

ISSN 2078-4481

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

1(88)

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 10 від 26.03.2024 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**

1(88)

Recommended for publication by the Academic Council
of Kherson National Technical University
(Minutes № 10 on 26th March 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

О. В. Андронova, В. В. Курак, С. Р. Селіверстова. Модель автономної фотоелектричної системи з широтно-імпульсним контролером заряду акумуляторної батареї.....	11
С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова. Технічні рішення з удосконалення технології збалансованого кормоприготування для свиней.....	20
Д. А. Гусачук, Ю. П. Фешук, Т. В. Фурс. Оцінювання якості дизельного палива за густиною і в'язкістю.....	27
В. С. Дорофєєв, Г. В. Зінченко, Н. В. Пушкар. Дотичні напруження в елементах, що згинаються при двоквадратичному законі деформування бетону.....	32
О. І. Ключев, С. А. Русанов, І. А. Шатохіна. Нові конструкції теплових акумуляторів для передпускової підготовки двигунів внутрішнього згоряння автомобілів.....	41
В. М. Колодненко, О. І. Драник. Дослідження закономірностей руху вантажних транспортних засобів по мосту з урахуванням знаків.....	48
В. О. Кравець, О. М. Кравець, С. В. Лапковський, В. К. Фролов, М. М. Гладський, В. П. Приходько. Аналіз розмірних зв'язків роботизованої складальної системи.....	54
О. Ф. Кузькін, Д. Я. Муковська, І. М. Райда, Л. А. Веремєєнко. Оптимізація оперативного управління використання парку автомобільних транспортних засобів промислового підприємства.....	63
В. М. Литвиненко. Дослідження взаємозалежності електричних параметрів Варикапа.....	72
Л. І. Мельник, О. М. Шнирук, А. С. Ошега. Композити на основі вулканічних наповнювачів з різновидами полімерної матриці.....	77
А. В. Несвідомін, С. Ф. Пилипака, І. Ю. Грищенко, Т. М. Волина, В. М. Бабка. Зв'язок між гіперболою і еліпсом на поверхні кулі.....	84
С. В. Новицький, О. В. Зур'ян. Фотоелектричні перетворювачі. Види, ефективність.....	92
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.....	103
L. M. Petrov, Yu. M. Petryk. Elements of the theory of force loading by the torque moment of the vehicle wheel by the jet mail in the zone of its contact with the support surface.....	110
Б. І. Приймак, М. М. Желінський, В. І. Теряєв. Бездавачеве векторне керування асинхронним двигуном електромобіля з нечітким алгоритмом адаптації спостерігача швидкості.....	115
О. В. Радіонов, О. І. Алфьоров, Н. В. Тарельник, В. В. Постолатій, М. А. Кусков. Підвищення надійності асинхронних електродвигунів для сільськогосподарського виробництва шляхом впровадження магніторідинних герметизаторів.....	126
Л. А. Фролова, О. С. Баскевич. Дослідження впливу параметрів синтезу на властивості кобальт-нікелевого фериту.....	134
О. Г. Шибасєв, Г. М. Сільванська, С. В. Кручек. Методика виявлення факторів впливу на пасажирообіг при проектуванні круїзних ліній.....	140
О. Ю. Юрченко, В. І. Склабінський, О. Г. Гусак. Методика проведення експериментального дослідження факелу розпилу на виході з корзини обертового вібраційного гранулятора.....	150
Ю. В. Юрченко, О. М. Сучек, В. А. Курило, О. В. Сіора, М. В. Соколовський, А. В. Бернацький. Розробка лабораторного устаткування для виготовлення плоских та циліндричних зразків з тонколистового матеріалу з використанням технології лазерного зварювання.....	156

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Л. В. Балдич, І. М. Мартинова. Огляд методів та засобів заморожування плодів і ягід у процесі переробки.....	161
О. М. Домбровська, М. П. Артеменко. Формування модельних комбінаторних рядів асортиментної структури жіночого жакета в умовах кастомізованого виробництва.....	168
А. В. Заєць, О. А. Андрєєва. Дослідження будови та властивостей акрилових полімерів для рідинного оздоблення шкіри.....	174

М. Є. Рацук, Т. А. Юрова, Є. Є. Колношенко, Д. А. Яценко. Порівняльне дослідження емульсійних кремів для обличчя.....	180
--	-----

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

К. О. Антіпова, В. С. Раленко. Використання різних видів токенизаторів в трансформерних архітектурах для задачі машинного перекладу.....	186
А. М. Афанасьєва, В. М. Ткачов. Порівняльний аналіз методів побудови високомобільних комп'ютерних мереж на базі рою БПЛА.....	191
О. В. Berezhna, T. Yu. Andriushchenko. The role of it innovations in shaping changes in the publishing industry of Ukraine.....	197
Р. О. Беляков, О. Д. Фесенко. Концептуальна модель управління наземно-повітряною мережею Manet і Fanet класів спеціального призначення.....	203
М. О. Волк, В. Г. Лабазов, Д. О. Кипаренко, Б. В. Привалов, Д. О. Шумов, І. А. Самойлов. Розподілене комп'ютерне моделювання в системах хмарних обчислень.....	211
Д. Л. Кирийчук, А. В. Яцкевич, О. М. Ляшенко. Проектування програмного сервісу складання позовних заяв «ProshuSud».....	218
Н. А. Куликовська, А. В. Тіменко, В. Є. Трохимчук, М. Б. Ільяшенко. Дослідження методів аналізу тональності текстових даних.....	225
Д. В. Лубко, М. Ю. Мірошниченко. Аналіз сучасних підходів та методик в області захисту інформації та даних.....	231
Yu. S. Manzhos, Ye. V. Sokolova. The Software Development Lifecycle of Cyber-Physical Systems.....	237
І. Л. Михелєв, Ю. О. Казимиренко, М. А. Матвєєв. Алгоритм обміну даними при моделюванні теплових процесів у газотурбінних камерах згоряння.....	246
І. М. Наумук, О. В. Наумук. Використання Cisco Packet Tracer як засобу симуляції мережевої інфраструктури у підготовці інженерів-програмістів.....	253
Л. М. Олещенко, О. Г. Мельничук. Застосування асамблевих методів машинного навчання для виявлення неправдивого тексту.....	258
М. В. Онай, Д. Т. Гулько. Класифікація методів дискретного логарифмування на еліптичній кривій.....	264
Б. В. Пашковський, М. І. Слабінога, М. В. Романів. Оптимізація роботи веб-застосунків засобами горизонтального масштабування з використанням архітектури CQRS.....	272
О. І. Проніна, А. А. Поліщук. Інтелектуальна система визначення інгредієнтів та пропозиції рецептів з використанням AR на платформі IOS.....	279
М. О. Рибальченко, О. Ю. Потап, І. О. Маначин, О. П. Єгоров. Дистанційна система керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії.....	287
А. О. Ярош, О. В. Кудін. Нейромережеві методи розв'язання задач пружності.....	295

УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

Н. В. Колодненко, Т. В. Устік. Особливості управління маркетинговими ризиками як засіб покращення маркетингової політики підприємств сфери агробізнесу.....	306
С. М. Колонтай, С. І. Атанасов. Управління сталим розвитком рекреаційно-туристичної сфери в умовах невизначеності.....	314
Я. І. Мандрик. Початковий етап підготовки висококваліфікованих інженерів-управлінців для нафтогазових промислів Галичини.....	320
Ю. О. Соколова, І. В. Кочнова. Формування цінової задоволеності споживачів медичних послуг.....	325

ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

В. Е. Арутюнян. Вплив соціальних медіа на ефективність електронного врядування: огляд існуючих досліджень та перспективи майбутнього.....	330
--	-----

В. В. Базиченко. Сучасний стан публічного управління у сфері національної безпеки.....	337
С. А. Горбаченко, Н. А. Клевцевич. Роль кібербезпеки у впровадженні циркулярних економічних моделей: аналіз ризиків та можливостей.....	342
В. М. Демченко. Урахування в державній мовній політиці чинників органічного розвитку української мови.....	349
Я. М. Казюк, В. Т. Венцель. Фінансова спроможність територіальних громад як основний елемент у забезпеченні реалізації повноважень органів місцевого самоврядування	357
Н. М. Ковальська. Подвійна природа конфліктів у публічному управлінні.....	365
І. П. Лопушинський, О. В. Проніна. Підрив Каховської ГЕС: наслідки для екологічної безпеки України.....	372
О. К. Любчук. Удосконалення інструментальної складової механізму державного управління привабливістю туризму в Україні.....	378
О. В. Половцев, С. П. Хобзей. Використання математичного апарату в публічному управлінні фінансово-економічними процесами національного рівня.....	382
В. Д. Філіппова. Детермінанти стресу в діяльності державних службовців	390

СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

Л. В. Боровік, Т. Ю. Осадча. Залучення інвестицій як напрям активізації розвитку підприємництва в Україні.....	397
---	-----

CONTENTS

ENGINEERING SCIENCES

O. V. Andronova, V. V. Kurak, S. R. Seliverstova. A model of autonomous photovoltaic system with a pulse-width battery charge controller.....11

S. V. Haidukevych, N. P. Semenova. Technical solutions for improving the technology of balanced feed preparation for pigs.....20

D. A. Husachuk, Yu. P. Feshchuk, T. V. Furs. Diesel fuel density and viscosity evaluation.....27

V. S. Dorofeev, H. V. Zinchenko, N. V. Pushkar. Tangential stresses in bending elements under the two-quadratic law of concrete deformation.....32

O. I. Kliuiev, S. A. Rusanov, I. A. Shatokhina. New designs of heat accumulators for the pre-start preparation of car internal combustion engines.....41

V. M. Kolodnenko, O. I. Dranik. Study of patterns of movement of freight vehicles on the bridge taking into account the signs.....48

V. O. Kravets, O. M. Kravets, S. V. Lapkovsky, V. K. Frolov, M. M. Gladyski, V. P. Prykhodko. Analysis of dimensional connections of robotic assembly system.....54

O. F. Kuzkin, D. Ya. Mukovska, I. M. Raida, L. A. Veremeienko. An optimization of operative automobile vehicle fleet management at the industrial enterprise.....63

V. M. Lytvynenko. Study of interdependence of electrical parameters of varicap.....72

L. I. Melnyk, O. M. Shnyruk, A. S. Oshoga. Composites based on volcanic fillers with various polymer matrix types.....77

A. V. Nesvidomin, S. F. Pilypaka, I. Yu. Hryshchenko, T. M. Volina, V. M. Babka. Relation between a hyperbola and an ellipse on the surface of a sphere.....84

S. V. Novytskyi, O. V. Zurian. Photoelectric converters. Types, efficiency.....92

L. M. Petrov, I. V. Kishianus, S. V. Verpivskyi, O. A. Malinovskiy, V. A. Nikishyn, S. V. Sheluhin. Elements of the theory of dynamic developed suspension military vehicle.....103

L. M. Petrov, Yu. M. Petryk. Elements of the theory of force loading by the torque moment of the vehicle wheel by the jet mail in the zone of its contact with the support surface.....110

B. I. Pryymak, M. M. Zhelinskyi, V. I. Teriaiev. Sensorless vector control of an electric vehicle induction motor with a fuzzy algorithm for speed observer adaptation.....115

A. V. Radionov, O. I. Alforov, N. V. Tarelnyk, V. V. Postolatii, M. A. Kuskov. Improving the reliability of asynchronous electric motors for agricultural production by implementing magnetic sealing technologies.....126

L. A. Frolova, O. S. Baskevich. Study of the influence of synthesis parameters on the properties of cobalt-nickel ferrit....134

O. G. Shibaev, H. M. Silvanskaya, S. V. Kruchek. Method of detecting influence factors passenger circulation in designing cruise lines.....140

O. Yu. Yurchenko, V. I. Sklabinskyi, O. G. Gusak. Methodology of experimental study of the spray torch at the exit of the basket of a rotary vibrating granulator.....150

Yu. V. Yurchenko, O. M. Suchek, V. A. Kurylo, O. V. Siora, M. V. Sokolovskyi, A. V. Bernatskyi. Development of laboratory equipment for manufacture of flat and cylindrical samples from thin sheet material using laser welding technology.....156

THE TECHNOLOGY OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY

L. V. Baldych, I. M. Martynova. Overview of methods and means of freezing berries in the process of recycling...161

O. M. Dombrovska, M. P. Artemenko. Formation of model combination series of the assortment structure of women's jackets in the conditions of customized production.....168

A. V. Zaiets, O. A. Andreyeva. Research of the structure and properties of acrylic polymers for leather liquid finishing...174

M. E. Ratsuk, T. A. Yurova, Ye. Ye. Kolnoshenko, D. A. Yatsenko. Comparative investigation of emulsion creams for the face.....180

INFORMATION TECHNOLOGIES

K. O. Antipova, V. S. Ralenko. Implementation of different types of tokenizers in transformer architecture for machine translation task.....	186
A. M. Afanasieva, V. M. Tkachov. Comparative analysis of methods for building high-mobility computer networks based on a swarm of UAVS.....	191
O. B. Berezhna, T. Yu. Andriushchenko. The role of IT innovations in shaping changes in the publishing industry of Ukraine.....	197
R. O. Bieliakov, O. D. Fesenko. Conceptual model of ground-air network management manet and fanet classes of special purpose.....	203
M. O. Volk, V. H. Labazov, D. O. Kiparenko, B. V. Parvalov, D. O. Shumov, I. A. Samoilov. Distributed computer simulation in cloud computing systems.....	211
D. L. Kyrychuk, A. V. Yatskevych, O. M. Liashenko. Design a software service for drafting claims “proshusud”.....	218
N. A. Kulykovska, A. V. Timenko, V. E. Trokhymchuk, M. B. Ilyashenko. Study on sentiment analysis methods for text data.....	225
D. V. Lubko, M. Yu. Miroshnichenko. Analysis of modern approaches and methodologies in the field of information and data protection.....	231
Yu. S. Manzhos, Ye. V. Sokolova. The Software Development Lifecycle of Cyber-Physical Systems.....	237
I. L. Mykheliev, Yu. O. Kazymyrenko, M. A. Matvyeyev. Algorithm of data exchange in simulation of thermal processes in gas turbine combustion chambers.....	246
I. M. Naumuk, O. V. Naumuk. Using cisco packet tracer as a tool for network infrastructure simulation in the training of software engineers.....	253
L. M. Oleshchenko, O. H. Melnychuk. Machine learning ensemble methods implementation for deceptive text detection.....	258
M. V. Onai, D. T. Hulko. Classification of methods for solving the elliptic curve discrete logarithm problem.....	264
B. V. Pashkovskiy, M. I. Slabinoha, M. V. Romaniv. Web application performance optimization with cqrs and horizontal scaling.....	272
O. I. Pronina, A. A. Polishchuk. Neural network modeling to determine the stage of alzheimer's disease.....	279
M. O. Rybalchenko, O. Yu. Potap, I. O. Manachyn, O. P. Yehorov. Remote stepper motor control system of the training transport line.....	287
A. O. Yarosh, O. V. Kudin. Neural network methods for solving elasticity problems.....	295

SERVICE SECTOR

N. V. Kolodnenko, T. V. Ustik. Features of marketing risk management as a means of improving the marketing policy of agribusiness companies.....	306
S. M. Kolontai, S. I. Atanasov. Management of sustainable development of the recreation and tourism sphere in conditions of uncertainty.....	314
Ya. I. Mandryk. The initial stage of the training of highly qualified managing engineers for the oil and gas industry of Galicia.....	320
Yu. O. Sokolova, I. V. Kochnova. Formation of price satisfaction of medical services’s consumers.....	325

PUBLIC MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

V. E. Arutiunian. The impact of social media on the efficiency of e-governance: review of existing research and future perspectives.....	330
V. V. Bazychenko. Current state of public administration in the sphere of national security.....	337
S. A. Horbachenko, N. A. Klevtsyevych. The role of cybersecurity in the implementation of circular economic models: risk and opportunity analysis.....	342
V. M. Demchenko. Accounting of factors the ukrainian language organic development in state language policy.....	349

Ya. M. Kazyuk, V. T. Ventsel. The financial capacity of territorial communities as the main element in ensuring the implementation of the powers of local self-government authorities.....	357
N. M. Kovalska. Dual essence of disputes in public administration.....	365
I. P. Lopuschynskyi, O. V. Pronina. Explosion of Kakhovskaya HPP: consequences for the environmental security of Ukraine.....	372
O. K. Liubchuk. Improvement of the instrumental component mechanism of the tourism attractiveness state management in Ukraine.....	378
O. V. Polovtsev, S. P. Khobzey. Use of mathematical apparatus in public administration of financial and economic processes at the national level.....	382
V. D. Filippova. Determinants of stress in the activities of civil servants.....	390

SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES

L. V. Borovik, T. Yu. Osadcha. Attracting investment as a way to enhance the development of entrepreneurship in Ukraine.....	397
---	-----

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 621.311.243

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.1>**О. В. АНДРОНОВА**

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

В. В. КУРАК

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

С. Р. СЄЛІВЕРСТОВА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання
і засобів автоматики
Херсонська державна морська академія
ORCID: 0000-0003-1015-1593

МОДЕЛЬ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ КОНТРОЛЕРОМ ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

В роботі запропонована модель автономної фотоелектричної системи з широтно-імпульсним контролером заряду акумуляторної батареї. Для побудови моделі використано програмне середовище Matlab/Simulink. Описано основні блоки, структуру та особливості побудови моделі, а також продемонстровано її можливості.

Проведено моделювання поведінки автономної фотоелектричної системи при зміні основних зовнішніх факторів, таких як потік енергії сонячного випромінювання та температура фотоелектричного модуля. Проаналізовано процеси, що відбуваються в системі під впливом зміни цих факторів, з'ясовано їх вплив на параметри окремих компонентів. Показано, що при збільшенні температури модуля та зменшенні потоку сонячної радіації напруга модуля наближається до напруги акумуляторної батареї, наслідком чого є підвищення ефективності широтно-імпульсного контролера заряду, що корелює з описаними в літературних джерелах результатами.

Продемонстровано можливість застосування розробленої моделі для дослідження роботи реальних автономних фотоелектричних систем в заданих кліматичних умовах. Здійснено моделювання роботи переносної автономної фотоелектричної станції «Турист-80 компакт» в кліматичних умовах Херсонської області протягом типової доби липня. На основі аналізу енергетичних показників, отриманих за результатами моделювання, встановлено, що дана автономна станція за добу здатна забезпечити споживання електричної енергії в обсязі 545 Вт год за умови допустимого розрядження акумуляторної батареї на 50%, а у випадку повного відновлення заряду акумуляторної батареї на кінець світлового дня споживання має бути зменшене до 305 Вт год, що є достатнім для 3 циклів заряджання мобільних телефонів, однієї години роботи портативного світлодіодного світильника та використання переносного автомобільного холодильника протягом 5,5 годин.

Ключові слова: фотоелектрична система, широтно-імпульсний контролер, моделювання, Matlab/Simulink, енергозабезпечення, ефективність.

O. V. ANDRONOVA

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

V. V. KURAK

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

S. R. SELIVERSTOVA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Operation
of Ship Electrical Equipment and Automation Systems
Kherson State Maritime Academy
ORCID: 0000-0003-1015-1593

A MODEL OF AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH A PULSE-WIDTH BATTERY CHARGE CONTROLLER

In this paper the model of autonomous photovoltaic system with a pulse-width battery charge controller is proposed. The Matlab/Simulink environment was used to build the model. The main blocks, structure and features of the model are described, and its capabilities are demonstrated.

The behavior of the autonomous photovoltaic system was simulated under variation of the main external factors, such as the solar energy flux and the temperature of the photovoltaic module. The processes taking place in the system under influence of changes in these factors were analyzed, and their effect on the parameters of the main components of the system was clarified. It is shown that when the temperature of the module increases and the solar flux decreases, the voltage of the module approaches the voltage of the battery, which results to increment in efficiency of the pulse-width charge controller. This outcome correlates with the results described in some literature sources.

The possibility of using the developed model to study of the real autonomous photovoltaic systems in specified climatic conditions is demonstrated. The operation of the "Tourist-80 Compact" portable autonomous photovoltaic station during a typical day of July in the climatic conditions of the Kherson region was simulated. Based on the analysis of the energy data obtained from the simulation, it was shown that under the condition of allowed battery discharge up to 50% this autonomous station is able to ensure the electric energy consumption of 545 W h of 545 W h per day, but in the case of full recovery of the battery charge during a light day it is needed to reduce the consumption to 305 W h, which is sufficient for 3 mobile phone charging cycles, one hour of a portable LED lamp operation, and exploitation of a portable car refrigerator during 5.5 hours.

Key words: *photovoltaic system, pulse-width controller, modeling, Matlab/Simulink, energy supply, efficiency.*

Постановка проблеми

На сьогодні в умовах частих аварійних відключень електромережі або тривалої відсутності електрики у деяких населених пунктах внаслідок руйнування енергетичної інфраструктури вирішення проблеми енергозабезпечення споживачів є як ніколи актуальним. З урахуванням високих цін на рідке паливо, що споживається традиційними системами на основі бензинових та дизельних генераторів, та зважаючи на сприятливий сонячний енергетичний потенціал України, економічно доцільним є застосування автономних фотоелектричних систем. Ринок обладнання пропонує вже готові компонування таких систем потужністю від сотень ват до десятків кіловат. Однак, для задоволення потреб конкретного споживача розробка фотоелектричної системи потребує індивідуального підходу, який дозволяє виявити найбільш оптимальні рішення щодо компонування систем енергозабезпечення з урахуванням кліматичних параметрів місцезнаходження об'єкту, з одного боку, та графіків навантаження споживача – з іншого.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розробка та оптимізація автономної фотоелектричної системи можлива з використанням сучасного програмного забезпечення, яке моделює роботу системи та дозволяє визначити щогодинну або щомісячну генерацію енергії і базується на використанні стандартних схемних рішень, кліматичної бази даних та бази обладнання [1; 2].

