початок 2020 р. їх кількість складала 110 офісів [22, с. 104], а на даний час, за даними сайту компанії, дорівнює 155 одиницям. Експансія міжнародного ринку TPG виявилася успішною. Представництва туроператора спершу були відкриті в Казахстані, Греції, Польщі, Таїланді та на Кіпрі, а в 2017 р. його присутність на міжнародній арені була посилена у зв'язку з виходом на ринки Туреччини та Грузії.

TPG пропонує франчайзі пакет «Базовий», вступний внесок за яким формується в залежності від кількості населення міста, в якому відкривається франчайзинговий об'єкт та коливається в межах 2 000 – 15 000 грн. Визначальною відмінністю пропозиції TPG є відсутність роялті. Франчайзер забезпечує можливість використання своєї торгової марки, участі в різних програмах, спеціальних акціях, семінарах, конференціях і ворк-шопах, отримання пільгових умов на рекламно-інформаційні тури, рекламну підтримку та представлення агентств на сайтах tpg.ua, travellist.ua, підключення до кол-центру.

Таблиця 2

Підходи українських туристичних операторів до організації франчайзингу

Показники	Join UP!	TPG
рік виходу на ринок	1997	1994
кількість офісів	127	155
представництва на ринках зарубіжжя	Латвія, Литва, Естонія, Молдова	Азербайджан, Греція, Грузія, Казахстан, Польща, Таїланд, Кіпр, Туреччина
пакети франчайзингу	Джуніор, Віннер	Базовий, Ексклюзив
паушальний внесок	40 000 грн	2 000 – 15 000 грн
роялті	\$ 35-125	відсутній
максимальна комісія від вартості проданих турів	12%	12%

Франчайзингова мережа Join UP! представлена 121 франчайзинговою структурою із загальної її кількості 127 об'єктів [23]. Туроператором розроблено декілька пакетів пропозиції, стартовим серед яких є пакет «Джуніор», що передбачає готову бізнес модель з паушальним внеском від 40 тис грн і фіксованою сумою щомісячного роялті. Франчайзер забезпечує цілодобову кураторську підтримку, підключення до CRM, бухгалтерські, юридичні та рекрутингові послуги, різнопланові програми розвитку для менеджерів і керівників, участь у масштабних рекламних кампаніях і рекламних турах.

Висновки

Аналіз світової та вітчизняної практики розвитку франчайзингових мереж засвідчив стійкі тенденції масштабування бізнесу за даною моделлю. Для низки розвинених країн франчайзинг виступає не тільки засобом охоплення значної частки національного ринку, але й інструментом інтеграції у світове господарство. Процес експансії на ринки зарубіжжя є характерним для представників різних галузей, проте найбільшого поширення він набув у сфері послуг.

У зв'язку з процесами відновлення обсягів туристичної діяльності в постковідний період зростає чисельність суб'єктів господарської діяльності, що функціонують на основі договірних відносин, за якими право на ведення діяльності надається власником одного підприємства іншому на визначених умовах. На ринку франчайзингу України розвиток мереж здійснюється саме засобами франшизи, що домінує в кількісному відношенні над відкриттям підприємствами власних структур. Українські туристичні оператори сформували свою пропозицію франчайзингової форми підприємництва, на основі якої розбудовують мережу як у межах країни, так і за кордоном.

Список використаної літератури

1. Travel & Tourism Economic Impact. Global trends. (дата звернення 01.04. 2024).
2. Impact assessment of the COVID-19 outbreak on international tourism. URL: <https://www.unwto.org/impact-assessment-of-the-covid-19-outbreak-on-international-tourism> (дата звернення 01.04. 2024).
3. World Travel & Tourism Council. Economic Impact Research. URL: <https://wtcc.org/research/economic-impact> (дата звернення 01.04. 2024).

4. International Tourism to Reach Pre-Pandemic Levels in 2024. (дата звернення 01.04. 2024).
5. Чепурда Л. М., Дубіновський Д. В. Інноваційні підходи до розвитку франчайзингових мереж туристичної галузі. *Інновації та технології в сфері послуг і харчування*. 2023. № 1 (7). С. 27–31.
6. Мішура В. Б., Буйлова К. О., Запрудська О. Ю. Франчайзинг як особлива форма організації бізнесу в Україні. *Економічний вісник Донбасу*. 2019. № 2(56). С. 60–65.
7. Тихоненко Ю. М., Івашина Л. Л. Франчайзинг як сучасний каталізатор розвитку ринку туристичних послуг. *Інновації та технології в сфері послуг і харчування*. 2020. № 1. С. 48–56.
8. Гринько Т. В., Крупський О. П. Франчайзинг як інструмент формування організаційної культури туристичних підприємств. *Актуальні проблеми економіки*. 2015. № 1. С. 145–154.
9. Бардаш С. В. Контроль франчайзингових відносин у туристичному бізнесі. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Серія: Економічні науки. 2021. Випуск 41. С. 17–21.
10. Global travel franchise market growth (Status and outlook) 2022-2028. URL: <https://www.360researchreports.com/global-travel-franchise-market-21405878> (дата звернення 01.04. 2024).
11. 2023 Franchising economic outlook. URL: <https://www.franchise.org/sites/2023-03/2023-Franchising-Economic-Report.pdf> (дата звернення 01.04. 2024).
12. Honchar L., Batchenko L., Poplavska A, Komarnitskyi I., Krupa I. and Beliak A. Franchise Market as a Driver of Hospitality Development. *Economic Affairs*. 2022. Vol. 67. No. 4. Pp. 611–618.
13. Katja Rakusic, Senka Borovac Zekan, Karmen Pivcevic Vranjes. Franchising as a strategy of entering foreign markets in the hotel industry. *Social science development journal*. 2022. Vol 7. Issue 29. Pp: 171–183.
14. World Travel Holdings. URL: <https://worldtravelholdings.com/> (дата звернення 01.04. 2024).
15. Expedia Cruises. URL: <https://expediafranchise.com/about-us/> (дата звернення 01.04. 2024).
16. EU sees increase of tourist bed places in 2022. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20231031-1> (дата звернення 01.04. 2024).
17. Franchising in Germany. URL: <https://en.franchiseverband.com> (дата звернення 01.04. 2024).
18. Poland: Franchising Comparative Guide. URL: <https://www.mondaq.com/corporatecommercial-law/1096802/franchising-comparative-guide> (дата звернення 01.04. 2024).
19. Flight Centre Travel Group. URL: <https://www.fctgl.com/> (дата звернення 01.04. 2024).
20. Аналітика ринку франчайзингу 2021-2022 років. (дата звернення 01.04. 2024).
21. Franchising.ua URL: <https://franchising.ua/stattya/2183/veliki-peremogi-travel-professional-group/> (дата звернення 01.04. 2024).
22. Редько В. Є., Семич Ю. В. Особливості франчайзингової експансії на український туристичний ринок. *European Journal of Management Issues*. 2020. 28(3). С. 101–109.
23. Join UP! Франчайзинг. URL: <https://franchise.joinup.travel/> (дата звернення 01.04. 2024).