Втім, зміна схеми компонування фотоелектричної системи, врахування особливостей графіку навантаження споживача, його впливу на кількість та ефективність використання генерованої енергії є можливими лише за умов

імітаційного моделювання систем на основі відновлюваних джерел енергії, наприклад, у програмному середовищі Matlab/Simulink. Так, застосування цього програмного середовища дозволяє здійснювати як власну розробку окремих компонент фотоелектричної системи, так і оптимізувати вже існуючі схемні рішення, і, провівши моделювання створеної системи, визначити її параметри та характеристики, відслідковуючи їх зміни в залежності від зовнішніх факторів.

В роботах [3; 4] в Matlab/Simulink розроблено моделі фотоелектричного генератора, контролера заряду на основі підвищувального перетворювача постійної напруги з керуванням затвором транзистора за допомогою алгоритму збурення та спостереження (P&O) для пошуку точки максимальної потужності (MPP) та проведено моделювання роботи автономної фотоелектричної системи при різних умовах освітленості та температури. З метою підвищення ефективності перетворення пропонується для відстеження точки максимальної потужності використовувати алгоритм штучних нейронних мереж, що дозволяє скоротити час переходу до нового значення максимальної потужності модуля при зміні освітленості та/або температури оточуючого середовища [5]. Також в [6; 7] досліджено вплив топології фотоелектричної системи на її енергетичну ефективність, а на основі моделювання різних конфігурацій автономних фотоелектричних систем визначено оптимальний варіант для певних застосувань.

Більшість авторів пропонують схеми фотоелектричних систем з використанням MPP-контролера, які дозволяють підвищувати вироблення енергії фотоелектричними модулями. Однак застосування таких контролерів підвищує вартість фотоелектричної системи і зазвичай пропонується для систем потужністю від одиниць кіловат. Для автономних фотоелектричних систем невеликої потужності, наприклад, мобільних станцій для потреб туристів та військових, найчастіше використовують контролер заряду на основі широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [8]. Хоча ефективність такого контролера у порівнянні з MPP на 30% менша, він є дешевшим у 2÷5 рази, тому його використання виправдовує себе для малопотужних автономних фотоелектричних систем. Крім того, проводяться розробки більш ефективних ШІМ контролерів. Так, в роботі [9] запропоновано створення контролера заряду на основі реверсивного перетворювача постійної напруги та двох ШІМ-регуляторів напруги заряду та струму розряду акумуляторної батареї, що дозволяє підвищити точність керування циклуванням акумуляторної батареї і, таким чином, подовжити її термін експлуатації. Проведено розробку аналогового ШІМ контролера, що використовує алгоритм керування струмом із фіксованою частотою для зменшення електромагнітних перешкод у автономній фотоелектричній системі, показано, що такий контролер є більш економним через зменшене споживання енергії [8].

В розглянутих моделях автономних фотоелектричних систем навантаження моделюється зазвичай за допомогою блоків постійного або змінного опору, двигуна.

Загальною особливістю моделей фотоелектричних систем в програмному середовищі Matlab/Simulink є використання невеликих проміжків часу моделювання, як правило, від частки секунди до кількох десятків секунд, що є достатнім для визначення поточних значень параметрів системи та відстеження їх відгуку на зміну зовнішніх умов експлуатації. Задачі ж з моделювання роботи системи на більш тривалий час, приміром, протягом доби, як правило, не ставляться.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є розробка в середовищі MATLAB/Simulink моделі малопотужної автономної фотоелектричної системи на основі ШІМ контролера заряду для симуляції роботи системи в реальних умовах експлуатації, тобто в умовах змінних кліматичних параметрів та заданого добового профілю навантаження.

Викладення основного матеріалу дослідження

Вхідними параметрами, що впливають на роботу фотоелектричного модуля є надходження сонячної радіації на поверхню приймача та температура оточуючого середовища. Визначення погодинного надходження сумарної сонячної радіації на основі середньомісячних добових значень проводилось для ізотропної дифузної моделі випромінювання за методикою, представленою в [10] з використанням кліматичної бази даних NASA [11]. Профіль зміни температури протягом типової доби місяця визначався згідно ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [12]. Отримані часові ряди даних представлені у моделі системи блоками From Spreadsheet.

Модель фотоелектричного модуля представлена стандартним блоком PV Array, який використовує п'ятипараметричну модель фотоелектричного перетворювача (рис. 1) для визначення залежних від надходження радіації та температури вольт-амперних характеристик (ВАХ) модуля. При цьому струм I_d та напруга V_d діода пов'язані між собою наступним рівнянням:

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_d}{V_T}\right) - 1 \right],$$

$$V_T = \frac{kT}{q} n_i N_{cell},$$
(1)

де I_0 – струм насичення діода;
 n_I – коефіцієнт ідеальності діода;
 k – константа Больцмана;
 q – елементарний заряд;
 N_{cell} – кількість послідовно з’єднаних фотоелектричних перетворювачів у складі модуля.

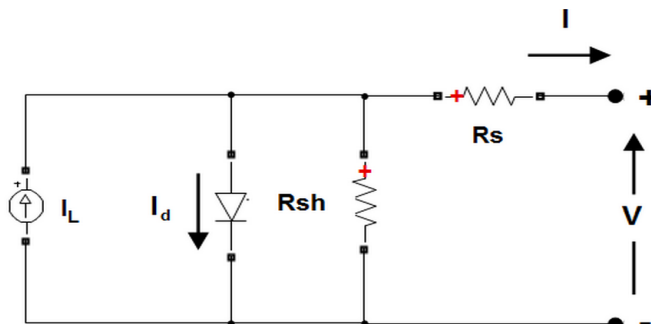


Рис. 1. Модель фотоелектричного модуля:
 I_L – фотострум; I_d – струм діода; R_{sh} – шунтуючий опір; R_s – послідовний опір

Для моделювання роботи фотоелектричного модуля програма обчислює параметри його ВАХ на основі введених користувачем вхідних даних, що відповідають стандартним умовам випробувань (STC). В якості вхідних використовуються наступні параметри модуля: максимальна електрична потужність, струм короткого замикання, напруга холостого ходу, напруга та струм в точці максимальної потужності, температурні коефіцієнти напруги та струму.

Еквівалентна схема акумуляторної батареї реалізується в блоці Battery. Представлення конкретного типу акумуляторної батареї здійснюється на основі її розрядних характеристик, які поділяються на три основні ділянки (рис. 2, а). Перша ділянка характеризується експоненціальним падінням напруги зарядженої акумуляторної батареї. Друга характеризує ємність батареї при розряді до номінальної напруги. Третя ділянка описує повний розряд зі стрімким зменшенням напруги. Параметри моделі, визначені з розрядних характеристик, використовуються для розрахунку характеристик заряду акумуляторної батареї (рис. 2, б).

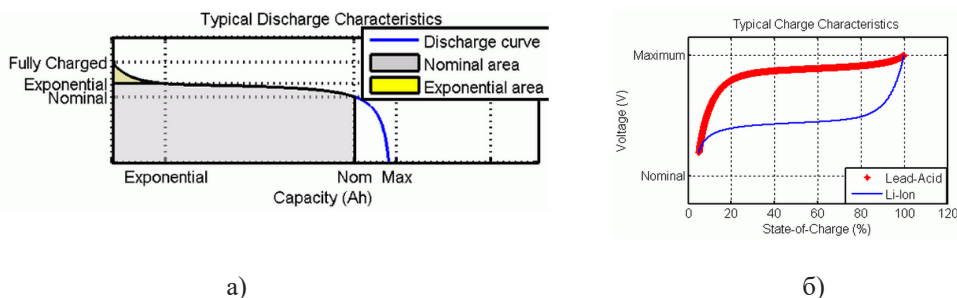


Рис. 2. Розрядна (а) та зарядна (б) характеристики акумуляторів

Контролер заряду на основі ШІМ використовується в тих випадках, коли напруга акумуляторної батареї є близькою до напруги фотоелектричного модуля. Схема контролера заряду використовує польовий транзистор Mosfet і діоди з бібліотеки SimElectronics. Затвор Mosfet управляється функціональним блоком Matlab, де записаний алгоритм керування шпаруватістю імпульсів (рис. 3). Значення робочого циклу D ШІМ-сигналу, що подається на затвор, змінюються відповідно до напруги модуля V та напруги батареї V_b , і забезпечує триступеневе заряджання свинцевої акумуляторної батареї. Блок PWM Generator використовується для генерації імпульсів відповідно до поточного значення робочого циклу, отриманого з функціонального блоку. Діоди підключені для запобігання протіканню зворотного струму від акумуляторної батареї до фотоелектричного модуля (рис. 4).

```
function D = pwm(V, Vb)

if ((V>Vb) && (Vb<=10.8))
    D=0.8;
elseif ((V>Vb) && (Vb>10.8) && (Vb<=12))
    D=0.2;
elseif ((V>Vb) && (Vb>12) && (Vb<=15))
    D=0.1;
else
    D=0.1;
end
```

Рис. 3. Код у функціональному блоці Matlab

Навантаження представлено блоком керованого ідеального джерела струму Controlled current source, сигнал на який подається з блоку From Spreadsheet. Керуючий сигнал, що являє собою струм навантаження у амперах, визначається з добового графіку споживання шляхом ділення поточної потужності навантаження на напругу акумуляторної батареї та, при наявності навантаження змінного струму, на кд інвертора.

Розроблена модель автономної фотоелектричної системи представлена на рис. 4. Для складання енергетичного балансу в фотоелектричній системі в модель впроваджено калькулятори, що здійснюють облік енергії, генерованої фотоелектричними модулями, споживаної навантаженням та накопиченої в акумуляторній батареї. Роботу цих калькуляторів організовано на основі блоків Discrete-Time Integrator. Для визначення енергії сонячного випромінювання, що надходить до системи, використано блок-множник, що містить дані щодо площі фотоелектричного модуля.

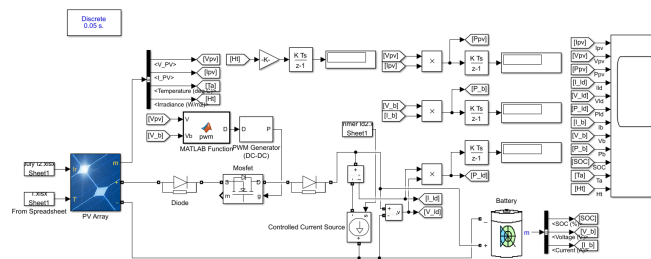


Рис. 4. Модель автономної фотоелектричної системи в програмному середовищі Matlab/Simulink

Апробація розробленої моделі проводилась на прикладі переносної автономної фотоелектричної системи «Турист-80 компакт», що складається з монокристалічного модуля Axioma energy AX – 80М, інвертора напруги 12/220В 1200Вт з модифікованою синусоїдою, акумулятора Merlion AGM GP12400M6 напругою 12В ємністю 40А год, ШІМ контролера 10А 12/24В з вбудованим USB-виходом для заряджання мобільних пристроїв. Результати моделювання роботи цієї фотоелектричної системи в умовах STC для випадку початкового ступеня зарядженості акумуляторної батареї 50% та відсутності споживання електричної енергії навантаженням представлено на рис. 5.

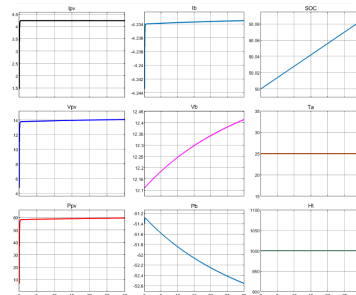


Рис. 5. Зміна в часі параметрів системи при постійному опроміненні та температурі при відсутності споживання енергії навантаженням (по осі абсцис відкладено час, с):
 I_{PV}, V_{PV}, P_{PV} – струм, напруга та потужність фотоелектричного модуля; I_b, V_b, P_b, SOC – струм, напруга, потужність та ступінь зарядженості акумуляторної батареї; T_a – температура;
 H_t – надходження сонячної радіації

Як видно з аналізу графіків, представлених на рис. 5, заряджання акумуляторної батареї супроводжується збільшенням напруги як на самій батареї, так і на фотоелектричному модулі. Наявність взаємозв'язку між цими напругами призводить до того, що робоча точка на характеристиці потужності модуля з часом зміщується і не співпадає з його точкою максимальної потужності (для модуля Axiotm energy AX – 80M ця точка відповідає напрузі 20 В та струму 4,01 А), наслідком чого є втрати генерованої потужності, які становлять близько 20 Вт. Ефективність контролера заряду, визначена як відношення потужності на акумуляторній батареї до потужності, розвиненої фотоелектричним модулем, в такому режимі становить 87,6%.

Моделювання для більш тривалого часу показало, що при заряджанні акумуляторної батареї протягом 1 год різниця напруг між батареєю і модулем зменшується з 1,7 В до 1,5 В, а ефективність ШІМ-контролера при цьому зростає до 89,2%. Отже, зменшення різниці напруг між акумуляторною батареєю і модулем призводить до збільшення ефективності ШІМ-контролера.

Для визначення впливу температури на параметри автономної фотоелектричної системи проведено моделювання її роботи при постійному опроміненні 1000 Вт/м² та зміні температури від 0 до 40°C (рис. 6).

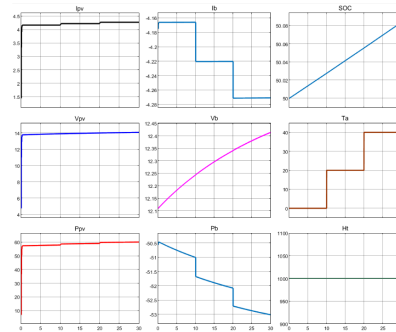


Рис. 6. Параметри системи при постійному опроміненні та змінній температурі

Зростання температури призводить до збільшення генерованої потужності модуля, що пов'язано з наближенням напруги на модулі (14,08 В) до точки максимальної потужності (18,55 В), яка зі збільшенням температури також зміщується в область нижчих напруг. Збільшенню електричної потужності модуля сприяє і зростання генерованого ним струму (рис. 7).

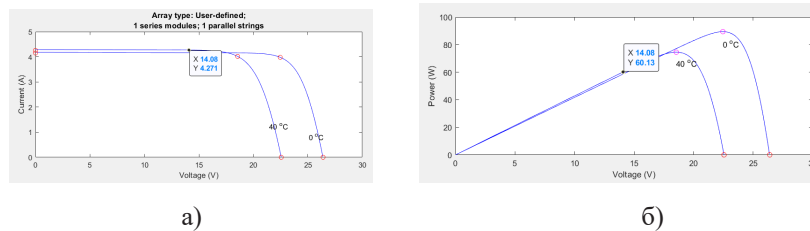


Рис. 7. Вольт-амперна характеристика (а) та характеристика потужності (б) модуля при температурах 0°C та 40°C

Ефективність ШІМ-контролера заряду в температурному діапазоні від 0С до 40°C збільшується від 87,1% до 88,3%. Тобто, зі збільшенням температури модуля ефективність контролера заряду на основі ШІМ підвищується, що корелює з результатами досліджень [13].

Проведено моделювання параметрів системи для умов зміни густини потоку сонячного випромінювання від 1000 Вт/м² до 400 Вт/м² при постійній температурі модуля 25°C (рис. 8), а також моделювання ВАХ та характеристик потужності фотоелектричного модуля (рис. 9).

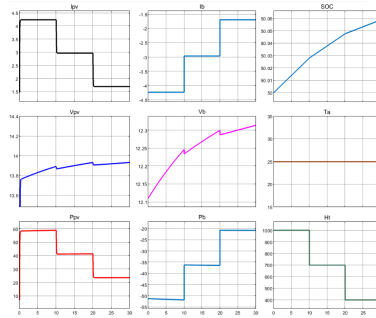


Рис. 8. Параметри системи при змінному опроміненні та постійній температурі

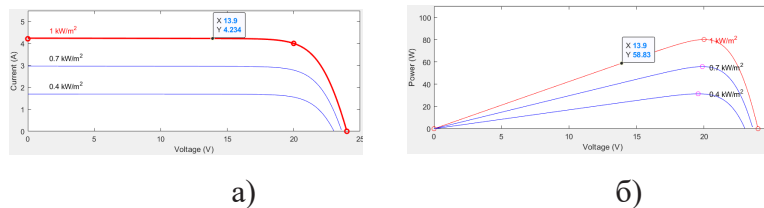


Рис. 9. Вольт-амперні характеристики (а) та характеристики потужності (б) в різних умовах опромінення

Зменшення густини потоку сонячної радіації призводить до зниження потужності модуля та незначного підвищення ефективності контролера заряду від 88,15% до 88,3%, що пояснюється наблизенням напруги на модулі до точки максимальної потужності.

Отже, контролери заряду на основі ШІМ демонструють більшу ефективність при наблизенні поточної напруги модуля до точки максимальної потужності, що може відбуватися внаслідок збільшення температури модуля або зменшення густини потоку сонячного випромінювання, а також при наблизенні номінальної напруги модуля до номінальної напруги акумуляторної батареї.

З метою дослідження поведінки моделі при зміні зовнішніх факторів, що відповідають реальним умовам експлуатації автономної фотоелектричної системи, проведено моделювання роботи цієї системи для типової доби липня. В якості вхідних даних приймалися кліматичні показники, що відповідають Херсонській області. Добовий графік навантаження системи формувався споживачами постійного струму: два зарядні пристрої потужністю 10 Вт (4 год), один – потужністю 20 Вт (1 год), автохолодильник 45 Вт (8 год) та LED-світільних споживаною потужністю 4 Вт (1 год). Розподіл потоків енергії в автономній фотоелектричній системі протягом типової доби липня представлено на рис. 10. Потік згенерованої фотоелектричним модулем енергії перерозподіляється між навантаженням та акумуляторною батареєю, яка може або заряджатися (АКБ, негативні значення), якщо споживання є меншим за кількість виробленої модулем енергії, або віддавати запасену енергію до навантаження (АКБ, позитивні значення) у разі нестачі чи відсутності надходження сонячного випромінювання.

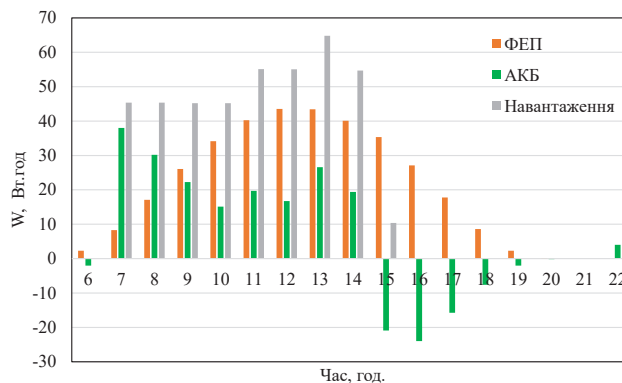


Рис. 10. Споживання, генерація та акумулювання енергії

За добу фотоелектричними модулями генерується 346,5 Вт год енергії, а витрачається на енергозабезпечення споживачів 425,1 Вт год, причому з акумулятора споживається 119,5 Вт год енергії. Добові енергетичні втрати в акумуляторній батареї та контролері заряду становлять 40,9 Вт год або 12% від генерованої енергії.

Середньодобове значення ефективності фотоелектричного модуля для типової доби липня становить 13%, а ефективність перетворення сонячної енергії системою в цілому складає 11,5%, що узгоджується з даними з експлуатації фотоелектричних систем.

На основі отриманих даних визначено максимальне добове навантаження для автономної фотоелектричної системи «Турист-80 компакт». Так, за умови допустимого розрядження акумуляторної батареї на 50% система здатна забезпечити 545 Вт год енергії для живлення навантаження, що дозволяє здійснити близько 3 заряджання мобільних телефонів, годину роботи світлодіодної лампи та 10 годин роботи автомобільного холодильника. Втім, у випадку відновлення заряду акумуляторної батареї на кінець світлового дня споживання має бути зменшене до 305 Вт год, що забезпечується скороченням часу роботи холодильника до 5,5 год./добу.

Отже, запропонована модель автономної фотоелектричної системи коректно враховує мінливість зовнішніх умов експлуатації, зміну навантаження та дозволяє визначати режимні параметри компонентів системи в будь-який момент часу. Модель забезпечує можливість проведення аналізу ефективності процесів перетворення енергії в системі на різних стадіях, що значно спрощує процес оптимізації параметрів окремих елементів фотоелектричної системи та режимів використання виробленої енергії в наперед заданих умовах експлуатації.

Висновки

В Matlab/Simulink розроблено модель автономної фотоелектричної системи з ШІМ-контролером заряду акумуляторної батареї. Модель дозволяє визначати електричні та енергетичні характеристики системи при змінних умовах експлуатації, як то температура оточуючого середовища, надходження сонячної радіації та навантаження.

Проведено моделювання впливу температури та потоку сонячного випромінювання на параметри автономної фотоелектричної системи. Показано, що ефективність контролеру заряду на основі ШІМ підвищується при збільшенні температури модуля, зменшенні потоку сонячної радіації та при наблизненні напруги модуля до напруги акумуляторної батареї.

Промодельовано роботу переносної автономної фотоелектричної системи «Турист-80 компакт» в кліматичних умовах Херсонської області протягом типової доби липня при наперед заданому графіку навантаження. Визначено, що в середньому за добу ефективність перетворення сонячної енергії системою становить 11,5% при середньодобовому значенні ефективності фотоелектричного модуля 13%. Показано, що запропонована модель дозволяє оптимізувати компонування системи та режими використання виробленої енергії.