References

1. Travel & Tourism Economic Impact. Global trends. URL: <https://wttc.org/Portals/0/Documents/Reports/2022/EIR2022-Global%20Trends.pdf> (дата звернення 01.04. 2024).
2. Impact assessment of the COVID-19 outbreak on international tourism. URL: <https://www.unwto.org/impact-assessment-of-the-covid-19-outbreak-on-international-tourism> (дата звернення 01.04. 2024).
3. World Travel & Tourism Council. Economic Impact Research. URL: <https://wttc.org/research/economic-impact> (дата звернення 01.04. 2024).
4. International Tourism to Reach Pre-Pandemic Levels in 2024. URL: <https://www.unwto.org/news/international-tourism-to-reach-pre-pandemic-levels-in-2024> (дата звернення 01.04. 2024).
5. Chepurda L. M., Dubinovskiy D. V. (2023) Innovatsiini pidkhody do rozvytku franchaizynhovykh merezh turystychnoi haluzi [Innovative approaches to the development of franchise networks in the tourism industry]. *Innovatsii ta tekhnolohii v sferi posluh i kharchuvannia*. № 1 (7). Pp. 27–31. [in Ukrainian]. DOI: [https://doi.org/10.32782/2708-4949.1\(7\).2023.5](https://doi.org/10.32782/2708-4949.1(7).2023.5)
6. Mishura V. B., Builova K. O., Zaprudska O. Yu. (2019) Franchaizynh yak osoblyva forma orhanizatsii biznesu v Ukraini. [Franchising as a special form of business organization in Ukraine]. *Ekonomichniy visnyk Donbasu*. № 2(56). Pp. 60–65. [in Ukrainian]. DOI: [https://doi.org/10.12958/1817-3772-2019-2\(56\)-60-65](https://doi.org/10.12958/1817-3772-2019-2(56)-60-65)
7. Tykhonenko Yu. M., Ivashyna L. L. (2020) Franchaizynh yak suchasnyi katalazator rozvytku rynku turystychnykh posluh. [Franchising as a modern catalizer of tourist services market development]. *Innovatsii ta tekhnolohii v sferi posluh i kharchuvannia*. № 1. Pp. 48–56. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.24025/2708-4949.1.2020.206455>
8. Hryenko T. V., Krupskiy O. P. (2015) Franchaizynh yak instrument formuvannia orhanizatsiinoi kultury turystychnykh pidpriemstv. [Franchising as a tool for organizational culture formation in tourism]. *Aktualni problemy ekonomiky*. № 1. Pp. 145–154. [in Ukrainian].

9. Bardash S. V. Kontrol franchaizynhovykh vidnosyn u turystychnomu biznesi. (2021) [Control of franchising in the tourism business]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu*. Seria: Ekonomichni nauky. Vypusk 41. S. 17–21. [in Ukrainian]. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2021-41-3
10. Global travel franchise market growth (Status and outlook) 2022-2028. URL: <https://www.360researchreports.com/global-travel-franchise-market-21405878> (data zvernennia 01.04. 2024).
11. 2023 Franchising economic outlook. URL: <https://www.franchise.org/sites/2023-03/2023-Franchising-Economic-Report.pdf> (data zvernennia 01.04. 2024).
12. Honchar L., Batchenko I., Poplavska A, Komarnitskyi I., Krupa I. and Beliak A. (2022) Franchise Market as a Driver of Hospitality Development. *Economic Affairs*. Vol. 67. No. 04. Pp. 611–618. DOI: 10.46852/0424-2513.4.2022.27
13. Katja Rakusic, Senka Borovac Zekan, Karmen Pivcevic Vranjes. (2022) Franchising as a strategy of entering foreign markets in the hotel industry. *Social science development journal*.. Vol 7. Issue 29. Pp: 171–183. DOI: 10.31567/ssd.532
14. World Travel Holdings. URL: <https://worldtravelholdings.com/> (data zvernennia 01.04. 2024).
15. Expedia Cruises. URL: <https://expediafranchise.com/about-us/> (data zvernennia 01.04. 2024).
16. EU sees increase of tourist bed places in 2022. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20231031-1> (data zvernennia 01.04. 2024).
17. Franchising in Germany. URL: <https://en.franchiseverband.com> (data zvernennia 01.04. 2024).
18. Poland: Franchising Comparative Guide. URL: <https://www.mondaq.com/corporatecommercial-law/1096802/franchising-comparative-guide> (data zvernennia 01.04. 2024).
19. Flight Centre Travel Group. URL: <https://www.fctgl.com/> (data zvernennia 01.04. 2024).
20. Analitikarynkufranchaizynhu 2021-2022 rokiv. URL: <https://franchisegroup.com.ua/about-franchising/2021-2022-year> (data zvernennia 01.04. 2024).
21. Franchising.ua. URL: <https://franchising.ua/stattya/2183/veliki-peremogi-travel-professional-group/> (data zvernennia 01.04. 2024).
22. Redko V. Ye., Semych Yu. V. (2020) Osoblyvosti franchaizynhovoї ekspansii na ukrainskyi turystychnyi rynek. [Features of franchising expansion into the Ukrainian tourist market]. *European Journal of Management Issues*. 28(3). Pp. 101–109. [in Ukrainian]. Doi:10.15421/192010.
23. Join UP! Franchaizynh. URL: <https://franchise.joinup.travel/> (data zvernennia 01.04. 2024).

СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

УДК 658.114

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.2.51>

Н. В. ШАНДОВА

доктор економічних наук, професор,
завідувач кафедри економіки, підприємництва та економічної безпеки
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-6278-1143

Р. А. ШАНДОВ

аспірант кафедри менеджменту, маркетингу і туризму
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0003-4130-1088

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ БІЗНЕС-МОДЕЛЕЙ
СТРАТЕГІЧНИХ АЛЬЯНСІВ

В статті обґрунтовано актуальність створення стратегічних альянсів вітчизняних і зарубіжних компаній з метою уникнення труднощів комунікацій у несприятливий для національної економіки час, коли запроваджений воєнний стан погіршив умови як внутрішнього так і міжнаціонального співробітництва вітчизняних компаній, обмежив можливості бізнесу в частині управління власними ресурсами через ускладнення нормативно-правової бази транскордонних трансакцій тощо.

На основі узагальнення закордонних й вітчизняних напрямів теоретичних досліджень поняття «стратегічний альянс» встановлено, що його ключовими елементами є: угода, партнерство, спільне використання ресурсів або можливостей, взаємна вигода, розподіл ризиків. Досліджено характеристики, наявність яких робить альянс стратегічним, вигоди та негативні аспекти вибору на користь створення альянсу.

Розглянуто можливі форми бізнес-моделей, використовуваних стратегічними партнерствами залежно від цілей, галузі, характеру партнерства та показано, як непередбачувані раніше комбінації співробітництва примушують компанії шукати ефективний алгоритм спільної праці. Визначено, що сформовані альянси використовують бізнес-моделі, які впливають на внутрішні бізнес-моделі компаній, у зв'язку з чим виникає потреба погодити внутрішню стратегію і, відповідно, скоригувати внутрішні бізнес-моделі відповідно до умов оточуючого середовища. Запропоновано напрями узгодження внутрішньої стратегії компанії-партнерів із загальною стратегією стратегічного альянсу.

Зроблено висновок, що для українських компаній переваги, пов'язані з цим унікальним типом партнерства, можуть бути особливо корисними та принести низку позитивних ефектів. З урахуванням поточної економічної ситуації та особливостей українського бізнес-ландшафту, запропоновано види альянсів, які можуть бути найбільш актуальними.

Ключові слова: стратегічні альянси, конкурентна перевага, бізнес-модель, компанії-партнери, можливості, вигода, розподіл ризиків.

N. V. SHANDOVA

Doctor of Economics, Professor,
Head of the Department of Economics, Entrepreneurship
and Economic Security
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-6278-1143

R. A. SHANDOV

Postgraduate Student at the Department of Management,
Marketing and Tourism
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0003-4130-1088

SPECIFICS OF FORMING BUSINESS MODELS FOR STRATEGIC ALLIANCES

The article substantiates the relevance of establishing strategic alliances between domestic and foreign companies in order to avoid communication difficulties in the unfavorable for the national economy time when the martial law has worsened the conditions for both domestic and international cooperation of domestic companies, limited the business

opportunities in terms of managing its own resources due to the complication of the regulatory framework for cross-border transactions, etc.

On the basis of generalization of foreign and domestic directions of theoretical studies of the concept of "strategic alliance", it is established that its key elements are: agreement, partnership, joint use of resources or opportunities, mutual benefit, and risk sharing. The characteristics that make an alliance strategic, the benefits and negative aspects of choosing to form an alliance are investigated.

The author considers possible forms of business models used by strategic partnerships depending on the goals, industry, and nature of the partnership, and shows how previously unforeseen combinations of cooperation force companies to look for an effective algorithm of joint work. It is determined that the formed alliances use business models that affect the internal business models of companies, and therefore there is a need to coordinate the internal strategy and, accordingly, adjust the internal business models in accordance with the environment. The author suggests ways to align the internal strategy of partner companies with the overall strategy of a strategic alliance.

It is concluded that for Ukrainian companies, the benefits associated with this unique type of partnership can be particularly useful and bring several positive effects. Taking into account the current economic situation and peculiarities of the Ukrainian business landscape, the author suggests the types of alliances that may be most relevant.

Key words: strategic alliances, competitive advantage, business model, partner companies, opportunities, benefits, risk sharing.

Постановка проблеми

Нові економічні, науково-технічні фактори, розвиток геополітичної й ідеологічної конфронтації, впливаючи на національну й міжнародну безпеку, створюють нові ризики й загрози розвитку реальних секторів економіки. Глобалізація, а також посилення боротьби за сфери впливу, ресурси та геополітичну лояльність, замість очікуваного «вирівнювання» розвитку створили складну систему спеціалізацій і нових локальних монополій, пов'язаних з видобутком ресурсів, продовольством, складним виробництвом, логістичними та транспортними послугами. Такі тенденції суттєво впливають на конкурентну поведінку, і відповідно, змінюють способи формування й розвитку бізнесу.

В Україні, спочатку через пандемію COVID-19, яка обмежила пересування не тільки людей, але й товарів, послуг і капіталів, а потім воєнний конфлікт, що розгорнувся на території країни, погіршилися умови як внутрішнього так і міжнародного співробітництва в царині бізнесу. Розвитку економіки перешкоджає військова агресія, яка створила ризики та загрози, пов'язані із: закриттям кордонів, особливим режимом в'їзду та виїзду, обмеженням пересувань усередині країни, запровадженням комендантської години; міграцією спеціалістів вищої кваліфікації, змушених покинути місця воєнних дій; закриттям міжнародних компаній через небезпечні умови діяльності; із прагненням іноземних компаній використати свої переваги щодо заміщення продукції зруйнованих підприємств, а також у сфері виробничих технологій (зокрема інформаційних) як інструменту глобальної конкуренції; труднощами, що виникли в доступі вітчизняних компаній до іноземних фінансових ресурсів і сучасних технологій через обмеження свобод у підприємницькій та цивільній діяльності через запровадження воєнного стану; зростаючим рівнем криміналізації та корупції в економічній сфері; зростанням частки тіньової економіки. Запроваджені воєнний стан обмежив можливості бізнесу в частині управління власними ресурсами, через ускладнення нормативно-правової бази транскордонних трансакцій виникають проблеми з експортом товарів, труднощі в подоланні бюрократичних проблем. Прагнення бізнесу до створення конкуруючих механізмів управління ресурсами, нового моделювання свого розвитку в умовах воєнного стану зумовлює необхідність заміни традиційних уявлень щодо інструментів досягнення максимальної ефективності бізнес-рішень та мінімізації ризиків, а також пошуку шляхів забезпечення стратегічної стабільності власної господарської діяльності.