Список використаної літератури

1. NREL. System Advisor Model (SAM) [Electronic resource]. Access mode: <https://sam.nrel.gov/> (last access: 15.01.24). Title from the screen.
2. Government of Canada. RETScreen [Electronic resource]. Access mode: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-ets/retscreen/7465> (last access: 16.01.24). Title from the screen.
3. Mohamed Louzazni, El Hassan Aroudam, Hanane Yatimi Modeling and Simulation of A Solar Power Source for a Clean Energy without Pollution. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. Vol. 3. No. 4. 2013. P. 568–576. DOI: 10.11591/ijece.v3i5.3639
4. Bennacer El Hassouni, Ali Haddi , Abdellatif Ghacham Amrani Modeling and simulation of an autonomous PV Generator dedicated to supply an agricultural pumping station. *Energy Procedia*. Vol. 139. 2017. P. 153–160. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.11.189
5. Fousseyni Toure A., Tchhoffa D., El Mhamedi A., Diourte B., Lamolle M. Modeling and Control Maximum Power Point Tracking of an Autonomous Photovoltaic System Using Artificial Intelligence. *Energy and Power Engineering*. Vol. 13. No. 12. 2021. P. 428–447. DOI: 10.4236/epe.2021.1312030
6. Mouhoub Birane, Abdelghani Chahmi Comparative Study And Simulation Analysis For Two Models Of Autonomous Application For Photovoltaic System. *1st International Symposium on Materials, Energy and Environment*. Jan. 20–21st. 2020. El Oued. Algeria.
7. Nicola A., Vitan C., Aron C., Matei D., Grecea I. Study of Photovoltaic Systems Using Modelling and Simulation. *MATEC Web of Conferences*. Vol. 342. 2021. 03007 (11). DOI: 10.1051/mateconf/202134203007
8. Mohammad Shariful Islam, Hasmairi Mohamad, Mohammad Noor S.Z. Development of a New Controller for Solar Home System: PWM Charge Controller & DC to DC Converter (12V to 120V). *Journal of Electrical and Electronic Systems Research*. Vol. 20. 2022. P. 41–50. DOI: 10.24191/jeesr.v20i1.006
9. Ben Si Ali N., Ghoudelbourk S., Zerzour N. Battery Storage System Design Using PWM Current and Voltage Controllers. *European Journal of Electrical Engineering*. Vol. 24. No. 4. 2022. P. 195–200. DOI: 10.18280/ejee.240404
10. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
11. Power data access viewer [Electronic resource]. Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (last access: 25.11.2023). Title from the screen.
12. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні: ДСТУ Б А.2.2-12:2015. К.: Мінрегіон України, 2015. 136 с.

13. Ashita Victor, Dharmendra Kumar Mahato, Amit Pundir, Geetika Jain Saxena Simulation, Design and Analysis of Different Types of Solar Based Charge Controllers on MATLAB/Simulink. *International Journal of Engineering Research and Technology*. Vol. 14. No. 2. 2021. P. 180–197.

References

1. NREL. System Advisor Model (SAM). Available at: <https://sam.nrel.gov/> (accessed 15.01.24).
2. Government of Canada. RETScreen. Available at: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> (accessed 16.01.24).
3. Mohamed Louzazni, El Hassan Aroudani, Hanane Yatimi (2013) Modeling and Simulation of A Solar Power Source for a Clean Energy without Pollution. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 3, No. 4, 2013, pp. 568–576. DOI: 10.11591/ijece.v3i5.3639
4. Bennacer El Hassouni, Ali Haddi, Abdellatif Ghacham Amrani (2017) Modeling and simulation of an autonomous PV Generator dedicated to supply an agricultural pumping station. *Energy Procedia*, Vol. 139, 2017, pp. 153–160. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.11.189
5. Fousseyni Toure A., Tchhoffa D., El Mhamedi A., Diourte B., Lamolle M. (2021) Modeling and Control Maximum Power Point Tracking of an Autonomous Photovoltaic System Using Artificial Intelligence. *Energy and Power Engineering*, Vol. 13, No. 12, 2021, pp. 428–447. DOI: 10.4236/epe.2021.1312030
6. Mouhoub Birane, Abdelghani Chahmi (2020) Comparative Study And Simulation Analysis For Two Models Of Autonomous Application For Photovoltaic System. *1st International Symposium on Materials, Energy and Environment*, Jan. 20–21st; 2020, El Oued, Algeria.
7. Nicola A., Vitan C., Aron C., Matei D., Grecea I. (2021) Study of Photovoltaic Systems Using Modelling and Simulation. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 342, 2021, 03007 (11). DOI: 10.1051/mateconf/202134203007
8. Mohammad Shariful Islam, Hasmainsi Mohamad, Mohammad Noor S.Z. (2022) Development of a New Controller for Solar Home System: PWM Charge Controller & DC to DC Converter (12V to 120V). *Journal of Electrical and Electronic Systems Research*, Vol. 20, 2022, pp. 41–50. DOI: 10.24191/jeesr.v20i1.006
9. Ben Si Ali N., Ghoudelbourk S., Zerzour N. (2022) Battery Storage System Design Using PWM Current and Voltage Controllers. *European Journal of Electrical Engineering*, Vol. 24, No. 4, 2022, pp. 195–200. DOI: 10.18280/ejee.240404
10. Duffie J.A. (2013) *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
11. Power data access viewer. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed 25.11.2023).
12. Enerhetychna efektyvnist' budivel'. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pry opalenni, okholodzhenni, ventylyatsiyi, osviltleni ta haryachomu vodopostachanni [Energy efficiency of buildings. The method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]: DSTU B A.2.2-12:2015. K.: Minrehion Ukrayiny, 2015. 136 p.
13. Ashita Victor, Dharmendra Kumar Mahato, Amit Pundir, Geetika Jain Saxena (2021) Simulation, Design and Analysis of Different Types of Solar Based Charge Controllers on MATLAB/Simulink. *International Journal of Engineering Research and Technology*, Vol. 14, No. 2, 2021, pp. 180–197.

С. В. ГАЙДУКЕВИЧстарший викладач кафедри електротехнологій
та експлуатації енергообладнанняВідокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів
і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ORCID: 0000-0001-5910-5921

Н. П. СЕМЕНОВАстарший викладач кафедри електротехнологій
та експлуатації енергообладнанняВідокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів
і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

ORCID: 0000-0002-8478-9429

ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ З УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗБАЛАНСОВАНОГО КОРМОПРИГОТУВАННЯ ДЛЯ СВИНЕЙ

Підвищення рентабельності господарства по вирощуванню дешевої та високоякісної свинини можливе за рахунок суттєвого удосконалення та впровадження передових сучасних технологій. Оскільки підвищення продуктивності та зниження рівня собівартості виготовленої продукції знаходяться в прямій залежності від науково обґрунтованого балансування раціонів за вмістом поживних речовин та кількістю енергії, що в свою чергу впливає на ефективність відгодівлі. Тому основною умовою інтенсивного розвитку свинарства є правильна організація виготовлення високоякісного повноцінного корму до якої висуваються надто великі вимоги.

Актуальним питанням залишається виготовлення високоякісного корму, так як прибуткове виробництво свинини перебуває у прямій залежності від забезпечення тварин кормами.

Новітні технології процесу виготовлення збалансованих кормів для годування свиней на етапі дорощування і відгодівлі мають забезпечити підвищення фізико-хімічних властивостей корму з метою покращення його перетравності та засвоєння організмом тварин поживних і цінних речовин.

В статті розглядається, як альтернатива класичній технології, удосконалена лінія приготування збалансованої кормової суміші для свиней, яка ґрунтується на використанні сучасної технології екструдуювання, де робочим органом процесу являється екструдер, що має вплив на підвищення поживної цінності корму на відміну традиційним дробаркам.

В модернізованій технології запропоновано при кормоприготуванні в одному пристрої поєднати традиційні процеси змішування, подрібнення та термічної обробки сировини для годування тварин.

Досконала організація раціональної кормової бази за рахунок удосконалення технології приготування корму здатна підвищити ефективність процесу кормоприготування, що в кінцевому результаті понизить собівартість і підвищить рентабельність господарств, які займаються вирощуванням свинини.

Ключові слова: ефективність, збалансований корм, свині, екструдер, фізико-хімічні властивості, технологія.

S. V. HAIDUKEVYCHSenior Lecturer at the Department of Electrical Technology
and Operation of Power EquipmentSeparated Subdivision of the National University of Bioresources
and Nature Management of Ukraine "Berezhansky Agrotechnical Institute"

ORCID: 0000-0001-5910-5921

N. P. SEMENOVASenior Lecturer at the Department of Electrical Technology
and Operation of Power EquipmentSeparated Subdivision of the National University of Bioresources
and Nature Management of Ukraine "Berezhansky Agrotechnical Institute"

ORCID: 0000-0002-8478-9429

TECHNICAL SOLUTIONS FOR IMPROVING THE TECHNOLOGY OF BALANCED FEED PREPARATION FOR PIGS

Increasing the profitability of the farm for growing cheap and high-quality pork is possible due to significant improvement and introduction of advanced modern technologies. Since the increase in productivity and the decrease in

the cost of manufactured products are directly dependent on the scientifically based balancing of rations by the content of nutrients and the amount of energy, which in turn affects the efficiency of fattening. Therefore, the main condition for the intensive development of pig farming is the correct organization of the production of high-quality, complete fodder, to which too great demands are made.

Production of high-quality fodder remains an urgent issue, as profitable pork production is directly dependent on providing animals with fodder.

The latest technologies in the process of manufacturing balanced fodder for feeding pigs at the stage of rearing and fattening should ensure an increase in the physicochemical properties of the fodder in order to improve its digestibility and assimilation of nutrients and valuable substances by the animal's body.

The article considers, as an alternative to the classical technology, an improved line for the preparation of a balanced fodder mixture for pigs, which is based on the use of modern extrusion technology, where the working body of the process is the extruder, which has the effect of increasing the nutritional value of the feed, unlike traditional crushers.

In the modernized technology, it is proposed to combine the traditional processes of mixing, grinding and heat treatment of raw materials for feeding animals in one device during fodder preparation.

The perfect organization of a rational fodder base due to the improvement of fodder preparation technology can increase the efficiency of the fodder preparation process, which will eventually reduce the cost price and increase the profitability of farms engaged in pork breeding.

Key words: *efficiency, balanced feed, pigs, extruder, physicochemical properties, technology.*

Постановка проблеми

Виробництво свинини один із прибуткових напрямів галузі тваринництва, що забезпечує населення країни найбільш затребуваними високоякісними продуктами харчування. Не зважаючи на інтенсивний розвиток свинарства для підвищення ефективності виробництва необхідно господарства спроваджувати на новітні рейки розвитку за рахунок удосконалення та впровадження інноваційних технологій. Багато факторів впливає на перспективний розвиток свинарства, але одним із головних складових у вирощуванні свиней відіграє раціональне та повноцінне годування, яке залежить від правильного формування раціонів, підвищення якості корму, створення високоефективної кормової бази, покращення технології виготовлення збалансованих кормів та використання інноваційних високотехнологічних систем. Оскільки вирощування молодняка під час інтенсивного росту потребує підвищеної кількості поживних речовин [1, с. 165]. Годівля свиней дає можливість підвищити їх продуктивність, зокрема молодняка на дорощуванні завдяки науково обґрунтованому балансуванню раціонів за вмістом енергії і кількістю поживних і біологічно активних речовин [2, с. 54].

Тільки завдяки дотримання сучасних технологій та наявності відповідного обладнання для виготовлення повноцінного збалансованого корму можна досягти підвищення продуктивності свинарства. Оскільки чим більше корм буде відповідати за вмістом поживних речовин, кількістю енергії і за своїми фізико-механічними властивостями потребам тварин, тим буде вище ефективність його використання [3, с. 74].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Юлевич О. І., Калиниченко Г. І., Одинцов Г. А. запевнили, що в країні проведена значна кількість досліджень, які спрямовані на підвищення біологічної цінності кормів за рахунок балансування за амінокислотним складом [1, с. 165]. Оскільки важливим фактором у формуванні захисних механізмів є повноцінна годівля тварин [4, с. 136].

Левченко М. В., Єгоров Б. В., Вербич І. В., Братковська Г. В. та інші переконані щодо ефективності годування свиней на дорощуванні та відгодівлі кормами виготовленими експандованим способом, оскільки різноманітні види зернових культур у звичайному вигляді хоча містять велику кількість енергії, але не забезпечують потреби тварин у білку та амінокислотах, а соя та кормові боби не дивлячись на свої кормові цінності у звичайному вигляді містять ряд антипоживних речовин, які знижують цінність корму.

Тому на сьогодні залишається не вирішеним питанням пошуку найефективнішої технології процесу виготовлення збалансованих кормів для годування свиней на дорощуванні і відгодівлі з метою підвищення фізико-хімічних властивостей корму, покращення його перетравності та засвоюваності організмом тварин поживних і цінних речовин.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження – обґрунтування технічних рішень для підвищення ефективності виробництва свинини в результаті удосконалення технології приготування збалансованого корму.

Виклад основного матеріалу дослідження

Одним із визначальних показників рентабельності виробництва з вирощування свиней є ефективність відгодівлі, тобто визначення витрати корму на один кілограм приросту свинини в живій масі. Тому суттєвою та обов'язковою умовою підвищення ефективності є організація раціональної кормової бази, що веде до вдосконалення відомих на сьогодні технологій приготування корму. Найефективніше застосовувати технологію приготування сухих кормів із зерна (пшениці, ячменю, сої та ін.) вирощеного на власних земельних угіддях, які екстрагуються та змішуються у відповідних пропорціях з кормовими добавками [5, с. 84].

Як показали дослідження багатьох науковців підвищення ефективності галузі тваринництва значною мірою обумовлене удосконаленням існуючих та розробкою нових технологій виробництва продукції [6, с. 168]. Одним

із способів нейтралізації токсичної дії антипоживних речовин присутніх у зерні, є баротермічний спосіб – обробка зерна на екструдері [7, с. 127]. Тому, з метою рентабельності, не враховуючи складність економічних умов, ведеться безперервна робота по впровадженню нетрадиційних методів виготовлення збалансованих кормів. Насьогодні першочерговим та актуальним питанням, до якого висуваються великі вимоги, є сучасний підхід до організації виготовлення високоякісного повноцінного корму. Оскільки виробництво свинини перебуває у прямій залежності від забезпечення тварин кормами [8, с. 30].

Як альтернатива класичній технології запропоновано технічні рішення з удосконалення технологічного процесу виготовлення збалансованого корму для тварин, що ґрунтуються на використанні екструдера, який на відміну традиційним дробаркам має вплив на поліпшення смакових якостей та підвищення поживної енергетичної цінності кормової суміші.

В модернізованій технології (рис. 1) збалансованого кормоприготування для свиней поєднуються в одному пристрої стандартні процеси змішування, подрібнення та термічна обробка сировини. Ця розробка ґрунтується на принципово нових технічних рішеннях, які спрямовані не тільки на фізико-механічні перетворення корму, але й на зміну його структури з метою підвищення поживних властивостей, що відповідають фізіологічним потребам тварин, та покращення перетравності. Якість таких кормів визначається їхніми фізичними властивостями, харчовою цінністю, точною відповідністю своєму призначенню і чистим бактеріологічним статусом [9, с. 30]. Структура технологічної лінії визначалася за складом кормового раціону, способом підготовки деяких компонентів і зоотехнічними вимогами до показників якості їх обробки. Передбачено введення до кормової суміші білково-вітамінно-мінеральних добавок в залежності від прописаного рецепту.

Суть процесу екструдуювання полягає у вологотермічній обробці кормового матеріалу під дією тиску 2,8–3,9 МПа при температурі 120–160 °С. Процес екструдуювання забезпечує: модифікацію та гідроліз крохмалю; інактивацію антипоживних речовин; підвищення засвоєності корму до 25%; вплив на збереження біологічно активних речовин; зниження мікробіологічної дії на кормовий матеріал; зміну органолептичних властивостей корму; зменшення енергетичних та трудових витрат; утворення структурованого корму, який володіє високими споживними та смаковими якостями.

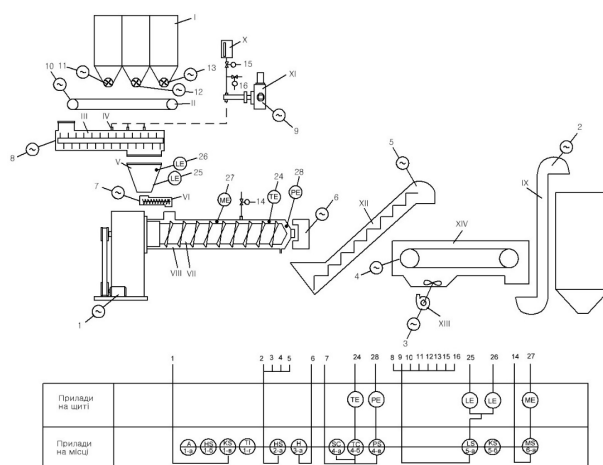


Рис. 1. Функціонально-технологічна схема лінії виготовлення збалансованого корму
I – бункери з різним видом кормового матеріалу; II – транспортер компонентів;
III – змішувач-дозатор; IV – форсунки; V – бункер накопичувач екструдера; VI – живильник;
VII – головний шнек екструдера; VIII – корпус шнека; IX – вивантажувальна норія;
X – добавки; XI – плунжерний насос; XII – транспортер подачі екструдованого матеріалу
в охолоджувач; XIII – вентилятор охолоджувача; XIV – сушильна установка

Кормовий матеріал для підготовки корму, відповідно до раціону господарства, складається з декількох компонентів, враховуючи їх хімічний та амінокислотний склад. Кожний вид кормового матеріалу заздалегідь засипається у відповідний бункер I. З кожного окремого бункера кормові компоненти одночасно подаються на транспортер II, який, в свою чергу, неоднорідну сипучу масу транспортує у змішувач-дозатор III. У змішувачі маса зволожується, переміщується і збагачується вітамінно-кормовими добавками X у суворо заданій кількості. Одержана суміш поступає в бункер накопичувач екструдера V, маса якої контролюється датчиками рівня. Потім суміш живильником VI дозується у робочу камеру VIII, де шнеком VII, що служить робочим органом екструдера, просуває цю суміш уздовж камери.

Продуктивність і стійкість роботи залежить від конструкції і розмірів шнека. Робота екструдера являється безперервною, оскільки своєчасно довантажується кормовою сировиною.

Робочий орган екструдера (рис. 2) умовно поділяють на зону приймання сировини, зону стиснення, її ще називають зоною клейстеризації, зону гомогенізації і зону екструзії. Сипкий продукт у робочій камері VIII рухається по складній траєкторії. В зоні приймання сипка сировина захвачується шнеком і заповнюється його міжвитковий об'єм. Шнек обертається двигуном, частинки кормового матеріалу переміщуються в основному поступально, а відповідно обертового руху вони утримуються силою власної ваги.

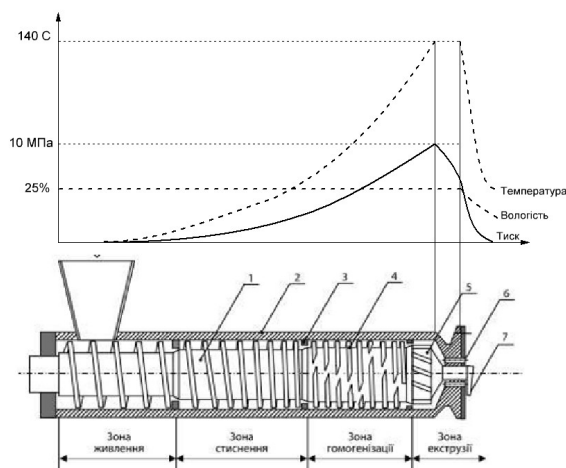


Рис. 2. Процеси, що виникають в робочому органі

1 – робочий орган екструдера (шнек); 2 – корпус шнека; 3 – гріюча шайба;
4 – шнековий виток; 5 – лопатки в гомогенізаторі; 6 – фільтр; 7 – відсікач

Підвищується ступінь стиску, який можна визначити відношенням площі перерізу робочої камери до сумарної площі фільтр на виході готового продукту з матриці. Відбувається часткове руйнування кліткової архітектури кормового продукту, текстури і структури його природних компонентів – крохмального і целюлозно-лігнінового.

В зоні стиснення кормова маса перемішується і помаленьку ущільнюється, заповнюючи ще вільні міжвиткові об'єми робочого органу. Внаслідок зменшення проміжків між частинками кормової суміші проходить витіснення значної кількості повітря.

В зоні гомогенізації в результаті збільшення тиску і тертя продукту з робочим органом підвищується температура, яка діє на воду, при цьому виділяється волога пара. Продукт, який поступає в цю зону, переходить із сипучого дисперсного стану у в'язкотекучу масу. Проходять структурні перетворення в деяких біополімерах: білка, крохмалю, клітковини.

Шнек інтенсивно перемішуючи і проминаючи матеріал просуває його поближе до виходу. Під дією тиску кормовий матеріал переходить у пружно-в'язкопластичний стан. Розтирання частинок і створення однорідної структури матеріалу проходить під дією внутрішнього тертя. Оскільки процес переміщення і пресування характеризується тим, що безпосередньо дотичні шари матеріалу мають різні швидкості, в результаті чого між ними діє напруження зсуву.