Особливу роль у розв'язанні проблеми подолання невизначеності та складності сучасного бізнес-середовища може відіграти створення стратегічних альянсів вітчизняних і зарубіжних компаній, що дасть змогу уникнути труднощів комунікацій у несприятливий для національної економіки час, відсутності активних контактів, зменшити витрати з різних трансакцій. Водночас відсутність єдиної думки про те, що собою являють стратегічні альянси, недооцінка значення стратегічного альянсу у розв'язанні питань розширення взаємодоповнюючих можливостей для одержання взаємної комерційної вигоди за рахунок трансформування бізнесу знижують ефективність самих альянсів, а також інтерес компаній до їх створення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Актуальність розв'язання проблеми подолання невизначеності сучасного бізнес-середовища шляхом створення стратегічних альянсів підтверджується наявністю наукових публікацій, присвячених вивченню особливостей стратегічних альянсів, доцільності їх створення та функціонування. Закордонні вчені присвятили багато уваги дослідженню особливостей діяльності альянсів, досліджуючи проблеми формування і управління стратегічними альянсами, зокрема, це роботи Р. Kale, Н. Singh [1], D. Faulkner [2], R. Gulati [3], М. Yoshino, U. Rangan [4] та інші. Вітчизняні науковці А. Магомедова [5], Г. Козаченко та Л. Шульженко [6], В. Журавльов [7], М. Шкода та В. Щербаков [8] також проводять ґрунтовні дослідження стосовно аспектів визначення змісту та оцінки впливу

альянсів на підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств. Але незважаючи на велику кількість робіт, присвячених управлінню процесами побудови співробітництва компаній, проблематику формування і використання стратегічних альянсів не можна вважати достатньо розробленою.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження особливостей функціонування стратегічних альянсів на сучасному етапі розвитку економіки та визначення ефективних бізнес-моделей їх використання для покращення конкурентних позицій.

Викладення основного матеріалу дослідження

Дослідження міжорганізаційних відносин розпочалися в 1970-х роках [9, 10, 11, 12] і показали, що для досягнення спільної мети, а також для формування більш високої вартості побудова співробітництва або створення альянсу підприємств-виробників, постачальників, партнерів і потенційних клієнтів надають змогу сформувати різноманітні взаємозв'язки між учасниками, тому що компетентне виконання учасниками власних функцій збільшує ефективність, що, своєю чергою, дає змогу здобути конкурентну перевагу завдяки обміну інформацією, критичними ресурсами або можливим обміном інформацією.

Стратегічні альянси мають безліч визначень і трактувань як у вітчизняній, так і зарубіжній літературі. Деякі визначення стратегічних альянсів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Визначення «стратегічних альянсів»

Автор	Визначення
Dussauge P., Garrette B. [1]	Альянс – це угода про співпрацю або асоціація між двома або більше незалежними підприємствами, що управлятимуть одним конкретним проектом із визначеною тривалістю, для якого вони працюватимуть разом, щоб покращити свої компетенції. Альянс створюється для того, щоб партнери могли об'єднати ресурси та скоординувати зусилля для досягнення результатів, які жоден із них не зміг би отримати, діючи поодиночі. Ключовими параметрами альянсів є опортунізм (вигода), необхідність і швидкість.
Kale P., Singh H. [1]	Спеціальні взаємовідносини двох і більше незалежних фірм, які включають обмін, розподіл або спільний розвиток ресурсів чи можливостей з метою досягнення взаємного прибутку.
Faulkner D. [2]	Стратегічний альянс – це особливий вид міжорганізаційних відносин, у яких партнери інвестують у розвиток довгострокових спільних зусиль і спільну орієнтацію.
Gulati R. [3]	Стратегічні альянси – це добровільні угоди між компаніями, що передбачають обмін, спільне використання, або спільну розробку продуктів, технологій чи послуг.
Yoshino M.; Rangan U. [4]	Стратегічний альянс – це партнерство між двома або більше компаніями, які об'єднуються для досягнення низки узгоджених цілей, але залишаються незалежними після створення альянсу, щоб вносити свій внесок і ділитися вигодами на постійній основі в одній або декількох ключових стратегічних галузях, наприклад, у сфері технологій або випуску продукції.
Porter M. [13]	Стратегічні альянси – це довгострокові угоди між компаніями, які виходять за рамки звичайних ринкових, але не досягають до злиття.
Thompson A., Strickland A. [14]	Стратегічні альянси – це угоди про співробітництво, що виходять за рамки звичайних договорів між двома компаніями, але не приводять до злиття підприємств або створення юридично оформленого спільного підприємства.
Магомедова А. [5]	Стратегічний альянс – форма партнерських відносин, яка передбачає довгострокове об'єднання підприємств як на конкурентній основі, так і без неї, що передбачає створення спільної ресурсної бази, яка використовується учасниками з метою досягнення загальних стратегічних цілей та на умовах збереження повної автономності.
Козаченко Г., Шульженко Л. [6]	Стратегічний альянс – система партнерських гетерархічних відносин різноманітного організаційно-правового оформлення між суб'єктами господарювання, основною метою яких є ефективне використання ресурсів для досягнення спільних інтересів, єдиних цілей, контролю, розподілу ризиків між учасниками альянсу
Contractor F., Ra W. [15]	Стратегічний альянс – це договірна дія між двома або більше підприємствами, пов'язана з управлінням бізнес-ризиками.

Джерело: складено на основі [1–6; 13–15]

Як видно з табл.1, немає єдиного визначення стратегічного альянсу. Однак аналіз визначень дає змогу дійти висновку про ключові елементи, якими є: угода, партнерство, спільне використання ресурсів або можливостей, взаємна вигода, розподіл ризиків. Ці визначення характеризують стратегічні альянси як форму партнерських угод, укладених на певний строк між двома або більше компаніями, мета яких, у межах певного проекту, в одній або декількох галузях діяльності альянсу, об'єднати ресурси, компетентності та можливості, скоординувати зусилля і розподілити ризики для досягнення взаємовигідних результатів, яких окремо вони отримати не можуть.

Розглянуті дефініції також дають змогу дійти висновку, що для конкретної компанії альянс є стратегічним, якщо він відповідає таким характеристикам:

- створюється для розширення можливостей досягнення успіху основної бізнес-цілі або завдання;
- розвиває або захищає основну компетенцію чи створює умови для розвитку іншої конкурентної переваги;
- блокує конкурентні загрози;

- створює або підтримує стратегічний вибір для фірми;
- знижує значні ризики для бізнесу.