Спресована маса поступає в зону екструзії. Утворена маса переміщується шнеком до матриці і при відповідному тиску випресовується через отвори матриці на зовні. Маса швидко переходить з зони високого тиску в атмосферний тиск. В результаті різкого перепаду тиску і температури на виході кормового продукту з отворів матриці створюється миттєве випаровування вологи. Енергія, яка в результаті проходження процесу акумулювалася продуктом вивільнюється з великою швидкістю, приблизно рівною швидкості вибуху, тобто проходить вибух кормової суміші, що приводить до збільшення обсягу екструдату та пористості його структури. При цьому у вихідному матеріалі створюються глибокі перетворення: розрив клітинних стінок і хімічних зв'язків, деструкція й гідроліз, крохмальні зерна розриваються, білки частково денатуруються, а деякі токсини нейтралізуються. Це підвищує живильну і кормову цінність вихідного продукту та його механічні і смакові якості, зокрема знищується патогенна мікрофлора.

Одержаний екструдат (рис. 3) транспортером XII подається в сушильну установку XIV де за допомогою вентилятора охолоджується. Сушильна установка може бути барабанного або горизонтального типу. Потім за допомогою вивантажувальної норії IX охолоджений екструдат подається в кормороздавач або накопичувальний бункер.



Рис. 3. Загальний вигляд екструдату

Процес відбувається безперервно до тих пір поки у підготовчих бункерах I (рис. 1) не закінчиться кормовий матеріал.

Контроль технологічного процесу екструдування ведеться за температурою, тиском і вологістю. За датчиками рівня кормової суміші в бункері накопичувачі екструдера V здійснюється керування роботою бункерів з різними видами кормового матеріалу I; транспортера компонентів II; змішувача-дозатора III.

Під час виконання технологічного процесу екструдування кормової суміші діють різноманітні фактори, які безпосередньо впливають на процес (рис. 4). Вхідними величинами є початкова вологість і температура кормової суміші, швидкість подачі суміші в робочу камеру екструдера, маса кожного компоненту суміші. Створюваний тиск в робочій зоні екструдера залежить від діаметру отворів матриці. Заміною фільтрів, швидкістю подачі кормового матеріалу і швидкістю обертання шнеку можна регулювати тиск і температуру робочої зони. Найбільш оптимальними параметрами екструзійної обробки є температура 150–160 °С і тиск, що забезпечується швидкістю обертання шнеку 300 об/хв. Вихідними величинами є час проходження технологічного процесу, вологість і температура екструдату, його органолептичні властивості та навантаження на робочий орган (шнек). Компоненти сировини, в яких проходять безпосередні перетворення під час проходження технологічного процесу – це структурно-механічні властивості та хімічний склад кормової суміші.

Екструдат може мати різний вигляд, який залежить від форми матриці.

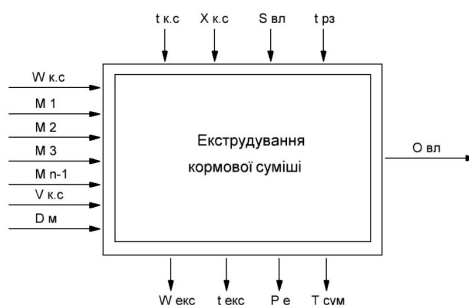


Рис. 4. Схема впливу різноманітних факторів на процес екструдування

W к.с – вологість кормової суміші на вході, %; **M 1, M 2; M 3; M n-1** – вміст і-того кормового компоненту,

%; **V к.с** – інтенсивність подачі кормової суміші в робочу камеру екструдера і приладу живильника;

D м – діаметр отворів матриці екструдера; **t к.с** – температура кормової суміші на вході, °С;

X к.с – хімічний склад кормової суміші, %; **S вл** – структурно-механічні властивості кормової суміші;

t рз – температура робочої зони, °С; **T сум** – тривалість знаходження кормової суміші в робочій зоні

екструдера, с; **W екс** – вологість екструдату, %; **t екс** – температура екструдату на виході, °С;

P е – навантаження електродвигуна робочого органу екструдера, кВт;

О вл – органолептичні властивості екструдату

Екструзійна обробка підвищує засвоюваність продукту за рахунок переходу в легкоперетравлювальну форму компонентів сировини (табл. 1), що дозволяє зменшити раціон свиней на дорощуванні і відгодівлі.

Таблиця 1

Витрата корму на 1 кг приросту тварин

Вид тварин	Екструдований корм, кг	Традиційний корм, кг	Відхилення (±)	
			кг	%
Свині на відгодівлі	3,5–4	6–7	-2,75	-42,3

Один екструдер замінює комплекс кормоприготувальних машин при одночасній переробці декількох кормових компонентів, на відміну класичній технології, яка при обробці лише одного кормового компоненту складається з декількох машин і механізмів. Це дозволяє за допомогою модернізації технологічного процесу на базі сучасної екструзійної технології за короткий час (30–90 хв) виготовляти кормові продукти з регульованою харчовою, біологічною й енергетичною цінністю.

Висновки

Удосконалена технологія виготовлення повноцінного збалансованого корму для свиней є високоефективною і може використовуватися в кормоцехах господарств з вирощування свинини.

В модернізованій технології виготовлення збалансованого корму для свиней завдяки впровадженню сучасної, більш досконалої технології обробітку кормового матеріалу можна одержати корм з більшим відсотком вмісту вітамінів, амінокислот, білків та інших біологічно активних речовин і компонентів. На відміну альтернативній класичній технології корм виходить більш високої якості, що за рахунок його поживності сприяє меншій витраті на кілограм приросту свинини.

Список використаної літератури

1. Юлевич О.І., Калиниченко Г.І., Одинцов Г.А. Використання екструдованих кормів в раціонах відлучених поросят. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. Миколаїв, 2002. Вип. 6 (20). С. 165–169.
2. Заболотько О.О., Дорогань С. В. Вибір обладнання для приготування кашеподібних сумішей при відгодівлі свиней в умовах господарства. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві*: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції (сmt. Глеваха Київської області, м. Київ, Україна, 5–24 жовтня 2020 року). Глеваха-Київ. 2020. С. 54–56.
3. Потапова С.Є., Дяченко Є.Г. До обґрунтування вибору конструкції зернодробарок. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві*: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції. (сmt. Глеваха Київської області, м. Київ, Україна, 5–24 жовтня 2020 року). Глеваха-Київ. 2020. С. 74–76.
4. Ткачук О.Д. Вплив мікроклімату на основні показники резистентності свиней. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 2010. № 2. С. 136–140.
5. Кремпа Н.Ю., Демчук М.В. Мікроклімат та ефективність роботи системи вентиляції в реконструйованому приміщенні для свиней у перехідний та зимовий періоди. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Іжницького*, 2012. Том 14. № 2 (52). Ч. 3. С. 83–87.
6. Демчук О.В., Левченко М.В. Удосконалення технології приготування кормів в умовах сільськогосподарського підприємства. *Науково-інформаційний вісник біолого-технологічного факультету*. Херсон: ХДАУ, ВЦ «Колос», 2019. Вип. 12. С. 168–170.
7. Хіміч О.В., Здор Л.П., Лаптєєв О.О., Семенова О.І. Ефективність норм введення зерна тритикале у раціонах молодняка свиней. *Корми і кормовиробництво*. 2018. Вип. 85. С. 125–131.
8. Овсієнко С.М. Зерно тритикале як фактор стимулювання обмінних процесів в годівлі свиней. *Аграрна наука та харчові технології*: зб. наук. пр. ВНАУ. 2018. Вип. 4(103). С. 30–40.
9. Демчук О.В., Цігорлаш Д.В., Левченко М.В. Удосконалення технології виробництва кормів в експандованому вигляді та ефективність їх використання під час відгодівлі свиней. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 109. Ч.2 . С. 28–34.

References

1. Yulevych O.I., Kalynychenko H.I., Odyntsov H.A. (2002). *Vykorystannia ekstrudovanykh kormiv v ratsionakh vidluchenykh porosiat*. [The use of extruded feeds in the diets of weaned piglets.]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*, vol. 6 (20). pp. 165–169 [in Ukrainian].
2. Zabolotko O.O., Dorohan S.V. (2020). *Vybir obladdannia dlia pryhotuvannia kashepodibnykh sumishei pry vidhodivli svynei v umovakh hospodarstva* [The choice of equipment for the preparation of porridge-like mixtures for fattening pigs in farm conditions]. *Tekhnichniy prohres u tvarynyystvi ta kormovyrobnytstvi: materialy IX Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii* (smt. Hlevakha Kyivskoi oblasti, m. Kyiv, Ukraina, 5–24 zhovtnia 2020 roku). Hlevakha-Kyiv. pp. 54–56 [in Ukrainian].
3. Potapova S.Ye., Diachenko Ye.H. (2020). *Do obhruntuvannia vyboru konstrukttsii zernodrobarok*. [To justify the choice of design of grain crushers]. *Tekhnichniy prohres u tvarynyystvi ta kormovyrobnytstvi: materialy IX Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii* (smt. Hlevakha Kyivskoi oblasti, m. Kyiv, Ukraina, 5–24 zhovtnia 2020 roku). Hlevakha-Kyiv. pp. 74–76 [in Ukrainian].
4. Tkachuk O.D. (2010). *Vplyv mikroklimatu na osnovni pokaznyky rezystentnosti svynei*. [The influence of microclimate on the main indicators of pig resistance]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, no. 2. pp. 136–140 [in Ukrainian].

5. Krempa H.Yu., Demchuk M.V. (2012). *Mikroklimat ta efektyvnist roboty systemy ventyliatsii v rekonstruiovanomu prymishchenni dlia svynei u perekhidnyi ta zymovyi periody [Microclimate and the efficiency of the ventilation system in the reconstructed room for pigs in the transitional and winter periods]*. Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Izhytskoho, tom. 14. no. 2 (52). Ч. 3. pp. 83–87 [in Ukrainian].
6. Demchuk O.V., Levchenko M.V. (2019). *Udoskonalennia tekhnologii pryhotuvannia kormiv v umovakh silskohospodarskoho pidpriemstva [Improvement of feed preparation technology in the conditions of an agricultural enterprise]*. Naukovo-informatsiinyi visnyk bioloho-tekhnolohichnoho fakultetu. Kherson: KhDAU, VTs «Kolos», vol. 12. pp. 168–170 [in Ukrainian].
7. Khimich O.V., Zdor L.P., Laptieiev O.O., Semenova O.I. (2018). *Efektyvnist norm vvedennia zerna trytykale u ratsionakh molodniaku svynei [Effectiveness of triticale grain introduction rates in the rations of young pigs]*. Kormy i kormovyrobnytstvo, vol. 85. pp. 125–131 [in Ukrainian].
8. Ovsiienko S.M. (2018). *Zerno trytykale yak faktor stymuliuвання obminnykh protsesiv v hodivli svynei [Triticale grain as a factor for stimulating metabolic processes in pig feeding]*. Ahrarna nauka ta kharchovi tekhnologii: zb. nauk. pr. VNAU, vol. 4(103). С. 30–40 [in Ukrainian].
9. Demchuk O.V., Tsihorlash D.V., Levchenko M.V. (2019). *Udoskonalennia tekhnologii vyrobnytstva kormiv v ekspandovanomu vyhliadi ta efektyvnist yikh vykorystannia pid chas vidhodivli svynei [Improvement of the technology of production of fodder in an expanded form and the efficiency of their use during the fattening of pigs]*. Tavriiskyi naukovyi visnyk, no. 109. Ч. 2. С. 28–34 [in Ukrainian].

Д. А. ГУСАЧУК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри матеріалознавства
Луцький національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-5899-1706

Ю. П. ФЕЩУК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри матеріалознавства
Луцький національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-6259-1916

Т. В. ФУРС

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної математики та механіки
Луцький національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4786-9980

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ЗА ГУСТИНОЮ І В'ЯЗКІСТЮ

Робота присвячена дослідженню якості за густиною і в'язкістю зразків дизельного палива (ДП), присутніх на ринку України в умовах воєнного стану. Проаналізовано основні експлуатаційні вимоги до дизельних палив, виконання яких задовольняє надійну й економічну роботу двигунів. Акцентовано увагу на питанні забезпечення якості ДП, що оцінюється низкою фізико-хімічних показників, основними серед яких є густина і в'язкість. Зазначено, що ці параметри залежать від фракційного і вуглеводневого складу палива. Проведено аналіз впливу густини і в'язкості на процеси випаровування пального і сумішоутворення, а також загалом на роботу паливної системи двигуна.

У контексті експлуатаційних вимог обґрунтовано важливість контролю відповідності фізико-хімічних показників нафтових автомобільних палив нормам ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови». Зокрема, густина ДП визначають для розрахунку дозувальних приладів систем живлення, а також для обліку витрати палива. Проаналізовано негативні наслідки для роботи двигуна, викликані відхиленням величини кінематичної в'язкості і густини палива від стандартного значення.

Описано методики, згідно яких виконано вимірювання густини й визначення кінематичної в'язкості досліджуваних зразків. Вимірювання густини проведено безпосередньо за допомогою ареометра, значення приводили до нормованої температури 15 °С. Визначення кінематичної в'язкості здійснено за допомогою спеціального приладу, основними конструктивними елементами якого були капілярний віскозиметр і рідинний термостат, який забезпечував стабільність температури пального +40°С (стандартне значення).

Наведено дані експериментів та обчислень густини й кінематичної в'язкості, виконано порівняння одержаних значень з вимогами стандарту ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови», а також з нормативними вимогами європейських стандартів. За результатами досліджень густини і кінематичної в'язкості зроблено висновок про якість, експлуатаційні властивості і придатність до використання досліджуваних зразків дизельних палив.

Ключові слова: дизельне паливо, якість дизельного палива, технічні вимоги, фізико-хімічні показники, густина, кінематична в'язкість.

D. A. HUSACHUK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Materials Science
Lutsk National Technical University
ORCID: 0000-0001-5899-1706

YU. P. FESHCHUK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Materials Science
Lutsk National Technical University
ORCID: 0000-0001-6259-1916

T. V. FURS

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Applied Mathematics
and Mechanics
Lutsk National Technical University
ORCID: 0000-0002-4786-9980

DIESEL FUEL DENSITY AND VISCOSITY EVALUATION

The article deals with the quality research on density and viscosity of diesel fuel (DF) samples present on the Ukrainian market. The main diesel fuel operational requirements, the fulfillment of which satisfies the reliable and economical operation of engines, are analyzed. Attention is paid to the DF quality, evaluated by a number of physical and chemical parameters, the main ones being density and viscosity. It is also noted that these parameters depend on the fractional and hydrocarbon composition of the fuel. The influence of density and viscosity on the processes of fuel evaporation and mixture formation, as well as on the operation of the engine fuel system in general is analyzed in this article.

The paper substantiates the importance of monitoring the compliance of physical and chemical parameters in the context of operational requirements with DSTU 7688:2015 "Euro Diesel Fuel. Specifications". In particular, the DF density is determined for the calculation of dosing devices for power systems, as well as fuel log systems. The negative consequences for the operation of the engine caused by the kinematic viscosity deviation from the standard value are analyzed.

This research paper describes the methods used to measure the density and determine the kinematic viscosity of the studied samples. Density measurement was carried out directly using a hydrometer. The value was brought to a normalized temperature of 15 °C. The determination of kinematic viscosity was carried out using a special device, the main structural elements of which were a capillary viscometer and a liquid thermostat, which ensures the stability of combustible fuel +40 °C (standard value).

The experiments data, density calculations and kinematic viscosity are presented, the obtained values are compared with the standard requirements under DSTU 7688:2015 "Euro Diesel Fuel. Specifications". And, it is concluded about the performance properties and suitability for use of the studied samples of diesel fuels.

Key words: diesel fuel, diesel fuel quality, technical requirements, physical and chemical parameters, density, kinematic viscosity.

Постановка проблеми

Попри тенденції розробки і виробництва альтернативних видів палив для автомобільних двигунів на ринку України домінує пальне, вироблене з нафтової сировини. Зауважимо, згідно статистики, у нашій країні в останні роки зростає частка автомобілів з дизельним типом двигуна. Пальне для дизельних двигунів в Україні наразі не виробляється, адже в умовах воєнного стану вітчизняна нафтопереробна галузь вимушено не функціонує через цілеспрямовані російські ракетні обстріли. Тому нині Україна цілком залежить від імпорту нафтопродуктів. Зокрема, основну частку дизельного палива ми отримуємо з Євросоюзу: лідерами постачання є Румунія, Литва, Словаччина, Греція, Болгарія і Польща [1].

Закордонні автовиробники надають ключове значення якості дизельних палив, щораз підвищуючи вимоги до технічних, експлуатаційних та екологічних характеристик. Як відзначають експерти і споживачі, закордонні зразки дизельних палив відрізняються дещо вищою якістю від вітчизняних українських аналогів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні за Технічним регламентом встановлено вимоги до якості дизельного палива. Цим документом встановлюються вимоги до обігу палива на ринку, вимоги до якості, вимоги до процедури до оцінки відповідності. За Технічним регламентом [3], якість дизельних палив оцінюється низкою фізико-хімічних показників, які нормуються стандартами. Вітчизняний стандарт на дизельні палива (ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні

умови» [4]) за технічними вимогами наближений до європейських норм. У країнах ЄС дизельні палива виробляються за стандартом EN 590:2013 «Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods» або ASTM D 975 «Standard Specification for Diesel Fuel Oils».

Втім, надійна й економічна робота дизельних двигунів забезпечується, насамперед, правильним підбором і якістю палива, що дозволяє забезпечити наступні основні експлуатаційні вимоги [2]:

- безперебійну подачу палива;
- оптимальне розпилення палива форсункою й достатнє сумішоутворення;
- здатність до самозаймання та м'яку роботу двигуна;
- повне згорання й мінімум нагароутворення;
- щонайменшу корозійну активність;
- хімічну стабільність при зберіганні й транспортуванні.

Водночас забезпечення експлуатаційних вимог до дизельного палива ґрунтується на таких основних характеристиках як густина і в'язкість. Це ті взаємопов'язані фізичні характеристики, які опосередковано дозволяють зробити висновок про якість пального, адже ці параметри залежать від хімічного, вуглеводневого та фракційного складу. Недотримання встановлених норм виробництва, транспортування й зберігання дизельних палив призводить до погіршення їх якості, а іноді й до заборони використання.

Передусім, густина і в'язкість впливають на процеси випаровування і сумішоутворення, а відтак – на роботу паливної системи двигуна, зокрема на рівень палива у поплавковій камері. Залежність цих характеристик від хімічного складу наступна: чим більша молярна маса вуглеводнів палива, тим вищою є його густина і в'язкість. Зауважимо, що дизельне паливо одержують, здебільшого, з прямогінних нафтових фракцій, які википають у діапазоні температур 150 ... 360 °С. Груповий склад дизпалив – переважно парафінові (10 ... 40%) і нафтові (20 ... 60%) вуглеводні, решта – ароматичні (14 ... 30%). Товарні дизельні палива виготовляють шляхом змішування продуктів перегонки нафти з фракціями, що пройшли гідроочистку і депарафінізацію з додаванням додання біокомпонентів (метилових/етилових естерів жирних кислот) та присадок. Комплекс експлуатаційних вимог до дизельних палив забезпечується підбором їх оптимального фракційного й вуглеводневого складу [2, с. 182].

Густину дизпалив потрібно знати для розрахунку дозувальних приладів систем живлення, а також для обліку витрати і нормування палив. При отриманні і транспортуванні партії палив обліковують у одиницях маси, а видають при заправці транспортних засобів у одиницях об'єму. У Держстандартах України густина дизпалив нормується за температури 15 °С, її значення варіюються в діапазоні 820 ... 845 кг/м³ [2, с. 187].

З огляду на вище викладене, паливо для дизелів повинно відповідати експлуатаційним вимогам і володіти відповідною оптимальною густиною і в'язкістю. Коли паливо має високу в'язкість і густину, то його фільтрація буде затруднена, порушується подача палива помпою, погіршується розпилювання й згорання неповне. Це викликає димність і збільшення витрати палива, потужність двигуна за таких умов зменшується. І навпаки, при низькій в'язкості порушується дозування палива внаслідок просочування його у плужерній парі помпи високого тиску, внаслідок значного розпилення дальність струменя виявляється недостатньою, факел короткий і широкий, паливо згорає біля форсунки, нові порції подаються у продукти згорання попередньої порції палива, у результаті чого процес згорання палива неповний [5, с. 221].

Разом з тим, дизпаливо є мастильним матеріалом для деталей системи подачі, однак, недостатньо в'язке паливо не виконує змащувальних функцій. Тому, для забезпечення надійної, ефективної й економічної роботи двигуна ДП має бути оптимальної в'язкості й густини.

Особливо суттєвим є вплив в'язкості на експлуатаційні властивості палива в зимовий період. Із зниженням температури в'язкість дизпалива зростає. При цьому ускладнюється його прогонність крізь паливопроводи, погіршується фільтрація палива та пуск двигуна, що пов'язано з погіршенням розпилення і випаровуваності палива. Тому за технологією виготовлення для забезпечення нормальної роботи дизелів у холодний період року зимові сорти палива виготовляють із меншою в'язкістю та вводять в'язкісні присадки.

Згідно вітчизняних нормативних документів для дизелів контролюють кінематичну в'язкість палив при температурі + 40 °С, допустиме значення якої залежить від марки палива: 2,0 ... 4,5 мм²/с – літнє (Л) і 1,5 ... 4,0 мм²/с – зимове (З) й арктичне (Арк) [4].

Оптимальна в'язкість ДП забезпечує: надійну роботу паливної апаратури, хорошу прокачуваність палива по паливній системі, незначні втрати палива через зазори у прецизійних парах помпи, розпилювача і форсунки, достатнє змащування паливної помпи, необхідний ступінь розпилення палива, його швидке випаровування і повне згорання. Загалом, в'язкість дизельного палива впливає на подачу палива, потужність, економічність, зношуваність двигуна й на його екологічні показники [5, с. 221].

Формулювання мети дослідження

Зважаючи на те, що український ринок автомобільного палива нині залежить від імпорتنих поставок, виникає питання чи достатньо якісне паливо реалізують АЗС України в період воєнного стану. Тому доцільним

є проведення оцінювання імпортованого ДП за фізико-хімічними показниками та порівняння з їх нормативними значеннями відповідно до ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови». За напрямок дослідження обрано такі параметри як густина і кінематична в'язкість, що характеризують вуглеводневий та фракційний склад пального.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для проведення досліджень використано два зразки дизельного палива літньої та зимової марок, реалізованих на АЗС м. Луцька. Вимірювання густини зразків дизельних палив виконували безпосередньо за допомогою ареометра згідно стандартної методики ДСТУ ГОСТ 31072:2006 [6]. Ареометр, який використовується для визначення густини нафтопродуктів, називається нафтоденсиметром. Це скляний поплавок з баластом у нижній частині і витягнутою трубкою, на якій нанесена шкала густин. У наших дослідженнях використано ареометр з градуванням шкали у межах 800...900 кг/м³. Температура зразків дизельного палива під час дослідження становила 18 °С. Для переведення значень густини до стандартної температури 15 °С використано значення середньої температурної поправки, взяті з довідкової таблиці до густини нафтопродуктів.

Перерахунок густини виконували за формулою:

$$\rho_{15^\circ} = \rho_t + \gamma(t - 15)$$

де: γ – температурна поправка, яка визначає зміну густини при зміні температури на 1 °С;

ρ_t – покази ареометра при температурі заміру t ;

t – температура досліджуваного палива.

Дані вимірювань й обчислень стандартного значення густини приведені у таблиці 1. Отримані результати обидва досліджувані зразки ДП відповідають нормам Державного стандарту.

Для визначення кінематичної в'язкості зразків ДП використовували спеціально змонтований прилад, основним елементом якого був капілярний віскозиметр, поміщений у рідинний термостат, за допомогою якого підтримувалося стабільне температурне середовище (методика ДСТУ ГОСТ 33-2003 (ИСО 3104-94 [7])). Визначення в'язкості полягало у встановленні часу перетікання певного об'єму рідини через капілярну трубку віскозиметра. Прилад для визначення кінематичної в'язкості приведено на рис. 1.

Для вимірювань використано віскозиметр з внутрішнім діаметром 0,8 мм. Віскозиметр з паливом занурювали у термостат (4) і закріплювали на штативі в строго вертикальному положенні. У термостаті встановлювали температуру 40 °С, яка є стандартною для контролю кінематичної в'язкості дизельних палив згідно ДСТУ 7688:2015, з точністю до $\pm 0,1$ °С. Віскозиметр витримували у термостаті протягом 15 хв, щоб паливо набуло заданої температури. Визначали секундоміром час проходження рівня рідини від верхньої M_1 до нижньої M_2 мітки віскозиметра, що рівний часу проходження деякого об'єму палива через капіляр.

Марка ДП	Покази ареометра, g	Температура палива, t, °	Температурна поправка на 1°	Густина палива (експер.) g	Густина палива за ДСТУ 7688:2015 g
ДП-Л-Євро4	829	21	0,738	831	820 ... 845
ДП-З-Євро4	827	21	0,738	829	820 ... 845

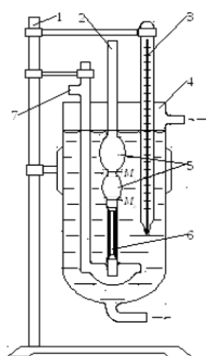


Рис. 1. Прилад для визначення кінематичної в'язкості ДП:
 1 – штатив; 2 – віскозиметр; 3 – термометр; 4 – термостат;
 5 – сферичні розширення на віскозиметрі; 6 – капіляр; 7 – відвідна трубка

Дослід повторювали декілька разів. Відкидали значення, що відрізняється від середнього більш, ніж на 0,5%. За значеннями, що залишилися, знаходили середньоарифметичний час (τ) витікання палива в секундах. Одержані дані представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Дані дослідів та обчислень кінематичної в'язкості зразків ДП

Марка ДП	Температура дослідження	Час перетікання τ , с	Кінематична в'язкість (експеримент) ν , мм ² /с	Кінематична в'язкість ν , мм ² /с за ДСТУ 7688:2015
ДП-Л-Євро4	40 °С	91,8	2,7	2,0 ... 4,5
ДП-З-Євро4	40 °С	90,2	2,65	1,5 ... 4,0

Кінематичну в'язкість дизельних палив (ν) обчислювали за формулою:

$$\nu = c \cdot \tau,$$

де $c = 0,02942 \text{ мм}^2/\text{с}^2$, – постійна віскозиметра (за паспортом);

τ – середньоарифметичний час перетікання палива, с.

Значення кінематичної в'язкості досліджуваних зразків ДП знаходиться в межах допустимих значень відповідно до норм вітчизняного та європейського стандартів.

Висновки

На основі результатів експериментальних досліджень зразків дизельних палив отримали: середнє значення густини палива марки ДП-Л-Євро4 становить $831 \text{ кг}/\text{м}^3$, а марки ДП-З-Євро4 – $829 \text{ кг}/\text{м}^3$, що відповідає нормам вітчизняного стандарту. Значення кінематичної в'язкості при стандартній температурі 40 °С : для палива марки ДП-Л-Євро4 – $2,7 \text{ мм}^2/\text{с}$, для марки ДП-З-Євро4 – $2,65 \text{ мм}^2/\text{с}$, що допустимо згідно ДСТУ 7688:2015.

На основі експериментальних даних можна зробити висновок, що якість за густиною і кінематичною в'язкістю досліджуваних дизельних палив є задовільною, оскільки відповідає стандартним значенням. Отримані результати вказують на оптимальний вуглеводневий та фракційний склад дослідних зразків ДП.

Список використаної літератури

- Імпорт дизельного палива. URL: https://24tv.ua/economy/import-dizelyu-ukrayini-zrostayut-postavki-paliva-porri-naprugu_n2451741
- Бойченко С., Пушак А., Топільницький П., Лейда К. Моторні палива: властивості та якість : підручник / за заг. ред. проф. С. Бойченка. Київ: Центр учбової літератури, 2020. 324 с.
- Технічний регламент щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#n11>
- ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_7688_2015.pdf
- Чабанний В.Я. Паливно-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Кіровоград: ЦентральнoУкраїнське видавництво, 2008. 353 с.
- ДСТУ ГОСТ 31072:2006 Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах АРІ ареометром (ГОСТ 31072-2002, ЮТ). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=56160
- ДСТУ ГОСТ 33-2003 (ІСО 3104-94) Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості (ГОСТ 33-2000 (ІСО 3104-94), ЮТ). URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=62368

References

- Import dyzelnoho palyva. URL: https://24tv.ua/economy/import-dizelyu-ukrayini-zrostayut-postavki-paliva-porri-naprugu_n2451741
- Boichenko S., Pushak A., Topilnytskyi P., Leida K. Motorni palyva: vlastyvoli ta yakist : pidruchnyk / za zah. red. prof. S. Boichenka. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 2020. 324 s.
- Tekhnichniy rehlament shchodo vymoh do avtomobilnykh benzyniv, dyzelnoho, sudnovykh ta kotelnykh palyv URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/927-2013-%D0%BF#n11>
- DSTU 7688:2015 Palyvo dyzelne Yevro. Tekhnichni umovy. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_7688_2015.pdf
- Chabanniy V.Ia. Palyvno-mastylni materialy, tekhnichni ridyny ta systemy yikh zabezpechennia. Kirovohrad: TsentralnoUkrainske vydavnytstvo, 2008. 353 s.
- DSTU HOST 31072:2006 Nafta i naftoprodukty. Metod vyznachennia hustyny, vidnosnoi hustyny ta hustyny v hradusakh ARI areometrom (HOST 31072-2002, YuT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=56160
- DSTU HOST 33-2003 (YSO 3104-94) Naftoprodukty. Prozori i neprozori ridyny. Vyznachennia kinematychnoi viazkosti i rozrakhunok dynamichnoi viazkosti (HOST 33-2000 (YSO 3104-94), YuT). URL: https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=62368

В. С. ДОРОФЄЄВ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інформаційних технологій проектування та дизайну
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0000-0002-2412-4134

Г. В. ЗІНЧЕНКО

кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій проектування та дизайну
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0000-0002-0517-0151

Н. В. ПУШКАР

кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ORCID: 0000-0002-4243-7353

ДОТИЧНІ НАПРУЖЕННЯ В ЕЛЕМЕНТАХ, ЩО ЗГИНАЮТЬСЯ ПРИ ДВОКВАДРАТИЧНОМУ ЗАКОНІ ДЕФОРМУВАННЯ БЕТОНУ

У даній роботі визначені дотичні напруження в бетонних і залізобетонних балках при сумісній дії згинального моменту і поперечної сили. Проаналізовані експериментальні і теоретичні дослідження провідних українських авторів стосовно вивчення роботи стиснутих і згинальних бетонних і залізобетонних елементів конструкцій при різних силових впливах і довільної форми поперечного перерізу. Розвинуті методи оцінки напружено-деформованого стану на підставі реальних діаграм деформування бетону з врахуванням фізичної і геометричної нелінійності. Виведені залежності нормальних напружень в згинальних елементах при двоквадратичному законі деформування бетону.

Авторами проаналізовано характер епюри дотичних напружень у бетонній балці. Визначено точки, де τ_y набуває екстремального значення. Визначені максимальні дотичні напруження. Описані дотичні напруження при двократичному законі деформування бетону. Проаналізовано максимальні дотичні напруження при нелінійному законі деформування, показано, що вони мають менші значення, ніж при лінійному.

Показано, що запропоновані методи визначення напружень в бетоні не дають можливості для визначення нормальних і дотичних напружень, а також аналізувати дійсний напружений стан в перерізах по довжині і висоті елементів, тому в роботі продовжені дослідження бетонних і залізобетонних конструкцій для визначення дотичних напружень внутрішніх зусиль при нелінійному законі деформування бетону.

Наведено, що формули для дотичних напружень елемента, що враховують нелінійну складову закону деформування, крім поперечної сили містять відношення діючого в перерізі згинального моменту до моменту розрахункового бетонної балки.

На основі отриманих результатів побудовано епюри дотичних напружень у розтягнутій та стислій зонах бетонного перерізу. За результатами досліджень для залізобетонної балки виведені формули визначення дотичних напружень з урахуванням змінності наведеного моменту інерції вздовж її осі.

Ключові слова: бетонні балки, залізобетонні балки, дотичні напруження, деформування бетону, нелінійне деформування.

V. S. DOROFEEV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Information Technologies
of Planning and Design
Odesa Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-2412-4134

H. V. ZINCHENKO

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Information Technologies
of Planning and Design
Odesa Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-0517-0151

N. V. PUSHKAR

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures
and Transport Facilities
Odesa State Academy of Building and Architecture
ORCID: 0000-0002-4243-7353

TANGENTIAL STRESSES IN BENDING ELEMENTS UNDER THE TWO-QUADRATIC LAW OF CONCRETE DEFORMATION

The tangential stresses in concrete and reinforced concrete beams under the combined action of bending moment and transverse force are determined in this work. The experimental and theoretical studies of the leading Ukrainian authors regarding the study of the work of compressed and bending concrete and reinforced concrete elements of structures under various force influences and an arbitrary shape of the cross-section are analyzed. Developed methods for assessing the stress-strain state based on real diaphragms of concrete deformation, taking into account physical and geometric nonlinearity. Derived dependences of normal stresses in bending elements under the two-quadratic law of concrete deformation.

The authors analyzed the nature of the plot of tangential stresses in a concrete beam. The point where becomes extreme τ_x is determined. The maximum tangential stresses are determined. The tangential stresses under the two-fold law of concrete deformation are described. The maximum tangential stresses under the nonlinear law of deformation were analyzed, and it was shown that they have smaller values than under the linear law.

It is shown that the proposed methods of determining stresses in concrete do not provide an opportunity to determine normal and tangential stresses, as well as to analyze the actual stress state in cross-sections along the wall and the height of the elements, therefore, the work continues the research of concrete and reinforced concrete structures to determine the tangential stresses of internal forces with nonlinear laws of deformation of concrete.

It is stated that the formulas for the tangential stresses of the element, which take into account the nonlinear component of the law of deformation, in addition to the transverse force, contain the ratio of the bending moment acting in the section to the moment of the calculated concrete beam.

On the basis of the obtained results, plots of tangential stresses in the stretched and compressed zones of the concrete cross-section were constructed. According to the research results, the formulas for determining tangential stresses for a reinforced concrete beam are derived, taking into account the variability of the given moment of inertia along its axis.

Key words: concrete beams, reinforced concrete beams, tangential stresses, deformation of concrete, nonlinear deformation.

Постановка проблеми

В даний час існує багато результатів досліджень напружено-деформованого стану бетонних і залізобетонних конструкцій при різних впливах і формах поперечного перерізу, розвинуті методи оцінки напружено-деформованого стану і несучої здатності залізобетонних конструкцій на підставі реальних діаграм деформування матеріалів, виведені залежності нормальних напружень в згинальних елементах при двоквадратичному законі деформування бетону. Це роботи С. С. Бабіч [1; 2], Є. М. Бабіч [3; 4; 5], П. Вахненко [7; 8], В. Дорофєєва [6; 9; 10], Г. Чобана [11] та інших.

Запропоновані методи не дають можливості рекомендувати залежності для визначення нормальних і дотичних напружень, а також аналізувати напружений стан в різних перерізах згинальних елементів. Це дає можливість зробити висновок про необхідність подальшого наукового дослідження з метою отримання залежностей для визначення дотичних напружень внутрішніх зусиль у бетонних та залізобетонних балках при нелінійному законі деформування бетону, отримати епюри дотичних напружень у розтягнутій та стислій зонах бетонного перерізу,

вивести формули визначення дотичних напружень залізобетонного згинального елемента з урахуванням змінності наведеного моменту інерції вздовж його осі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останні роки активно проводяться дослідження напружено-деформованого стану бетонних і залізобетонних конструкцій при різних впливах і формах поперечного перерізу. Так в [1, с. 94; 2, с. 142–146] проведені експериментальні дослідження роботи згинальних елементів трикутного профілю з визначенням внутрішніх зусиль і урахуванням повної діаграми деформування бетону.

В роботах [3, с. 119; 4, с. 39–44] дослідженні бетонні і залізобетонні елементи конструкцій в умовах малоциклового навантаження і наведені нові апроксимаційні залежності «напруження-деформації», враховуючи нелінійність деформування бетону.

Бамбура А. Н. [5, с. 36–39] розвив методи оцінки напружено-деформованого стану і несучої здатності залізобетонних конструкцій на підставі реальних діаграм деформування матеріалів.

В роботі [6, с. 4] надане експериментальне обґрунтування закону деформування бетонів при завантаженні однократного короткочасного діючого навантаження.

У роботах [7, с. 112; 8, с. 77–80] наведені сучасні методи розрахунку залізобетонних конструкцій при складному виді деформацій і відмічені особливості деформування неармованого і армованого бетону.

Чобан Г. С. [11, с. 16] розробив розрахунок і конструювання залізобетонних нерозрізних балок на підставі експериментально-теоретичних залежностей між внутрішніми зусиллями та жорсткістю перерізів.

В роботі [10, с. 9–16] виведені залежності нормальних напружень в згинальних елементах при двоквадратичному законі деформування бетону.

Формулювання мети дослідження

На підставі проведеного аналізу метою досліджень є визначення дотичних напружень в бетонних і залізобетонних згинальних елементах при дії згинального моменту і поперечної сили при двоквадратичному законі деформування бетону. Проаналізувати максимальні дотичні напруження при нелінійному законі деформування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Приймається, що бетон представляє собою однорідну, ізотропну, суцільну середу. Дотичні напруження в поперечних перерізах згинальних елементів залежать тільки від поперечної сили. При чистому згині в кожній точці утворюється лінійний напружений стан, для котрого справедливий закон деформування [6, с. 4].

Визначимо дотичні напруження $\tau_{xy}=f_2(V)$ при двоквадратичному законі деформування бетону. При прикладанні до балки поперечного навантаження крім згинальних моментів M в її перерізах виникають поперечні сили V . Дотичні напруження в точці k на майданчиках, що належать поперечним та повздовжнім перерізам ($\tau_{xy}=\tau_{yx}$), що обумовлені поперечною силою V .

1. Бетонні балки. Виділимо перерізами 1-1; 2-2; 3-3 (рис. 1а) елемент балки та розглянемо сили, що діють на нього (рис. 1б). Умова рівноваги елемента:

$$\sum X=0; -N_1+(N_1+\Delta N_1)-dT=0, dT=dN_1 \tag{1}$$

Виразимо dT через τ_{xy} , використовуючи гіпотезу Журавського, тоді

$$dT=\tau_{xy}b dx \tag{2}$$

Для визначення dN , програмуємо всі нормальні сили, що діють на відсічену частину перерізу A^* (рис. 3), а потім знайдемо їх приріст при переході від перерізу 1-1 до перерізу 2-2.

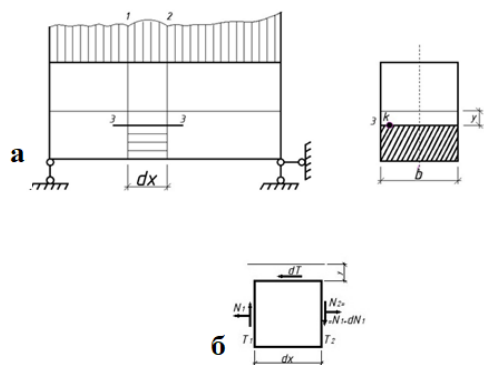


Рис. 1. Визначення дотичних напружень τ_{xy}

$$N_1 = \int_{A^*} \sigma_{ctd} dA = \int_{A^*} \left(\frac{M_y}{I_{red}} - \frac{1}{4Rf_{ctk}} \cdot \frac{M^2 y^2}{I_{red}^2} + \left\| \frac{E_{2t}}{E_{cm}^2} \cdot \frac{M^2 (y - y_{ctd})^2}{y_{red}} \right\| \right) dA = \frac{M}{I_{red}} \cdot S_{n-n}^* - \frac{M^2}{4R_{f_{ctk}}} \cdot \frac{I_{n-n}^{(2)*}}{I_{red}^2} + \frac{E_{2t}}{E_{cm}^2} \cdot \frac{M^2}{I_{red}^2} \cdot I_{n-n}^{(2)**}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Де: } S_{n-n}^* &= \int_{A^*} y dA; & I_{n-n}^{(2)*} &= \int_{n-n}^{(2)*} y^2 dA \\ I_{n-n}^{(2)**} &= \left\| \int_{y_{ctd}} \int_{A^*} (y - y_{fctd})^2 dA \right\| \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

При визначенні dN_1 слід враховувати, що функціями від $x \in M$ та I_{red} . При цьому I_{red} змінюється за рахунок зміщення нейтральної лінії. Відомо, що це зміщення мале $h_p \approx h_c$, можна не враховувати вплив зміни I_{red} . Тоді

$$dN_1 = \frac{dM}{I_{red}} \cdot S_{n-n}^* - \frac{1}{4R_{f_{ctk}}} \cdot \frac{2MdM}{I_{red}^2} \cdot I_{n-n}^{(2)*} + \frac{E_{2t}}{E_{cm}^2} \cdot \frac{2MdM}{I_{red}^2} \cdot I_{n-n}^{(2)**}$$

Підставляючи (2) та (3) в (1) отримаємо:

$$\tau_{yx} = \frac{dM}{b dx} \cdot \frac{S_{n-n}^*}{I_{red}} - \frac{2}{4R_{f_{ctk}}} \cdot \frac{dM}{b dx} \times \frac{M}{I_{red}} \cdot \frac{I_{n-n}^{(2)*}}{E_{cm}^2} \cdot \frac{dM}{b dx} \cdot \frac{M}{I_{red}} \cdot \frac{I_{n-n}^{(2)**}}{I_{red}}$$

Можна записати

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \frac{VS_{n-n}^*}{bI_{red}} - \frac{1}{2R_{f_{ctk}}} \cdot \frac{VI_{n-n}^*}{bI_{red}} \cdot \frac{M}{I_{red}} + 2 \frac{E_{2t}}{E_{cm}^2} \cdot \frac{VI_{n-n}^{(2)**}}{bI_{red}} \cdot \frac{M}{I_{red}} \quad (4)$$

Слід пам'ятати, що при $y \leq y_{fctk}$ останній доданок перетворюється в 0. В (4) геометричні характеристики залежать від координати точки \bar{y} (рис. 2).

$$\frac{V(h_p^3 - \bar{y}^3)M}{I_{red} \cdot 3 \cdot 2R_{f_{ctk}} I_{red}} \cdot \frac{h_p}{h_p} = \frac{V(h_p^3 - \bar{y}^3)}{3I_{red} h_p} \cdot \frac{M}{\max M} \quad (5)$$

Останню формулу перетворимо, використовуючи умову міцності при згині бетонної балки:

$$\frac{\max M}{W_{red}} \leq 2R_{ctk}$$

Тоді другий член формули (5):

$$\frac{V(h_p^3 - \bar{y}^3)M}{I_{red} \cdot 3 \cdot 2R_{f_{ctk}} I_{red}} \cdot \frac{h_p}{h_p} = \frac{V(h_p^3 - \bar{y}^3)}{3I_{red} h_p} \cdot \frac{M}{\max M}$$