Учасники стратегічного альянсу отримують певні вигоди, основними з яких є [16]:

- можливість виходу на новий ринок: досягнення в галузі телекомунікацій, комп'ютерних технологій і транспорту полегшили компаніям вихід на будь-які ринки, що створює такі переваги, як економія на масштабі й обсязі маркетингу та дистрибуції. Але для окремої компанії вартість виходу на новий ринок може виявитися надто великою, проте вступивши в стратегічний альянс, наприклад, з міжнародною компанією, вона зможе отримати переваги швидкого виходу на ринок, наприклад доступ до ланцюжка поставок, включно з виробниками та дистриб'юторами, зберігши при цьому низьку вартість, подолання недружньої конкуренції та державного регулювання;

- спільне використання знань і досвіду: деякі компанії компетентні в одних галузях і не мають достатнього досвіду в інших, а створення стратегічного альянсу може забезпечити вільний доступ до знань і досвіду в тій галузі, якого компанії не вистачає. Такий цінний ресурс, як знання, досвід, інформація, канали розповсюдження або технології можуть бути використані як у спільному проєкті, так і в інших проєктах і цілях, що дасть змогу компаніям альянсу розвиватися надалі;

- конкурентна перевага та синергія: конкуренція стає ефективнішою, коли учасники альянсу використовують сильні сторони один одного, робота зі стратегічним партнером може надати можливість створювати або ліцензувати нові технології привносячи в процес синергію, якої було б важко досягти, якби вони намагалися вийти на новий ринок поодиночці;

- поділ ризиків: вихід на новий ринок пов'язаний із ризиком подолання невизначеності та нестабільності, і створення стратегічного альянсу – це один зі способів знизити або контролювати ризики компанії.

Однак, роблячи вибір на користь створення альянсу, необхідно враховувати й негативні аспекти цього рішення, такі як:

- обмеження контролю: участь в альянсі може означати втрату контролю над певними аспектами бізнесу або проєкту, оскільки рішення ухвалюються спільно з іншими учасниками альянсу;

- залежність від інших учасників: участь в альянсі може створити залежність від інших учасників з низки таких питань, як постачання сировини, матеріалів або технологій;

- складності управління: управління альянсом, особливо якщо в ньому бере участь кілька компаній, може бути складним і вимагати значних ресурсів;

- ризик конфліктів інтересів: різні учасники альянсу можуть мати різні інтереси і цілі, що може призвести до конфліктів або розбіжностей під час реалізації проєкту;

- ризик витоку інформації: обмін інформацією між учасниками альянсу може становити ризик витоку конфіденційних даних або технологій;

- неоднорідність культур і стилів управління: відмінності в корпоративній культурі, стилях управління і методах роботи учасників альянсу можуть ускладнити ефективну співпрацю і досягнення спільних цілей.

Незважаючи на наявність певних ризиків і негативних моментів, багато компаній визнають стратегічні альянси як одну з ефективних форм взаємодії під час розв'язання задачі забезпечення конкурентних переваг – середній темп приросту кількості стратегічних альянсів, які укладають щороку, становить близько 15% [17].

У різних галузях економіки існують відомі альянси, що ґрунтуються на технологічному обміні, спільних інвестиціях, наукових дослідженнях і розробках або маркетингу, з яких найвідоміші наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Світові бізнес-альянси

Назва	Склад компаній	Основа взаємодії
Oneworld	American Airlines, British Airways, Cathay Pacific та ін.	Альянс авіакомпаній, що забезпечує співпрацю в маршрутах, бронюванні та обслуговуванні
SkyTeam	Delta Air Lines, Air France, KLM та ін.	Альянс авіакомпаній, що пропонує широкий спектр спільних маршрутів і послуг
Star Alliance	Lufthansa, United Airlines, Air Canada та ін.	Альянс авіакомпаній, що надає спільні послуги та програми лояльності
Renault-Nissan-Mitsubishi	Renault, Nissan, Mitsubishi	Автомобільний альянс, що поєднує трьох автовиробників для спільної роботи над технологічними інноваціями, виробничими процесами й виходом на нові ринки
Google та NASA	Google, NASA	Альянс в області наукових досліджень, особливо в сфері космічних технологій і аналізу даних
Dell та EMC	Dell, EMC	Співробітництво в сфері інформаційних технологій і систем зберігання даних
Microsoft, Nokia	Microsoft, Nokia	Партнерство для розробки мобільних пристроїв на платформі Windows Phone

Продовження таблиці 2

Nike+	Nike, Apple	Стратегічне інтеграційне партнерство для створення технологій, що здійснюють моніторинг стану здоров'я та відслідковують прогрес в області охорони здоров'я
Альянс критичних лікарських засобів ЄС	Фармкомпанія «Дарниця»	Партнерство країн ЄС для диверсифікації поставок критично важливих лікарських засобів
Ukrainian Logistics Alliance	ТОВ «ЗАММЛЕР УКРАЇНА», ТОВ «ШПЕЛЬ», ТОВ «ТЕК «ЗЕКТЕР»	Український логістичний альянс, спрямований на розвиток логістичної інфраструктури й послуг у країні

Джерело: складено на основі власних досліджень

Навність різних форм партнерських угод дають змогу партнерам у різний спосіб контролювати свої ділові відносини та збільшувати власну ефективність, тим самим створюючи нові форми бізнесу. За даними Accenture, 76% опитаних бізнес-лідерів згодні з тим, що нинішні бізнес-моделі стануть невпізнаними в найближчі 5 років: екосистеми та стратегічні альянси стануть головним чинником змін [18].

Так, у результаті співпраці онлайн-рітейлера Amazon.com і мережі універмагів Kohl's, було змінено правила повернення та обміну товарів, і у клієнтів Amazon, які вирішили повернути товар, з'явилася можливість здати його в будь-який магазин Kohl's. Створена бізнес-модель дала змогу для Amazon розв'язати проблему нестачі фізичних торговельних точок, а для Kohl's нові бізнес-процеси принесли додатковий трафік покупців, бо кожному, хто здав покупку, вручали купон на знижку.