Формула (5) приймає вигляд:

$$\tau_{xy} = \frac{V(h_p^2 - \bar{y}^2)}{2I_{red}} - \frac{V(h_p^3 - \bar{y}^3)}{3I_{red} h_p} \cdot \eta \cdot \frac{\max M}{W_{red}} \leq 2R_{ctk} \quad (5)$$

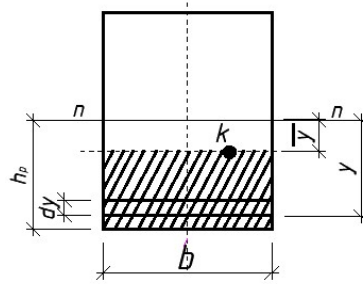


Рис. 2. До визначення статичного моменту S_{n-n}^* відсіченої частини поперечного перерізу

У разі, якщо точка "к", в якій визначається дотичне напруження, знаходиться в стислій зоні можна записати:

$$\tau_{xy} = \frac{V(h_c^2 - \bar{y}^2)}{2I_{red}} - \frac{VM(h_c^3 - \bar{y}^3)}{3R_{fck} I_{red}^2}$$

Другий член цієї формули перетворимо:

$$\frac{V(h_c^3 - \bar{y}^3)M}{I_{red} \cdot 3 \cdot 2R_{fck} I_{red}} \cdot \frac{R_{fck}}{R_{fck}} \cdot \frac{h_p}{h_p} = \frac{V(h_p^3 - \bar{y}^3)}{3I_{red} h_p} \cdot \frac{M}{\max M} \cdot \frac{R_{fck}}{R_{fck}}$$

Тоді остаточно:

$$\tau_{xy} = \frac{V(h_c^2 - \bar{y}^2)}{2I_{red}} - \frac{V(h_c^3 - \bar{y}^3)}{3I_{red}^2 h_p} \cdot \eta \cdot \chi \tag{6}$$

Де: $\chi = \frac{f_{ctk}}{f_{ck}}$

Проаналізуємо нижче характер епюри дотичних напружень у бетонній балці відповідно до (5) та (6). Визначимо точки, де τ_{xy} набуває екстремального значення:

$$\frac{d\tau_{xy}}{d\bar{y}} = 0 \tag{7}$$

Для напружень у розтягнутій зоні згідно (5) та (7):

$$\begin{aligned} \frac{d\tau_{xy}}{d\bar{y}} &= \frac{V\bar{y}}{I_{red}} + \frac{V\bar{y}}{I_{red}h_p} \cdot \eta = 0 \\ \text{Чи } \bar{y} \left(1 - \frac{\bar{y}}{h_p} \cdot \eta \right) &= 0 \\ \bar{y}_{01} = 0; \bar{y}_{02} &= \frac{h_p}{\eta} \end{aligned} \tag{8}$$

$$\bar{y}_0 = 0; \bar{y}_{02} = \frac{h_p}{\eta}$$

Для напружень у сжатій зоні згідно (6):

$$\frac{d\tau_{xy}^c}{d\bar{y}} = \frac{V\bar{y}}{I_{red}} + \frac{V\bar{y}^2}{I_{red}h_p} \cdot \eta \cdot \chi = 0$$

Звідси 2 корні:

$$\bar{y}_{01} = 0 \quad \bar{y}_{02} = \frac{h_p}{\eta\chi} \tag{9}$$

Перший корінь в обох випадках відповідає $\max \tau_y$.:

$$\max \tau_{xy} = \frac{Vh_p^2}{2I_{red}} - \frac{Vh_p^3}{3I_{red}} \cdot \eta$$

Використовуючи (6) при $\bar{y}_{02}=0$:

$$\max \tau_{xy} = \frac{Vh_p^2}{2I_{red}} - \frac{Vh_c^3}{3I_{red}h_p} \cdot \eta \cdot \chi$$

Аналізуючи $\max \tau_{xy}$ при нелінійному законі деформування, бачимо, що вони мають менші значення, ніж при лінійному.

Другі корені виразів [8, с. 77–80] і [9, с. 134–137] свідчить, що другий екстремум в обох випадках лежить за межами перерізу. Враховуючи наявність двох екстремальних точок як у розтягнутій, і стиснутих зонах можна дійти невтішного висновку про наявність точки перегину кожної гілки (рис. 3). Для виявлення положення точки перегину розглянемо умову:

$$\frac{d\tau_{xy}^c}{d\bar{y}^2} = 0$$

Тоді запишемо (5):

$$\frac{d^2\tau_{xy}}{d\bar{y}^2} = -\frac{V}{I_{red}} + 2 \cdot \frac{V}{I_{red}} \cdot \frac{\bar{y}}{h_p} \eta = 0$$

Звідси положення точки перегину:

$$y_0^{(n)} = \frac{h_p}{2\eta}$$

Тоді згідно (6)

$$\frac{d^2\tau_{xy}}{d\bar{y}^2} = -\frac{V}{I_{red}} + 2 \cdot \frac{V}{I_{red}} \cdot \frac{\bar{y}}{h_p} \eta\chi = 0$$

$$y_0^n = \frac{h_p}{2\eta\chi}$$

З отриманих залежностей (рис. 3) випливає, що можливі 2 випадки: 1 – точка перегину знаходиться в межах епюри τ_{xy} і 2 – точка перегину знаходиться за межами перерізу.

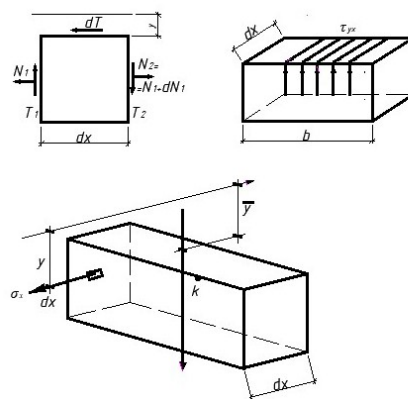


Рис. 3. До виведення формули для визначення дотичного напруження τ_{xy} в перерізах бетонної балки

2. Залізобетонні балки. Розглянемо залізобетонну балку завантажену поперечним навантаженням (рис. 4) і виділимо в ній перерізами 1-1 і 2-2 нескінченно малий елемент довжиною dx. Цей елемент почергово розсічений

горизонтальними перерізами 3-3 – у зоні тріщиноутворення, 4-4 – у розтягнутій зоні, 5-5 – у стислій зоні бетону. Розглянемо рівновагу кожної відсіченої частини (рис. 4б). У цьому випадку, коли перетин наведено в зоні тріщиноутворення

$$\Sigma X = 0; dT = dN \tag{10}$$

При визначенні зсуву зусилля dT тут надалі використовували гіпотезу Журавського.

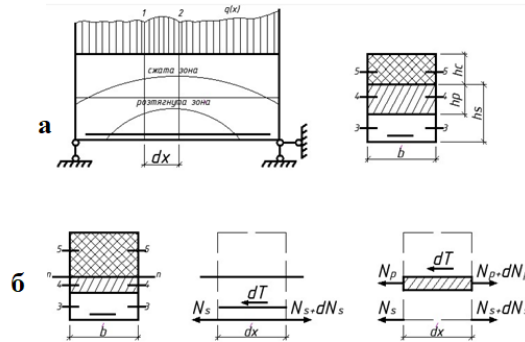


Рис. 4. Визначення дотичних напружень τ_{xy} в перерізі залізобетонної балки

$$dT = \tau_{yx} b dx \quad \Sigma X = 0; dT = dN \tag{11}$$

Зусилля в арматурі:

$$N_x = \sigma_s A_s = \frac{n_s M S_s}{I_{red}}$$

Тоді

$$dN = \frac{n_s S_s (dM I_{red} - M dI_{red})}{I_{red}^2} \tag{12}$$

Після підстановки (11) и (12) в (10):

$$\tau_{xy} = \frac{V}{b I_{red}} \cdot \left[\frac{1 - M S_{red}}{V I_{red}} \right] n_s S_s,$$

де $S_{red} = dI_{red} / dx$

Якщо горизонтальний переріз проведено у розтягнутій зоні (рис. 4б), то рівняння рівноваги відсіченої частини:

$$dT = dN_s + dN_p \tag{13}$$

де зусилля і визначаються за наведеними вище формулами, а визначення обчислюємо спочатку використовуючи залежність (30) [10]:

$$N_p = \int_A \sigma_{ctd} dA = \frac{M S_{n-n}^*}{I_{red}} - \frac{\beta_{lt} M^2 I_{n-n}^*}{I_{red}^2}$$

де $S_{n-n}^* = \int_{A_p^*} y da$; $I_{n-n}^* = \int_{A_p^*} y^2 da$; $\beta_{lt} = \frac{E_{lt}}{E_{cm}}$

A_p^* – площа відсіченої частини розтягнутої зони бетону

Тоді:

$$dN_p = \frac{S_{n-n}^* (dM I_{red} - M dI_{red})}{I_{red}^2} - \frac{2 \beta_{lt} I_{n-n}^* (M dM I_{red}^2 - M^2 I_{red} dI_{red})}{I_{red}^4}$$

Підставляючи в (13) величини, що входять до нього:

$$\tau_{xy} = \frac{V}{bI_{red}} \cdot \left(1 - \frac{MS_{red}}{VI_{red}}\right) \times \left(n_s S_s + S_{n-n}^{*,p} - 2\beta_{1t} \cdot \frac{I_{n-n}^{*,p}}{I_{red}}\right)$$

Аналогічно отримуємо залежність для визначення дотичних напружень в стислій зоні бетону:

$$\tau_{xy} = \frac{V}{bI_{red}} \cdot \left(1 - \frac{MS_{red}}{VI_{red}}\right) \times \left(n_s S_s + S_{n-n}^{(p)} - S_{n-n}^{*,c} - 2\beta_{1t} \frac{I_{n-n}^{(p)} M}{I_{red}} + 2\beta_1 \frac{I_{n-n}^{(c)} M}{I_{red}}\right) \quad (14)$$

Якщо при виведенні формули τ_{xy} розглядати рівновагу верхньої відсіченої частини, то

$$\tau_{xy} = \frac{V}{bI_{red}} \cdot \left(1 - \frac{MS_{red}}{VI_{red}}\right) \times \left(S_{n-n}^{*,c} - 2\beta_1 \frac{I_{n-n}^{*,c} M}{I_{red}}\right) \quad (15)$$

де $\beta_1 = \frac{E_1}{E_{cm}}$

Найбільші дотичні напруження виникають на нейтральній осі. Їхню величину можна отримати використовуючи (14) або (15).

$$\begin{aligned} \max \tau_{xy} &= \frac{V}{bI_{red}} \cdot \left(1 - \frac{MS_{red}}{VI_{red}}\right) \times \left(n_s S_s + S_{n-n}^{(p)} - 2\beta_{1t} \frac{I_{n-n}^{(p)} M}{I_{red}}\right); \\ \max \tau_{xy} &= \frac{V}{bI_{red}} \cdot \left(1 - \frac{MS_{red}}{VI_{red}}\right) \times \left(S_{n-n}^{(c)} - 2\beta_{1t} \frac{I_{n-n}^{(c)} M}{I_{red}}\right) \end{aligned}$$

де $S_{red} = dI_{red} / dx$ її можна отримати використовуючи залежність: $B_{red}^{(x)} = B_{red}^0 \left(\frac{M^0}{M(x)}\right)^m$ обґрунтовану експеримен-

тально, [10, с. 9–16], m – параметр, що залежить від властивостей міцності та деформативних властивостей, кількості робочої арматури та тривалості дії навантаження.

Висновки

1. Отримано залежності для визначення дотичних напружень як функцій від значень внутрішніх зусиль у бетонних та залізобетонних балках при нелінійному законі деформування бетону.
2. Формули для дотичних напружень елемента, що враховують нелінійну складову закону деформування, крім поперечної сили містять відношення діючого в перерізі згинального моменту до моменту розрахункового бетонної балки.
3. Побудовано епюри дотичних напружень у розтягнутій та стислій зонах бетонного перерізу.
4. Для залізобетонної балки виведені формули визначення дотичних напружень з урахуванням змінності наведеного моменту інерції вздовж її осі.

Список використаної літератури

1. Бабіч Є.Є. Експериментальні дослідження роботи згинальних елементів трикутного профілю. *Збірник наукових статей «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. 1996. С. 94.
2. Бабіч Є.Є. Визначення внутрішніх зусиль в залізобетонних елементах трикутного профілю з урахуванням повної діаграми деформованого бетону. *Видавництво Української державної академії водного господарства. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. 1997. Випуск 21. С. 142–146.
3. Бабіч Є.М., Круєв Ю.О. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень: монографія / Є.М. Бабіч, Ю.О. Круєв; Вид-во РДТУ. Рівне, 1999. – С. 119.
4. Бабіч Е. М., Крусь Ю.А., Гарницкий Ю.В. Новые аппроксимации зависимости “напряжения-деформации”, учитывающие нелинейность деформирования бетонов. *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1996. № 2. – С. 39–44.
5. Бамбура А.Н. Развитие методов оценки напряженно-деформированного состояния и несущей способности железобетонных конструкций на основе реальных диаграмм деформирования материалов. *Научно-практические проблемы современного железобетона: материалы первой Всеукраинской науч.-техн. конф.*, м. Киев, 1996 р. Київ, 1996. С. 36–39.

6. Дорофеев В.С., Барданов В.Ю. Экспериментальное обоснование закона деформирования бетонов при загрузении однократной кратковременной нагрузкой. *Инф. Лист ОЦНТ и ЭЙ*. 1995. № 148. С. 4.

7. Вахненко П.Ф. Современные методы расчета железобетонных конструкций на сложные виды деформаций: монография. Київ: Будівельник, 1992. 112 с.

8. Вахненко П.Ф., Кондель В.М. Особенности деформирования неармированного и армированного бетона. *Видавництво Полтавського державного технічного університету. Проблеми теорії і практики залізобетону*. 1997. С. 77–80.

9. Дорофеев В.С., Барданов В.Ю. Косательные напряжения в железобетонной балке при нелинейном законе деформирования бетона. *Видавництво Полтавського державного технічного університету. Проблеми теорії і практики залізобетону*. 1997. С. 134–137.

10. Дорофеев В.С., Зінченко Г.В., Пушкар Н.В. Нормальні напруження в згинальних елементах при двуквадратичному законі деформування бетону. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Інженерні науки. Херсон, 2023. № 4 (83). С. 9–16.

11. Чобан Г.С. Расчет и конструирование железобетонных неразрезных балок на основе экспериментально-теоретических зависимостей между внутренними усилиями и жесткостью сечений: автореф. дис... к.т.н.: 05.23.01, Одесса, 1988. 16 с.

References

1. Babich Ye.Ie. (1996). Eksperymentalni doslidzhennia roboty zghynalnykh elementiv trykutnoho profilu. [Experimental studies of the operation of bending elements of a triangular profile]. *Zbirnyk naukovykh statei «Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy» – Collection of scientific articles "Resource-economic materials, constructions, buildings and structures"*, pp. 94.

2. Babich Ye.Ie. (1997). Vyznachennia vnutrishnikh zusyil v zalizobetonnykh elementakh trykutnoho profilu z urakhuvanniam povnoi diahramy deformovanoho betonu Hidromelioratsiia ta hidrotekhnichne budivnytstvo [Determination of internal forces in reinforced concrete elements of a triangular profile, taking into account the full diagram of deformed concrete]. *Vyd-vo Ukrainskoi derzhavnoi akademii vodnoho hospodarstva – Publishing House of the Ukrainian State Academy of Water Management. Hydromelioration and hydrotechnical construction*. Issue 21, pp. 142–146.

3. Babich Ye.M., Kruiiev Yu. O. (1999). *Betonni ta zalizobetonni elementy v umovakh malotsyklovykh navantazhen [Concrete and reinforced concrete elements under conditions of low-cycle loads]*. Rivne: RDTU Publishing House.

4. Babich E. M., Krus Yu.A., & Garnitskiy Yu.V. (1996). Novyie approksimatsii zavisimosti “napryazheniya-deformatsii”, uchityivayushchie nelineynost deformirovaniya betonov [New approximations of the stress-strain relationship, taking into account the nonlinearity of concrete deformation]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo i arhitektura – News from universities. Construction and architecture*, No 2, pp. 39–44.

5. Bambura A.N. (1996). Razvitie metodov otsenki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i nesushey sposobnosti zhelezobetonnykh konstruktсий na osnove realnykh diagram deformirovaniya materialov [Development of methods for assessing the stress-strain state and bearing capacity of reinforced concrete structures based on real material deformation diagrams]. Scientific and practical problems of modern reinforced concrete. *Materials of the first All-Ukrainian scientific and technical. conf.* (pp. 36–39). Kiev.

6. Dorofeev V.S., Bardanov V.Yu. (1995). Eksperimentalnoe obosnovanie zakona deformirovaniya betonov pri zagruzhennii odnokratnoy kratkovremennoy nagruzkoy [Experimental substantiation of the law of concrete deformation when loaded with a single short-term load] *Inf. List OTsNT i Ey – Inf. Sheet OCNT and EY*, No 148. P. 4.

7. Vahnenko P.F. (1992). Sovremennyye metodyi rascheta zhelezobetonnykh konstruktсий na slozhnyie vidy deformatsiy [Modern methods for calculating reinforced concrete structures for complex types of deformations]. Kyiv: Budivelnik. p. 12.

8. Vahnenko P.F., Kondel V.M. (1997). Osobennosti deformirovaniya nearmirovannogo i armirovannogo betona [Features of deformation of unreinforced and reinforced concrete]. *Vydavnytstvo Poltavskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Problemy teorii i praktyky zalizobetonu – Poltava State Technical University Publishing House. Problems of theory and practice of reinforced concrete*, pp. 77–80.

9. Dorofeev V.S., Bardanov V.Yu. (1997). Kosatelnyie napryazheniya v zhelezobetonnoy balke pri nelineynom zakone deformirovaniya betona [Shear stresses in a reinforced concrete beam under the nonlinear law of concrete deformation]. *Vydavnytstvo Poltavskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Problemy teorii i praktyky zalizobetonu – Poltava State Technical University Publishing House. Problems of theory and practice of reinforced concrete*, pp. 134–137.

10. Dorofieiev V.S., Zinchenko H.V., & Pushkar N.V. (2023). Normalni napruzhennia v zghynalnykh elementakh pry dvukvadratychnomu zakoni deformuvannia betona [Normal stresses in bending elements with the two-square law of concrete deformation] *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Inzhenerni nauky – Bulletin of the Kherson National Technical University. Engineering sciences*, No 4 (83), pp. 9–16.

11. Choban G.S. (1988). Raschet i konstruirovaniye zhelezobetonnykh nerazreznykh balok na osnove eksperimentalno-teoreticheskikh zavisimostey mezhdru vnutrennimi usiliyami i zhestkostyu secheniy [Calculation and design of reinforced concrete continuous beams based on experimental and theoretical relationships between internal forces and section stiffness]. *Extended abstract of candidate* Odessa.

О. І. КЛЮЄВ

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

С. А. РУСАНОВ

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

І. А. ШАТОХІНА

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

НОВІ КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ АВТОМОБІЛІВ

У даній роботі наведені розроблені конструкції теплових акумуляторів для передпускового прогрівання двигуна автомобіля. Пропонуються капсульний теплоакумулятор і теплоакумулятори у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників з різною будовою труб. Проведені стендові і натурні випробування теплоакумуляторів, які показали доцільність їх використання для передпускового нагрівання двигуна автомобіля, оскільки це забезпечує запуск двигуна без попереднього розігріву за 5–10 с. В результаті заощаджується паливо і покращуються санітарні умови за рахунок зменшення викидів відпрацьованих газів двигуна.

Запропоновано теплоакумулятор капсульного типу з шаховим розташуванням капсул. Капсули кріпляться за допомогою опірних решіток, а взаємне розміщення капсул усередині теплоакумулятора створює в ньому канали для протікання охолоджуючої рідини, що дозволяє рівномірно прогрівати теплоакумулятуючу речовину. Також це дозволяє інтенсифікувати процес теплообміну за рахунок збільшення швидкості теплоносія, що омиває їх. Запропонована також конструкція теплового акумулятора з U-подібними трубками, яка складається з подвійного герметичного корпусу з зазором під теплову рідину ізоляцію, в якому розміщений трубчастий електронагрівач, а внутрішня порожнина подвійного корпусу заповнена фазоперехідним теплоакумуляуючим матеріалом та містить U-подібний рідинний теплообмінник з оребренням. Патрубок для введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор оснащений електромагнітним клапаном, а патрубок для виведення охолоджуючої двигун рідини з теплового акумулятора оснащений насосом з електромагнітним клапаном.

Представлено також тепло акумулятори зі спіральною трубкою та зі змієвиковими трубами, в яких, на відміну від попередніх конструктивних рішень, теплоакумуляуючий матеріал і теплоносії знаходяться в одному просторі герметичного корпусу, що забезпечує підвищення теплопередачі безпосередньо і спрощення конструкції теплоакумулятора.

Ключові слова: теплоакумулятор, двигун внутрішнього згоряння, теплообмінник, автомобільний транспорт.

O. I. KLIUIEV

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

S. A. RUSANOV

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

I. A. SHATOKHINA

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

NEW DESIGNS OF HEAT ACCUMULATORS FOR THE PRE-START PREPARATION OF CAR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

This paper presents the designs of thermal accumulators we have developed for pre-heating of a car engine. We offer a capsule heat accumulator and heat accumulators in the form of shell-and-tube heat exchangers with different pipe structures. Bench and full-scale tests of heat accumulators have been carried out, showing the feasibility of their use for pre-start heating of a car engine, since this ensures starting the engine without preheating in 5–10 s. The result is fuel savings and improved sanitation by reducing engine exhaust emissions.

A capsule-type heat accumulator with a staggered arrangement of capsules is proposed. The capsules are secured using gratings, and the mutual placement of the capsules inside the heat accumulator creates channels in it for the flow of coolant, which allows the heat-accumulating substance to be evenly heated. This also makes it possible to intensify the heat exchange process by increasing the speed of the coolant washing them. A design of a heat accumulator with U-shaped tubes has also been proposed, consisting of a double sealed housing with a gap for thermal liquid insulation, in which a tubular electric heater is located, and the internal cavity of the double housing is filled with a phase-transition heat-accumulating material and contains a U-shaped liquid heat exchanger. The pipe for introducing the cooling engine fluid into the heat accumulator is equipped with a solenoid valve, and the pipe for removing the cooling engine liquid from the heat accumulator is equipped with a pump with a solenoid valve.

Heat accumulators with a spiral tube and coil pipes are also presented, in which, unlike previous design solutions, the heat-storing material and coolant are located in the same space of a sealed housing, which provides increased heat transfer directly and simplifies the design of the heat accumulator.

Key words: heat accumulator; internal combustion engine, heat exchanger; road transport.

Постановка проблеми

Ощадливе використання та збереження енергії, а також залучення для цього джерел енергії від різних теплоносіїв (енергії сонця, електричної, технологічних процесів тощо) є на сьогоднішній день актуальною задачею як з економічної, так і екологічної точки зору. Тому на протязі вже досить тривалого часу в науковій літературі наводяться дослідження, присвячені пристроям, які здатні акумулювати теплову енергію за рахунок розплавлення своєї робочої речовини та віддавати накопичену енергію в холодну пору. Така робоча речовина називається теплоакумлюючим фазоперехідним матеріалом, а пристрої мають відповідно назву теплоаккумуляторів з фазоперехідним (теплоакумлюючим) матеріалом [1; 2].

Такі тепло аккумулятори (далі ТА) використовуються у будівництві, сонячній енергетиці, енергозбереженні, сільському господарстві та ін. [1–7]. У транспортній техніці теплові аккумулятори застосовуються для вирішення проблеми швидкого запуску двигуна і обігріву салону транспортного засобу в холодну пору [8; 9]. Швидкий запуск двигуна дозволяє скоротити час, при якому двигун працює вхолосту, а разом з тим значно знизити витрату палива (за деякими даними на 7–20%) і зменшити викиди відпрацьованих газів в атмосферу [4].

Для отримання названого бажаного результату створюються різні конструкції теплоаккумуляторів, які відповідають конкретному призначенню, умовам використання і властивостям речовин, що використовуються для їхньої роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При розробці конструкції теплоакумулятору для передпускового прогрівання двигуна автомобіля першочергово вирішується питання про теплоносії, який можна використовувати для розплавлення теплоакумуляуючого матеріалу. Таким теплоносієм можуть бути відпрацьовані гази двигуна, охолоджуюча двигун рідина, котра при цьому нагрівається [6–8], обидві ці теплоносії одночасно, або інші джерела теплоти, як, наприклад, додаткові електричні нагрівачі. Наступним питанням є вибір типу теплоакумулятора за способом розміщення теплоакумуляуючого матеріалу. Зазвичай теплоакумулятори фазового переходу являють собою теплообмінники, де відбувається теплообмін між теплоакумуляуючим матеріалом і теплоносієм. В теплообмінниках виділяють «внутрішній» простір і «зовнішній» і кожна з названих речовин знаходиться у певному просторі. Теплоакумуляуючий матеріал (ТАМ) може знаходитись у запаяних капсулах («внутрішній простір»), які розташовані у середовищі теплоносія, що рухається («зовнішній простір»). Такого типу теплоакумулятори зазвичай називаються капсульними. Конструктивно такі теплові акумулятори являють собою протічну ємність, де так чи інакше закріплені капсули з теплоакумуляуючим матеріалом. Інше конструктивне рішення являє собою варіант кожухотрубчастого теплообмінника, де теплоакумуляуючий матеріал знаходиться у міжтрубному («зовнішньому» просторі), а теплоносії протікає по трубах (знаходиться у «внутрішньому» просторі).

Кожен з названих варіантів має певні переваги й недоліки. Так, розташування ТАМ в капсулах надає конструкції надійність, можливість створення значної теплообмінної поверхні, при цьому капсули можуть працювати як температурні компенсатори. Однак зазвичай необхідно встановлювати велику кількість капсул малого розміру у зв'язку з низькою теплопровідністю ТАМ, що призводить до великої трудомісткості виготовлення теплоакумуляторів, недостатньо раціонального використання об'єму (для циліндричних капсул), малої жорсткості конструкції (для плоских капсул). Особливо доцільне застосування капсульних теплоакумуляторів у випадках малих теплових потоків з теплообмінної поверхні.

При розміщенні теплоакумуляуючого матеріалу в міжтрубному просторі кожухотрубчастого теплообмінника зростає відсоток раціонального використання внутрішнього об'єму теплоакумулятора і застосування традиційної технології виготовлення теплообмінних апаратів. При такому виконанні ускладнено забезпечення теплового розширення, з іншого боку – це може бути скомпенсовано температурними компенсаторами.

Згідно з огляду літературних джерел [6; 7; 8], найбільш прийнятні для автомобільної техніки конструкції теплоакумуляторів являють собою корпус, який для забезпечення теплоізоляції може мати подвійні стінки; внутрішня порожнина цього корпусу заповнена фазоперехідним теплоакумуляуючим матеріалом, у якому розміщені трубки, по яких рухається теплоносії. Як теплоносії автори пропонують використовувати відпрацьовані гази двигуна автомобіля. Але слід відмітити, що ці гази мають температуру 600–700°C, що може призвести до термічної деструкції теплоакумуляуючого матеріалу, металу конструкції, а також до перегрівання рідини, яка охолоджує двигун, наслідком чого можливий вихід двигуна з ладу.

Формулювання мети дослідження

Ми поставили перед собою мету розробити більш досконалі конструкції теплових акумуляторів для передпускового прогрівання двигуна автомобіля.

Викладення основного матеріалу дослідження

Як теплоакумуляуючі матеріали ми використовували октагідрат гідроксиду барію $[\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ (для капсульного теплоакумулятора) і озокерит (для трубчастого теплоакумулятора), як теплоносії – охолоджуючу двигун рідину. При проектуванні використовували як капсульний варіант, так і теплоакумулятор у вигляді кожухотрубчастого теплообмінника.

При проектуванні таких пристроїв виникає необхідність моделювання їхньої роботи з метою визначення оптимальної поверхні теплопередачі, а з неї – кількості конструктивних елементів, таких як трубки апарату. Для подібного моделювання нами були розроблені прикладні програмні засоби в яких чисельними методами вирішувались рівняння теплового балансу системи циркуляції [10; 11]. При цьому була отримана система рівнянь теплового стану для кожного етапу роботи теплового акумулятора (зарядження, простоявання та розрядження). Отримане чисельне рішення такої системи для кожної запропонованої конструкції теплоакумулятора дозволяє зробити висновок про час прогріву рідини-теплоносія і двигуна (повинні бути найкоротшими), час розрядження теплоакумулятору (повинен бути якнайдовшим) для різних конструкцій теплоакумуляторів.

Окрім чисельних розрахунків, працездатність та ефективність роботи теплоакумулятору нами перевірялась шляхом стендових випробувань (рис. 1). Нагрівання теплоакумулятора здійснюється за рахунок електронагрівача 5, в нашому випадку на 1,5 кВт. Випробування проводяться тільки після нагріву теплоакумуляуючої речовини до температури 80 °C. Холодна рідина міститься в резервуарі 1, з якої після відкриття крана 2 протікає по трубопроводу 3, що пов'язує резервуар з теплоакумулятором, проходить через теплоакумулятор 4, і послідовно через трубопровід 6, що містить датчики контролю температури t_2 , t_3 потрапляє у резервуар для прогрітої речовини 7.

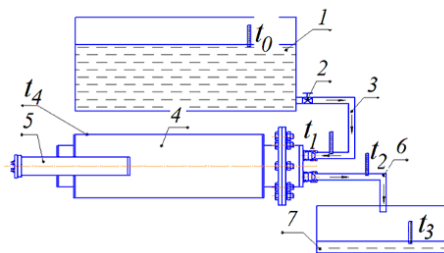


Рис. 1. Схема стенду для випробування ТА:

1 – резервуар з холодною рідиною, 2 – кран, 3, 6 – трубопроводи, 4 – теплоаккумулятор, 5 – електронагрівач, 7 – резервуар з нагрітою водою

Далі ми наведемо декілька перспективних нових конструкцій тепло акумуляторів, які мають достатньо високі робочі показники щодо тепловмісткості та простоти експлуатації.

Капсульний теплоаккумулятор являє собою ємність, по якій циркулює теплоносій і всередині якої закріплені капсули з теплоакмулюючим матеріалом (рис. 2). Як заготовки для капсул була вибрана безшовна алюмінієва труба зовнішнім діаметром 22 мм і товщиною стінки 1,25 мм. Вибраний діаметр представляється нам найбільш оптимальним, оскільки дозволяє одержати достатню площу поверхні контакту охолоджуючої рідини з капсулами при збереженні прийнятної трудомісткості виготовлення. У капсули заливався розплавлений теплоакмулюючий матеріал – октагідрат гідроксиду барію ($T_{пл} = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$). При цьому зверху залишався вільний простір для компенсації термічного розширення. Герметизація капсул здійснювалася завальцюванням труби після запресування в неї заздалегідь виготовлених сталевих пробок. Пробки забезпечені фасонними проточками, заповненими високотемпературним герметиком.

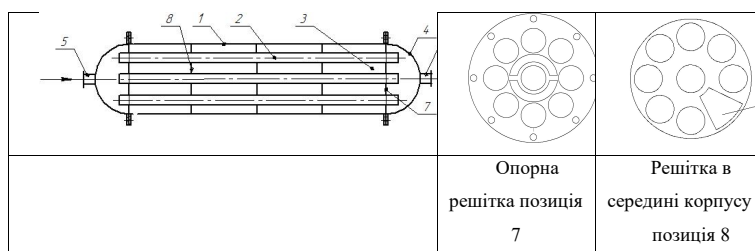


Рис. 2. Капсульний теплоаккумулятор:

1 – корпус; 2 – капсула з теплоакмулюючим матеріалом; 3 – зазор між капсулами; 4 – кришки; 5, 6 – штуцери для введення і виведення охолоджуючої двигун рідини; 7 – кріплення для капсул у вигляді решітки (показана справа)

У внутрішньому об'ємі за допомогою взаємного розташування капсул з теплоакмулюючим матеріалом формується потік рідини, завдяки чому можна мінімізувати гідравлічні втрати і поліпшити теплообмін між теплоносієм і теплоакмулюючою речовиною, що міститься в колбах.

Детальне прогнозування режимів течії рідини в міжтрубному просторі та теплових потоків [23] надає можливість провести вибір конфігурації розташування капсул з теплоакмулюючою речовиною, розрахувати тепловтрати та гідравлічні опори секцій тощо.

Капсули кріпляться за допомогою опірних решіток. Взаємне розміщення капсул усередині теплоаккумулятора створює в ньому канали для протікання охолоджуючої рідини, що дозволяє рівномірно прогрівати теплоакмулюючу речовину, що знаходиться в капсулах, а також інтенсифікувати процес теплообміну за рахунок збільшення швидкості теплоносія, що омиває їх. При цьому необхідно прагнути розмістити в заданому об'ємі максимальний об'єм теплоакмулюючого матеріалу. Найприйнятнішим способом розташування капсул усередині корпусу виявилось шахове розташування. Також інтенсифікації теплогообміну сприяють решітки всередині корпусу. Теплоносій рухається через решітки всередині корпусу по гвинтовій траєкторії. Це досягається за рахунок послідовного зміщення простору 9 у решітках всередині корпусу на 90°.

При шаховому розташуванні капсул уздовж потоку охолоджуючої рідини остання переміщається у горизонтальному напрямку по фактично прямолінійних каналах (зазор між капсулами 3, рис. 2), утворених простором

між капсулами. Така компоновка характеризується низьким гідравлічним опором і високою швидкістю течії рідини. Це позитивно позначається на продуктивності електричного циркуляційного насоса.

Нами також запропоновані різні конструктивні рішення теплоаккумуляторів у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників з різною будовою труб, по яких рухається охолоджуюча двигун рідина – теплоносій для теплоаккумулятора.

На рис. 3 показана конструкція теплового акумулятору з U-подібними трубами. Теплоаккумулятор складається з подвійного герметичного корпусу 1 з зазором 2 під теплову рідину ізоляцію. У цьому зазорі розміщений трубчастий електронагрівач. Внутрішня порожнина 4 подвійного корпусу заповнена фазоперехідним теплоакмулюючим матеріалом 5 та містить U-подібний рідинний теплообмінник з оребренням 7. Патрубок 10 для введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор, оснащений електромагнітним клапаном 11; патрубок 12 для виведення охолоджуючої двигун рідини з теплового акумулятора, оснащений насосом 13 та електромагнітним клапаном 14.

Тепловий акумулятор функціонує таким чином. При русі автомобіля відбувається зарядження теплового акумулятора тепловим носієм заряду – гарячою охолоджуючою двигун рідиною, яка циркулює за допомогою насоса (не показаний) системи охолодження двигуна по замкненому контуру через патрубок 10 (електромагнітний клапан 11 відкритий), колекторну камеру 9, U-подібний рідинний теплообмінник 6 та патрубок 12 (електромагнітний клапан 14 закритий). Проходячи по U-подібному рідинному теплообміннику, охолоджуюча двигун рідина нагріває фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал 5 і підтримує його у розплавленому і нагрітому до температури 95-102 °С стані. При зупинці автомобіля відбувається відключення теплового акумулятора від системи охолодження двигуна за допомогою електромагнітного клапана 11 (закритий). В період стоянки автомобіля відбувається охолодження теплоакмулюючого матеріалу і охолоджуючої двигун рідини, теплоакмулюючий матеріал кристалізується, за рахунок чого виділяється тепло, яке підтримує температуру рідини на рівні 40–45 °С на протязі від 12 годин до однієї доби в залежності від теплоізоляції теплового акумулятора. Для функціонування теплового акумулятора з метою передпускового прогріву двигуна автомобіля вмикають насос 13, організуючи циркуляцію теплоносія (холодну охолоджуючу двигун рідину) по вищезгаданому замкненому контуру з U-подібним рідинним теплообмінником (клапани 11, 14 відкриті), із якого підігріта охолоджуюча двигун рідина надходить до оболонки охолодження двигуна. При тривалій стоянці автомобіля вмикається електронагрівач 3, який нагріває теплову рідину ізоляцію (воду) у зазорі 2 подвійного герметичного корпусу поз. 1 до 80 °С. Цього достатньо, щоб розплавити фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал та здійснити передпусковий прогрів двигуна. При пуску двигуна (насос 13 відключений, електромагнітний клапан 14 закритий) відбувається за допомогою насоса системи охолодження двигуна циркуляція охолоджуючої рідини по вище згаданому – тепловий акумулятор заряджається.

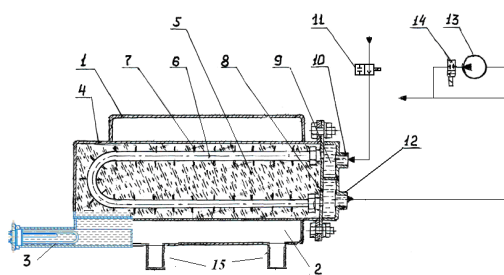


Рис. 3. Конструктивне рішення теплоаккумулятора

у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників з U-подібними трубками:

- 1 – подвійний герметичний корпус; 2 – зазор між зовнішньою стінкою і внутрішньою порожниною;**
- 3 – трубчастий електронагрівач; 4 – внутрішня порожнина корпусу; 5 – теплоакмулюючий матеріал;**
- 6 – U-подібні труби; 7 – оребрення; 8 – трубна решітка; 9 – колекторна камера; 10 – патрубок для введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор; 11, 14 – електромагнітні клапани;**
- 12 – патрубок для виведення охолоджуючої двигун рідини з теплового акумулятора; 13 – насос;**
- 15 – штуцери для введення та виведення теплової рідинної ізоляції**

На рис. 4 показаний теплоаккумулятор зі спіральною, а на рис. 5 – зі змієвиковими трубами.

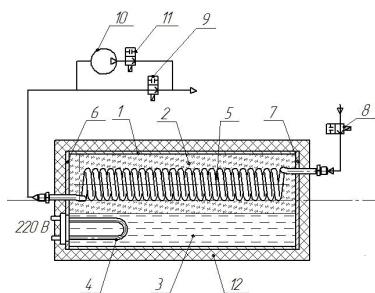


Рис. 4. Конструктивне рішення теплоаккумулятора у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників зі спіральною трубкою

Позначення – на рис. 5.

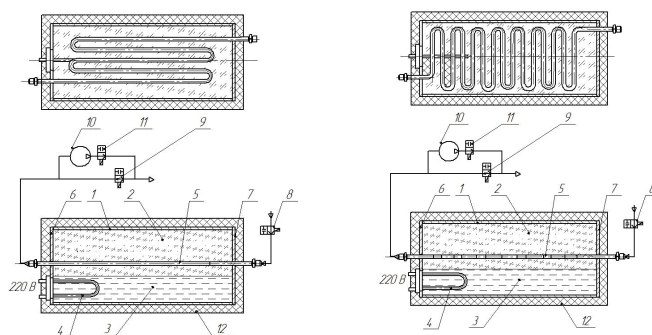


Рис. 5. Конструктивне рішення теплоаккумулятора у вигляді кожухотрубчастих теплообмінників зі спіральною трубкою:
а – витки розташовані паралельно осі теплоаккумулятора;
б – витки розташовані перпендикулярно осі тепло аккумулятора.

- 1 – герметичний корпус; 2 – фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал; 3 – вода;**
4 – трубчастий електронагрівач; 5 – спіральна або змієвикові труби; 6, 7 – трубна решітка;
8, 9, 11 – електромагнітні клапани заряду-розряду; 10 – насос для циркуляції охолоджуючої двигун рідини; 12 – теплоізолюючий матеріал

Теплоаккумулятори, зображені на рис. 4, 5, працюють аналогічно конструкції рис. 3. Різниця в конструктивних рішеннях полягає у тому, що фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал і теплоносій, які в конструкції рис. 3 розділені, у конструкціях рис. 4, 5 знаходяться в одному просторі герметичного корпусу 1, що забезпечує підвищення теплопередачі безпосередньо і спрощення конструкції теплоаккумулятора.

Випробування вказаних на рис. 3–5 теплоаккумуляторів на стенді (рис. 1) показало, їх використання для передпускового нагрівання двигуна автомобіля забезпечує запуск двигуна без попереднього розігріву за 5–10 с. Це дозволяє заощадити паливо і покращити санітарні умови за рахунок зменшення викидів відпрацьованих газів двигуна.

Висновки

За результатами досліджень запропоновано низку конструкторських рішень для теплоакмуляційної техніки з теплоакмулюючим матеріалом фазового переходу. Запропоновано теплоаккумулятор капсульного типу з шаховим розташуванням капсул, при цьому капсули кріпляться за допомогою опорних решіток, а взаємне розміщення капсул усередині теплоаккумулятора створює в ньому канали для протікання охолоджуючої рідини, що дозволяє рівномірно прогрівати теплоакмулюючу речовину, що знаходиться в капсулах, а також інтенсифікувати процес теплообміну за рахунок збільшення швидкості теплоносія, що омиває їх.

Також запропонована конструкція теплового акумулятору з U-подібними трубами, яка складається з подвійного герметичного корпусу з зазором під теплову рідинну ізоляцію, в якому розміщений трубчастий електронагрівач, а внутрішня порожнина подвійного корпусу заповнена фазоперехідним теплоакмулюючим матеріалом та містить U-подібний рідинний теплообмінник з оребренням, при цьому патрубок для введення охолоджуючої двигун рідини у тепловий акумулятор оснащений електромагнітним клапаном, а патрубок для виведення охолоджуючої двигун рідини з теплового акумулятора оснащений насосом з електромагнітним клапаном.

Представлено також теплоаккумулятори зі спіральною трубкою та зі змієвиковими трубами, в яких, на відміну від попередніх конструктивних рішень, фазоперехідний теплоакмулюючий матеріал і теплоносії знаходяться в одному просторі герметичного корпусу, що забезпечує підвищення теплопередачі безпосередньо і спрощення конструкції теплоаккумулятора.