У 2015 році Starbucks уклала стратегічний альянс із платформою потокового передавання музики Spotify, щоб поліпшити якість музики в магазинах для клієнтів. В результаті, велика мережа магазинів Starbucks з лояльною клієнтською базою надала Spotify платформу для охоплення ширшої аудиторії, яка, зі свого боку, додала свій досвід у сфері потокового передавання музики та персоналізованих плейлистів, щоб поліпшити якість обслуговування клієнтів Starbucks у магазинах, що сприяло створенню нових переваг, які важко скопіювати.

У результаті угоди між авіакомпаніями, які за визначенням є конкурентами, з'явилася можливість реалізації оптимальних стикувальних рейсів, коли пасажери можуть витратити менше часу на пересадки і користуватися єдиними програмами лояльності. Це приклад переходу від моделі B2C до B2B2C: взаємодія бізнес-структур підвищує загальну цінність продукту і знижує вартість.

Також альянси створюють й інші ціннісні ланцюжки, наприклад, G2B2C – від влади до бізнесу і далі до споживача. Електронний сервіс державних послуг «Дія», розроблений Міністерством цифрової трансформації України за допомогою партнерства держави та IT-компаній, дав змогу значно знизити витрати на взаємодію людей із владними структурами.

Сьогодні, залежно від цілей, галузі, характеру партнерства, у стратегічних альянсах використовуються такі бізнес-моделі:

- спільне виробництво і розробка: компанії об'єднують свої ресурси для спільного виробництва або розроблення нових продуктів чи послуг, що включає обмін технологіями, знаннями та виробничими потужностями;
- спільний збут і маркетинг: партнери об'єднують зусилля для просування продуктів або послуг на ринку, що охоплює спільні маркетингові кампанії, обмін базами даних клієнтів і спільну дистрибуцію;
- спільні інвестиції та фінансування: компанії об'єднують свої фінансові ресурси для інвестування в певні проекти або ініціативи, що дає змогу розділити ризики та збільшити потенціал доходу;
- партнерство в наукових дослідженнях і розробках: компанії спільно працюють над науковими дослідженнями і розробкою нових технологій або продуктів;
- спільне управління інфраструктурою: партнери спільно керують інфраструктурними об'єктами, як-от транспортні системи, енергомережі або комунікаційні мережі;
- аутсорсинг: компанії створюють альянси для аутсорсингу бізнес-процесів, таких як виробництво, логістика або IT-послуги, що дає змогу сконцентруватися на основних компетенціях;
- кооперативні бізнес-моделі: компанії працюють разом у кооперативній бізнес-моделі, щоб досягати спільних цілей, таких як спільне надання послуг або розвиток спільних ринків.

Дедалі все більша кількість компаній, партнерство яких побудовано на об'єднанні виробничої діяльності, різноманітних послуг, транспортних операцій, співпраці з державними органами, виходить на ринок з метою масштабувати свій бізнес, розширити доступ до нових ринків, каналів збуту або створити абсолютно новий продукт/послугу. І, як бачимо, непередбачувані раніше комбінації співробітництва повністю змінюють галузеві ланцюжки створення вартості, трансформують бізнес-моделі компаній-партнерів, примушуючи їх шукати ефективний алгоритм спільної праці.

Сформовані альянси використовують бізнес-моделі, які дозволяють враховувати операційний рівень компаній та вирішувати стратегічні питання розвитку. Але створені на основі альянсу нові бізнес-моделі впливають на внутрішні бізнес-моделі через те, що на початку спільної діяльності у компаній розрізняються розуміння щодо

об'єднання активів, обміну ресурсами, підходи до створення цінності, підходи до монетизації створеної цінності, підходи до роботи на ринках які відрізняються швидкістю змін та масштабами тощо. У зв'язку з чим виникає потреба погодити внутрішню стратегію і, відповідно, скоригувати внутрішні бізнес-моделі відповідно до умов оточуючого середовища.

Узгодження внутрішньої стратегії компаній-партнерів із загальною стратегією стратегічного альянсу є ключовим аспектом успішного функціонування альянсу. Реалізація такого узгодження повинна враховувати багато специфічних факторів, в тому числі розмір компаній-партнера, її положення на ринку, технологічну складність процесів діяльності та здійснюватися за напрямками:

- визначення спільної цілі та стратегії, зокрема, розробка спільного бачення, місії, цілей і ключових показників ефективності (KPI);
- налагодження діалогу і комунікації з метою напрацювання аспектів спільного розуміння стратегічних завдань і прийнятих рішень;
- спільне планування дій, які будуть підтримувати загальну стратегію альянсу, виділення пріоритетних напрямів діяльності та розподіл ресурсів;
- розподіл ролей і відповідальності у рамках загальної стратегії альянсу з метою уникнення дублювання зусиль і конфліктів інтересів;
- узгодження спільних цінностей та врахування сумісності культур компаній-партнерів у співпраці в рамках альянсу;
- формування механізму вимірювання та оцінювання ефективності виконання стратегії альянсу.

Узгодження внутрішньої стратегії компаній-партнерів із загальною стратегією альянсу вимагає тісної взаємодії, довіри та взаєморозуміння між учасниками, та створює єдиний напрямок для досягнення спільних цілей та успіху альянсу.

Висновки

Темпи і різноманітність змін сучасного зовнішнього середовища змушують звернути увагу на альянси як на найважливіші стратегічні інструменти для боротьби з широким спектром конкурентних загроз. Компанія майбутнього, найімовірніше, буде постійно мінливою, модульною структурою з розмитими кордонами з багатьма партнерами та галузями. Оскільки альянси стають дедалі важливішою частиною цієї трансформації, ті організації, які виділяють відповідні ресурси на співпрацю, матимуть усі шанси здолати хвилю потрясінь. Для українських компаній переваги, пов'язані з цим унікальним типом партнерства, можуть бути особливо корисними та принести низку позитивних ефектів. З урахуванням поточної економічної ситуації та особливостей українського бізнес-ландшафту, вважаємо, що наступні види альянсів можуть бути найбільш актуальними:

- технологічні альянси: Україна має сильний технологічний потенціал у галузі ІТ та розробки програмного забезпечення, а технологічні альянси сприятимуть розширенню доступу до нових технологій, інновацій і ринків;
- експортні альянси: Україна активно розвиває експорт своєї продукції та послуг, а спільні маркетингові кампанії, участь у міжнародних виставках і ярмарках, а також спільні договори із зарубіжними партнерами дозволять знайти нових партнерів та диверсифікувати власні ринки;
- інноваційні кластери та партнерства: українські компанії можуть об'єднуватися для спільного дослідження і розробки, а також для комерціалізації інновацій, що сприятиме створенню нових робочих місць, зростанню економіки та підвищенню конкурентоспроможності країни;
- освітні альянси та партнерства: співпраця з закордонними університетами та науковими інститутами у проведеному наукових досліджень і розвитку освітніх програм, що відповідають потребам ринку дозволить підвищити якість освіти та краще підготувати кадри для потреб вітчизняної економіки;
- альянси для розвитку інфраструктури: інфраструктурні альянси допоможуть залучити інвестиції і технології для повоєнного відновлення та розвитку інфраструктури, включно з транспортною, енергетичною та комунальною інфраструктурою, що сприятиме поліпшенню умов життя і роботи в країні.

Ці та інші бізнес-моделі альянсів можуть допомогти українським компаніям розкрити свій потенціал, підвищити конкурентоспроможність і стати успішними на світовому ринку. Ключовим фактором успіху є розуміння конкретних потреб і можливостей українських компаній, а також розробка стратегії співпраці, що сприятиме їхньому зростанню та розвитку.

Список використаної літератури

1. Kale, P., Singh, H. (2009) Managing Strategic Alliances: What Do We Know Now, and Where Do We Go From Here? *Academy of Management Perspectives*, 8(23:3), 45–62.
2. Faulkner, D. International Strategic Alliances: Co-operating to Compete. McGraw-Hill, London, 1995.
3. Gulati, R. (1998) Alliance and Networks. *Strategic Management Journal*, 19, 293–317.
4. Yoshino, M.Y., Rangan, U.S. Strategic Alliances: an Entrepreneurial Approach to Globalization. Harvard Business School Press, Boston, 1995.

5. Магомедова А.М. Утворення стратегічних альянсів як спосіб розвитку партнерських відносин. *Інвестиції: практика та досвід*, 2011. № 19. С. 47–49.
6. Козаченко Г.В., Шульженко Л.Є. Стратегічні альянси: дуальний характер. *Теоретичні та прикладні питання економіки*, 2016. Вип. 27, Т.1. URL: http://tpe.econom.univ.kiev.ua/data/2012_27_1/Zb27_1_07.pdf (дата звернення: 12.04.2024).
7. Журавльов В. Стратегічні альянси як сучасні моделі бізнесу. *Наука – виробництву*, 2022. Вип. 5. С. 159–160.
8. Шкода М., Щербаків В. Аналіз розвитку бізнес-альянсів в Україні та їх вплив на економіку країни. *Журнал стратегічних економічних досліджень*, 2023. № 4(15). С. 83–89.
9. Evan, W.E. The Organization-Set: Toward a Theory of Interorganizational Relations. In James D. Thompson (ed.), *Approaches to Organizational Design*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press. 1966.
10. Hamel, G. (1991) Competition for competence and inter-partner learning within international strategic alliances. *Strategic Management Journal*, 12, 83–103.
11. Inkpen, A. C. (1998) Learning and knowledge acquisition through international strategic alliances. *Academy of Management Executive*, 12(4), 69–80.
12. Rothaermel, F., Boeker, W. (2008) Old technology meets new technology: Complementarities, similarities and alliance formation. *Strategic Management Journal*, 29(1), 47–77.
13. Porter, M.E. *Competitive Advantage of Nations*. New York: The Free Press, 1990.
14. *Strategic Management: Concepts and Cases*. 12th Edition by Jr. Thompson, Arthur A., A. J. Strickland. McGraw-Hill College, 2001.
15. Contractor, F., Ra, W. (2009) Negotiating alliance contracts: Strategy and behavioral effects of alternative compensation arrangements. *International Business Review*. 9 (3), 271–299.
16. Soares, B. The use of strategic alliances as an instrument for rapid growth, by New Zealand based quested companies. United New Zealand School of Business Dissertations and Theses, 2007.
17. Steinhilber, S. *Strategic Alliances: Three Ways to Make Them Work*. US-MA: Harvard Business School Publishing, 2008.
18. Accenture: STRATEGY & CONSULTING. URL: <https://www.accenture.com/us-en/insights/strategy/macro-foresight> (дата звернення: 19.03.2024).

References

1. Kale, P., Singh, H. (2009) Managing Strategic Alliances: What Do We Know Now, and Where Do We Go From Here? *Academy of Management Perspectives*, 8(23:3), 45–62.
2. Faulkner, D. *International Strategic Alliances: Co-operating to Compete*. McGraw-Hill, London, 1995.
3. Gulati, R. (1998) Alliance and Networks. *Strategic Management Journal*, 19, 293–317.
4. Yoshino, M.Y., Rangan, U.S. *Strategic Alliances: an Entrepreneurial Approach to Globalization*. Harvard Business School Press, Boston, 1995.
5. Magomedova A.M. (2011) Formation of strategic alliances as a way of developing partnership relations. *Investments: practice and experience*, №. 19. pp. 47–49. [in Ukrainian]
6. Kozachenko G.V., Shulzhenko L.E. (2016) Strategic alliances: dual nature. *Theoretical and applied issues of economics*. Issue 27(1). URL: http://tpe.econom.univ.kiev.ua/data/2012_27_1/Zb27_1_07.pdf (date of application: 12.04.2024). [in Ukrainian]
7. Zhuravlev V. (2022) Strategic alliances as modern business models. *Science – production*. Issue 5. pp. 159–160. [in Ukrainian]
8. Shkoda M., Shcherbakov V. (2023) Analysis of the development of business alliances in Ukraine and their impact on the country's economy. *Journal of strategic economic research*. №. 4(15), pp. 83–89. [in Ukrainian]
9. Evan, W.E. The Organization-Set: Toward a Theory of Interorganizational Relations. In James D. Thompson (ed.), *Approaches to Organizational Design*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press. 1966.
10. Hamel, G. (1991) Competition for competence and inter-partner learning within international strategic alliances. *Strategic Management Journal*, 12, 83–103.
11. Inkpen, A. C. (1998) Learning and knowledge acquisition through international strategic alliances. *Academy of Management Executive*, 12(4), 69–80.
12. Rothaermel, F., Boeker, W. (2008) Old technology meets new technology: Complementarities, similarities and alliance formation. *Strategic Management Journal*, 29(1), 47–77.
13. Porter, M.E. *Competitive Advantage of Nations*. New York: The Free Press, 1990.
14. *Strategic Management: Concepts and Cases*. 12th Edition by Jr. Thompson, Arthur A., A. J. Strickland. McGraw-Hill College, 2001.
15. Contractor, F., Ra, W. (2009) Negotiating alliance contracts: Strategy and behavioral effects of alternative compensation arrangements. *International Business Review*. 9 (3), 271–299.
16. Soares, B. The use of strategic alliances as an instrument for rapid growth, by New Zealand based quested companies. United New Zealand School of Business Dissertations and Theses, 2007.
17. Steinhilber, S. *Strategic Alliances: Three Ways to Make Them Work*. US-MA: Harvard Business School Publishing, 2008.
18. Accenture: STRATEGY & CONSULTING. URL: <https://www.accenture.com/us-en/insights/strategy/macro-foresight> (accessed: 19.03.2024)

ПРАВИЛА ПРИЙОМУ СТАТЕЙ

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У НАУКОВИЙ ФАХОВИЙ ЖУРНАЛ «ВІСНИК ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

Поля – 2 см (нижнє) x 2 см (верхнє), 3 см (ліве) x 1,5 см (праве); абзац – 1,25 см; міжрядковий інтервал – 1,5 см; шрифт – Times New Roman; кегль – 14.

Якщо стаття містить таблиці і (або) ілюстрації, то вони повинні бути компактними, мати назву, шрифт тексту – Times New Roman, розмір – 12 пт. Розмір таблиць та ілюстрацій не повинен бути більше ширини сторінки. Таблиці та ілюстрації повинні бути розміщені у відповідному місці в тексті.

Обов'язкові елементи статті:

- індекс УДК у верхньому лівому кутку сторінки;
- ініціали та прізвище автора великими літерами, науковий ступінь, вчене звання, посада із зазначенням кафедри, місце роботи, ORCID автора у верхньому правому кутку сторінки;
- назва статті великими літерами, по центру (назва статті подається без використання вузькоспеціалізованих скорочень, крапка в кінці назви не ставиться);
- основний текст статті.

Основний текст статті повинен мати такі виділені елементи:

- постановка проблеми;
- аналіз останніх досліджень і публікацій;
- формулювання мети дослідження;
- викладення основного матеріалу дослідження;
- висновки;
- список використаної літератури.

Після назви статті обов'язково надаються анотації українською та англійською мовами (текст ідентичний, обсяг – не менше 1800 друкованих знаків, включаючи ключові слова), де вказується назва статті, ініціали та прізвище автора, характеристика основної проблеми, мети, узагальнених результатів та ключові слова.

Посилання на літературні джерела в тексті подають у квадратних дужках.

Список літератури наводиться у порядку посилань у тексті згідно з ДСТУ 8302:2015. «БІБЛІОГРАФІЧНЕ ПОСИЛАННЯ. Загальні положення та правила складання» і розміщується після основного тексту.

Після списку літератури, через інтервал в один рядок, розташовують слово **References** та наводиться англomовний список літератури (стиль – АРА) наведеного вище списку літератури. Бібліографічний опис кожного джерела має, за наявності, супроводжуватися його ідентифікатором цифрового об'єкта (DOI – Digital Object Identifier), що наводиться через пробіл після бібліографічного опису джерела.

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК 667.021.1

В. С. КОРОЛЕНКО

кандидат наук з державного управління, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет

ORCID: ...

І. Ф. БОНДАРЬ

аспірант кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет

ORCID: ...

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
ДЕФОРМУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ГІДРОПРЕСУВАННІ
ТРУБЧАТИХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

У даній роботі розглянута кінцево-елементна модель процесу гідроекструзії трубчастих заготовок у середовищі високих гідростатичних тисків, необхідних для підвищення пластичності сталі 30ХН2МФА при холодному формоутворенні виробів. Результати моделювання показали можливість реалізувати процес при дії значного гідростатичного тиску (750 МПа) на вільну поверхню заготовки... (не менше 1800 друкованих знаків).

Ключові слова: гідропресування, гідроекструзія, деформування, матриця, моделювання, міцність, надійність, руйнування.

V. S. KOROLENKO

Candidate of Public Administration, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Public Administration and Local Self-Government
Kherson National Technical University

ORCID: ...

I. F. BONDAR

Postgraduate Student at the Department of Public Administration and Local Self-Government
Kherson National Technical University

ORCID: ...

**THE RESEARCH OF DEFLECTED MODE OF THE DEFORMING TOOL
DURING THE HYDRAULIC FORGING OF TUBULAR BLANKS
BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS**

In this work, the finite element model of the hydrostatic extrusion process of tubular blanks in the medium of high hydrostatic pressure that are necessary for increase ductility of steel 30HN2MFA during the cold forming products, was considered. The modelling results showed the possibility to realize a process with effect of considerable hydrostatic pressure (750 MPa) on the free surface of blank. There is characteristic destruction still on the initial stages of deformation on the external surface at less pressure. (не менше 1800 друкованих знаків).

Key words: hydraulic forging, hydrostatic extrusion, deformation, mould, modelling, strength, reliability, destruction.

Текст статті...[1, с. 15].

Список використаної літератури

1. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів. Львів : Новий світ-2000, 2011. 422 с.
2. Мельничук П. П. Теоретико-технологічне обґрунтування можливостей обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, замість шліфування. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. № 3. 2014. С. 164-172.

References

1. Mazur M.P. (2011) Osnovy teorii rizannia materialiv [Fundamentals of the theory of cutting materials]. Lviv: Noviy svit-2000. [in Ukrainian].
2. Melnychuk P. P. (2014) Teoretyko-tekhnologichne obgruntuvannia mozhlyvostei obrobky ploskykh poverkhon detalei tortsevym lezovym instrumentom, osnashchenym nadtverdymy materialamy, zamist shlifuvannia. [Theoretical and technological substantiation of the possibilities of processing flat surfaces of parts with an end blade tool equipped with ultra-hard materials, instead of grinding]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky, no. 3, pp. 164-172.

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	Калабухова С.Ю.
Відповідальний секретар	Лур'є І.А. к.т.н., доцент, начальник навчально-методичного відділу, доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук

Підписано до друку 29.05.2024.

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman. Папір офсет. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 41,15. Замов. № 0624/420. 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.