Список використаної літератури

1. Wang G., Dannemand M., Chao Xu, Englmaier G., Furbo S., Fan J. (2021). Thermal characteristics of a long-term heat storage unit with sodium acetate trihydrate. [Applied Thermal Engineering]. 187. P. 133–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116563>
2. Solomon L, Zheng Y, Tuzla K, Neti S, Oztekin A. (2018). Analysis of an encapsulated phase change material based energy storage system for high temperature applications. [International Journal of Energy Research]. 42 (7). P. 2518–2535.
3. Kenisarin M, Mahkamov K. (2016). Passive thermal control in residential buildings using phase change materials. [Renew Sustain Energy Rev]. 55. P. 371–398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.128>
4. Sarbu I, Dorca A. (2019). Review on heat transfer analysis in thermal energy storage using latent heat storage systems and phase change materials. [Int J Energy Res. 43]. P. 29–64. DOI: <https://doi.org/10.1002/er.4196>.
5. Zhang H, Baeyens J, Caceres G, Degreve J, Lv Y. (2016). Thermal energy storage: recent developments and practical aspects. [Progress in Energy and Combustion Science]. 53. P. 1–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2015.10.003>
6. Wang M. (2017). Integration and Validation of a Thermal Energy Storage System for Electric Vehicle Cabin Heating. [Mingyu Wang, Timothy Craig, and Edward Wolfe//Journal Volume, Detroit, Michigan, United States of America, Conference]. P. 2–8. DOI: <https://doi.org/10.4271/2017-01-0183>.
7. Belik S. (2017). Thermal Energy Storage Systems: Power-to-Heat Concepts in Solid Media Storage for High Storage Densities / Sergej Belik, Volker Dreißigacker, Mila Dieterich and Werner Kraft/ [Journal of Traffic and Transportation Engineering]. 5. P. 285–294. DOI: <https://doi.org/10.17265/2328-2142/2017.06.001>.
8. Ключев О.І., Русанов С.А., Аппазов Е.С., Луняка К.В., Коновалов Д.В., Мацків Б.М. Тепловий акумулятор системи передпускового прогріву двигуна внутрішнього згорання. Патент на корисну модель № 137780 від 11.11.2019. Бюл. № 21.
9. Pyhtya V. A. Experimental studies of the engine preheating system with a thermal battery, Visnyk SNU im. Volodymyra Dalia [Bulletin of the Volodymyr Dahl SNU], 2010. № 6 (148). P. 246–251.
10. Аппазов Е.С. Моделирование гидродинамических та тепловых процессов при передпусковой подготовке автомобильных двигателей / Е.С. Аппазов, О.І. Ключев, С.А. Русанов // Научный вестник Херсонской государственной морской академии: научный журнал. – Херсон: Вид-во ХДМА, 2014. № 1(10). С. 131–136.
11. Дмитрієв Д.О., Аппазов Е.С., Русанов С.А., Ключев О.І. Моделирование процесса розігріву двигуна з тепловим акумулятором при передпусковой подготовке // Вісник Хмельницького національного університету, № 5, 2015, С. 54–58.

References

1. Wang G., Dannemand M., Chao Xu, Englmaier G., Furbo S., Fan J. (2021). Thermal characteristics of a long-term heat storage unit with sodium acetate trihydrate. [Applied Thermal Engineering]. 187. P. 133–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116563>
2. Solomon L, Zheng Y, Tuzla K, Neti S, Oztekin A. (2018). Analysis of an encapsulated phase change material based energy storage system for high temperature applications. [International Journal of Energy Research]. 42 (7). P. 2518–2535.
3. Kenisarin M, Mahkamov K. (2016). Passive thermal control in residential buildings using phase change materials. [Renew Sustain Energy Rev]. 55. P. 371–398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.128>
4. Sarbu I, Dorca A. (2019). Review on heat transfer analysis in thermal energy storage using latent heat storage systems and phase change materials. [Int J Energy Res. 43]. P. 29–64. DOI: <https://doi.org/10.1002/er.4196>.
5. Zhang H, Baeyens J, Caceres G, Degreve J, Lv Y. (2016). Thermal energy storage: recent developments and practical aspects. [Progress in Energy and Combustion Science]. 53. P. 1–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2015.10.003>
6. Wang M. (2017). Integration and Validation of a Thermal Energy Storage System for Electric Vehicle Cabin Heating. [Mingyu Wang, Timothy Craig, and Edward Wolfe//Journal Volume, Detroit, Michigan, United States of America, Conference]. P. 2–8. DOI: <https://doi.org/10.4271/2017-01-0183>.
7. Belik S. (2017). Thermal Energy Storage Systems: Power-to-Heat Concepts in Solid Media Storage for High Storage Densities / Sergej Belik, Volker Dreißigacker, Mila Dieterich and Werner Kraft/ [Journal of Traffic and Transportation Engineering]. 5. P. 285–294. DOI: <https://doi.org/10.17265/2328-2142/2017.06.001>.
8. Kliuiev O.I., Rusanov S.A., Appazov E.S., Luniaka K.V., Kononov D.V., Matskiv B.M. (2019). Teplovyi akumuliator systemy peredpuskovoho prohrivu dvyhuna vnutrishnoho zghorannia. [Patent na korysnu model № 137780 vid 11.11.2019. Biul. № 21].
9. Pyhtya V.A. (2010). Experimental studies of the engine preheating system with a thermal battery, Visnyk SNU im. Volodymyra Dalia [Bulletin of the Volodymyr Dahl SNU], № 6 (148). P. 246–251.
10. Appazov E.S. (2014). Modeliuvannia hidrodynamichnykh ta teplovykh protsesiv pry peredpuskovii pidhotovtsi avtomobilnykh dvyhuniv / E.S. Appazov, O.I. Kliuiev, S.A. Rusanov. [Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii: naukovyi zhurnal]. – Kherson: Vyd-vo KhDMA, № 1(10). – S. 131–136.
11. Dmytriiev D.O., Appazov E.S., Rusanov S.A., Kliuiev O.I. (2015). Modeliuvannia protsesu rozihrivu dvyhuna z teplovyim akumuliatorom pry peredpuskovii pidhotovtsi. [Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu], № 5, S. 54–58.

В. М. КОЛОДНЕНКО

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

О. І. ДРАНИК

старший викладач
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0009-0000-5364-8183

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РУХУ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПО МОСТУ З УРАХУВАННЯМ ЗНАКІВ

В умовах сьогодення важливим є якісне та належне користування усіма наданими людині засобами праці, комфорту, користування тощо. В результаті повноцінного використання тих чи інших ресурсів є можливість задоволення потреб людини за, одночасного, раціонального користування наданими можливостями. Правилами дорожнього руху визначено безліч показників, норм та правил для належного користування дорогами, шляхопроводами, тунелями, польовими дорогами тощо. Так чи інакше, кожен із таких об'єктів є окремим видом в дослідженні правил дорожнього руху та користування дорожнім покриттям на ньому. Важливого значення на сьогодні набуває користування такими дорожніми частинами маршруту транспортного засобу, як мости. Під терміном, що наведений у Правилах дорожнього руху, міст розуміють як споруду, що призначена для руху транспортними засобами через річку, яр й інші перешкоди. При цьому, межами якої є початок та кінець пролітних споруд. Варто розуміти, що введення даного терміну зумовлено особливостями у певних режимах руху, зокрема зупинках та стоянках транспортних засобів на мостах та під ними. Згідно з класифікацією, подібних споруд існує кілька. Мостом є переправа через водну перешкоду чи нерівності ландшафту, тобто яри. А ось, для прикладу, шляхопроводом є переправа тоді, коли дві дороги перетинаються на різних рівнях, та при цьому є можливість із однієї дороги заїхати чи з'їхати на іншу дорогу, чи перетин із залізницею на різних рівнях.

У даній статті представлено дослідження закономірностей руху вантажних транспортних засобів по мосту з урахуванням знаків. У зв'язку із цим до дослідження висунуто такі основні задачі:

- провести дослідження мосту міста з активним дорожнім рухом;
- показати наявність на мосту відповідних до поставленого завдання заборонних знаків;
- проаналізувати рух кількох вантажних транспортних засобів як з причепом, так і із напівприцепом та без них;
- аналітично розрахувати порушення або їх відсутність при користування мостом представленими транспортними засобами різних марок;
- дослідження провести загалом на вантажних автомобілях, задіяних на перевезенні зерна.

Результатом дослідження, проведеного в даній роботі, є отримана закономірність щодо можливих недоданностей транспортних засобів, задіяних на перевезенні зерна окремим об'єктами, указаними у їх маршрутах.

Ключові слова: транспортний засіб, зерно, вантаж, дорожні знаки, міст, порушення, перевантаження, автомобіль, причеп, покриття.

V. M. KOLODNENKO

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

O. I. DRANIK

Senior Lecturer
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0009-0000-5364-8183

STUDY OF PATTERNS OF MOVEMENT OF FREIGHT VEHICLES ON THE BRIDGE TAKING INTO ACCOUNT THE SIGNS

In today's conditions, high-quality and proper use of all means of work, comfort, use, etc. provided to a person is important. As a result of the full use of certain resources, it is possible to satisfy human needs for the simultaneous, rational use of the provided opportunities. Traffic rules define many indicators, norms and rules for the proper use of roads, overpasses, tunnels, field roads, etc. One way or another, each of these objects is a separate species in the study

of road traffic rules and the use of the road surface on it. The use of such road parts of the vehicle route as bridges is gaining importance today. Under the term given in the Road Traffic Rules, a bridge is understood as a structure designed for the movement of vehicles across a river, ravine and other obstacles. At the same time, the boundaries of which are the beginning and end of span structures. It should be understood that the introduction of this term is due to the peculiarities of certain traffic modes, in particular, stops and parking of vehicles on and under bridges. According to the classification, there are several such structures. A bridge is a crossing over a water obstacle or unevenness of the landscape, i.e. ravines. But, for example, an overpass is a crossing when two roads cross at different levels, and at the same time there is an opportunity to enter or exit from one road to another road, or a crossing with a railway at different levels.

This work presents a study of the patterns of movement of freight vehicles on the bridge, taking into account the signs. In this regard, the following main tasks were put forward for the study:

- conduct a study of the city bridge with active traffic;
- show the presence of prohibition signs on the bridge corresponding to the assigned task;
- analyze the movement of several cargo vehicles, both with and without a trailer, semi-trailer;
- analytically calculate violations or their absence when using the bridge by the presented vehicles of different brands;
- the research should be conducted in general on trucks used in the transportation of grain.

The result of the research carried out in this work is the obtained regularity regarding possible underloading of vehicles involved in the transportation of grain by individual objects specified in their routes.

Key words: vehicle, grain, cargo, road signs, bridge, violation, overload, car, trailer, coating.

Постановка проблеми

Важливого значення на сьогодні набуває користування такими дорожніми частинами маршруту транспортного засобу, як мости. Під терміном, що наведений у Правилах дорожнього руху, міст розуміють як споруду, що призначена для руху транспортними засобами через річку, яр й інші перешкоди. При цьому, межами якої є початок та кінець подібних споруд. Варто розуміти, що введення даного терміну зумовлено особливостями у певних режимах руху, зокрема зупинках та стоянках транспортних засобів на мостах та під ними. Згідно з класифікацією, подібних споруд існує кілька. Мостом є переправа через водну перешкоду чи нерівності ландшафту, тобто яри. А ось, для прикладу, шляхопроводом є переправа тоді, коли дві дороги перетинаються на різних рівнях, та при цьому є можливість із однієї дороги заїхати чи з'їхати на іншу дорогу, чи перетин із залізницею на різних рівнях.

Однак, актуальним питанням залишається дослідження закономірностей руху вантажного транспорту через мости в умовах обмежень, що накладаються з точки зору обмеження маси, що припадає на вісь транспортного засобу. Таким знаком забороняють рух транспортних засобів, в яких фактична маса, що припадає на будь-яку з осей, перевищує зазначену на знакові. Крім такої характерної особливості користування вантажним транспортним засобом на мосту, актуальним питанням є перевищення вантажопідйомності транспортного засобу, що прописано заводом-виробником автомобіля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Міська логістика вважається однією із найбільших проблем у вантажних перевезеннях, оскільки вона вимагає переміщення товарів у містах зі складною дорожньою мережею, а також серйозними пробками на дорогах та високою щільністю населення. Тим часом, нещодавній бум електронної комерції, прискорений пандемією, робить міську логістику проблемою, що швидко зростає [2]. Проблема міської логістики є проблемою, перш за все, вантажоперевезень. Розрізненість клієнтів у містах призводить до масових об'їздів вантажівок для збору, відправлення та доставки вантажів. Додаткові кілометри, викликані цими об'їздами, безсумнівно, сприяють збільшенню викидів та посиленню пробок.

Вантажні автомобілі, що перевищують встановлені законом обмеження на вісь та повну масу транспортного засобу, можуть завдати серйозної шкоди інфраструктурі та підвищити ризик дорожньо-транспортних пригод. Тому, важливим є забезпечення дотримання вантажних перевізників правил ваги. У статті [3] наведено всебічний огляд того, як технологія зважування в русі використовувалася для покращення регулювання ваги вантажних автомобілів у Китаї. Зокрема, для вантажних автомобілів, що користуються платними дорогами, запроваджується метод оплати за вагою.

Порівняно з традиційною структурою стягування плати за проїзд на основі класу транспортного засобу, метод оплати за вагою встановлює справедливую структуру плати, яка не дозволяє перевантаженим вантажівкам використовувати переваги непереважених вантажівок. Це також дає вантажним перевізникам можливість помірною навантаження за рахунок вищих ставок дорожніх зборів. Цей документ також пропонує механізм інтеграції плати за проїзд по вазі з ефективним контролем ваги для правил ваги вантажних автомобілів. Це заохочує перевантажені вантажівки використовувати платні дороги замість вразливих неплатних доріг і допомагає місцевим органам влади отримувати додаткові доходи, такі необхідні для будівництва та утримання автомагістралей, а також контролю за вагою вантажівок. Крім того, у цій статті вказуються технічні та управлінські проблеми, що впливають на використання такої системи [3].

У періоди експлуатації мостів основним змінним навантаженням, що вони несуть, є навантаження від транспортних засобів. Однак, для динамічних транспортних потоків через їх високий ступінь невизначеності

і випадковості важко отримати фактичні дані щодо транспортного потоку за допомогою ефективного і точного методу. Перевантаження вантажних транспортних засобів прискорюватиме пошкодження доріг, створюватиме небезпосередню конкуренцію на транспортному ринку і збільшуватиме ризики безпеки. Існує брак досліджень по збиранню даних про вагу вантажних транспортних на автомагістралях, і тому статтю [11] спрямовано на виявлення факторів, які впливають на перевантаження автомобільних вантажів, на основі даних з метою розробки стратегій щодо пом'якшення таких явищ.

Формулювання мети дослідження

За напрям досліджень в даній роботі обрано дослідження закономірностей руху вантажних транспортних засобів, зерновозів, по мосту з обмеженням допустимої маси по осям.

В основу методології проведення дослідження покладено експеримент з руху вантажних транспортних засобів по мосту. В результаті, основним методом вважається експеримент, у ході якого виявляється порушення норми фактичної маси вантажного транспортного засобу з точки зору дії заборонного знаку.

Аналіз характерних особливостей руху вантажних транспортних засобів визначенням об'єктом має здійснюватися з огляду на характер руху транспорту. Об'єкт є сполучним, по якому здійснюється рух цивільного транспорту, службового транспорту, маршрутних транспортних засобів, комунального та сільськогосподарського транспорту.

Викладення основного матеріалу дослідження

Аналізуючи усі наявні знаки, якими відділено міст, аналізу підпадає заборонний знак «Рух пішоходів заборонено», що встановлений на одному із тротуарів у одному із напрямків руху. Основним із дорожніх знаків, на яких базувалося дане дослідження є заборонний знак «Рух транспортних засобів, навантаження на вісь яких перевищує 12 т, заборонено». Згідно з Правилами дорожнього руху, знаком забороняється рух транспортних засобів, в яких фактичне навантаження на будь-яку з осей складає значення, що є більшим 12 т. Як і прописано в Правилах дорожнього руху, дія знаку поширюється саме на ту дорогу (чи ділянку дороги), на початку яких встановлений цей знак. В даному випадку, обмеження стосуються лише дороги, що відноситься до мосту.

Робота транспортних составів на транспортуванні зерна пролягає за чітко вираженими маршрутами. Відповідним чином, рух транспортних засобів відбувається з необхідною документацією. Згідно з Наказом № 363 Про затвердження Правил перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні, товарно-транспортна документація є комплектом юридичних документів, на підставі яких здійснюється облік, приймання, передавання, а також перевезення, здавання вантажів та взаємні розрахунки між учасниками у транспортному процесі.

У відповідності з примітками до характеристики знаку «Обмеження маси, що припадає на вісь транспортного засобу» Правил дорожнього руху, навантаження на вісь вантажного автомобіля розподіляється таким чином:

- у двовісних автомобілях – 1/3 на передню частину, а 2/3 на задню вісь;
- на тривісних автомобілях – по 1/3 для кожної з осей.

Таким чином, основою для аналізу руху вантажного транспорту по мосту вважаємо дію заборонного знаку «Обмеження маси, що припадає на вісь транспортного засобу» з приміткою щодо розважування по осям двовісного та тривісного транспортного засобу.

Базуючись на основному додатку, указаному в Правилах дорожнього руху до знаку «Обмеження маси, що припадає на вісь транспортного засобу», аналіз має містити в собі окремий розподіл маси по осям для двовісних транспортних засобів та окремо для тривісних транспортних засобів. Окремо слід провести аналіз руху автопоїздів, де розподіл по осям здійснюється рівномірно, тобто фактична сама усього автопоїзду рівномірно розподіляється на кожну із осей.

З іншого боку, беручи до уваги місткість кузова кожного з представлених вантажного транспортного засобу, є можливість аналізувати завантаження кожного із них різними культурами. Для прикладу, слід розглянути пшеницю та соняшник.

Додатковим параметром для аналізу може бути заявлена повна маса транспортного засобу заводом-виробником.

В результаті аналізу за даними кількох факторами є можливість робити висновки щодо порушення правил руху по мосту транспортним засобом або їх відсутності для нього.

Аналіз автопоїздів показує, що за однакового об'єму кузова 65 м³ перевезення повного об'єму вантажу не є припустимим. Технічними характеристиками напівпричепів указано вантажопідйомність – 32000 кг, а власну масу причепа – 7000 кг. Відповідно, фактична маса причепа маж складати 39000 кг.

Внаслідок цього, повне завантаження 65 м³ становитиме масу – 52000 кг. Аналогічними чином можна визначити, що 65 м³ соняшника за відносної густини 550 кг/м³ складатимуть 35750 кг.

З іншого боку за повного завантаження кузова причепа фактична маса причепа автопоїзда становитиме:

$$M_{\text{прич факт}} = M_3 \cdot V + M_{\text{прич}}, \quad (1)$$

де M_3 – маса зерна на 1 м³, пшениця, за вологості до 15%, – 750–800 кг/м³, соняшник – 550 кг/м³;

V – об'єм кузова;

$M_{\text{прич}}$ – власна маса причепа/авто.

Тоді, повна маса причепів пшениці та соняшника становитиме відповідно:

$$M_{\text{прич факт пшен}} = 800 \cdot 65 + 7000 = 59000 \text{ кг}$$

$$M_{\text{прич факт соняшн}} = 550 \cdot 65 + 7000 = 42750 \text{ кг}$$

Очевидно, що експлуатація автопоїзда є допустимою лише за дотримання вимог заводу-виробника транспортного засобу. Результаті, визначено, що експлуатація показаних составів є можливою лише за неповного їх завантаження, що складає 39000 кг повної маси для причепа.

Додавши масу тягача, в даному випадку, – Daf XF 105 (власна маса 7200 кг), Renault MAGNUM 480 (власна маса 7700 кг) та Volvo FH 440 (власна маса 7300 кг), отримаємо повну масу автопоїзда:

$$M_{\text{повн автоп}} = M_{\text{тяг}} + M_{\text{прич факт}},$$

$$M_{\text{повн автоп Daf XF 105}} = 7200 + 39000 = 46200 \text{ кг} \quad (2)$$

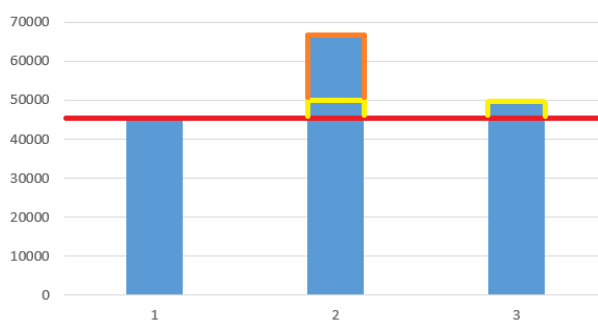


Рис. 1. Графік перевищення допустимої маси автопоїздом А.
1 – допустима фактична маса; 2 – маса з пшеницею; 3 – маса з соняшником

За розподілу маси по осям на автопоїзд у складі двовісного тягача та тривісного напівпричепа повна маса не повинна перевищувати 60000 кг у відповідності до дії заборонного знаку.

Аналізуючи автопоїзд, – КАМАЗ 45143-62 з причепом Нефаз 8560-02, фактична маса якого має складати, згідно з технічними характеристиками, 34150 кг (19150 кг – автомобіль та 15000 кг – причеп), можна зробити висновок, що за дотримання належної вантажопідйомності його експлуатація є можливою на маршрутах, що пролягають через досліджуваний об'єкт. Адже, розподіл маси по п'яти осям автопоїзда становить 6380 кг в середньому на кожну з осей, що є допустимим при дії заборонного знаку. Однак, за повного завантаження кузовів автомобіля та причепа, що складає 40 м³ з урахуванням надставних бортів, маси автомобіля та причепа складатимуть:

$$M_{\text{авто факт пшен}} = 800 \cdot 20 + 9500 = 25500 \text{ кг}$$

$$M_{\text{авто факт соняшн}} = 550 \cdot 20 + 9500 = 20500 \text{ кг}$$

$$M_{\text{прич факт пшен}} = 800 \cdot 20 + 5000 = 21000 \text{ кг}$$

$$M_{\text{прич факт соняшн}} = 550 \cdot 20 + 5000 = 16000 \text{ кг}$$

Відповідно, повна маса автопоїзда складатиме:
для пшениці:

$$M_{\text{повн автоп камаз}} = 25500 + 20500 = 46000 \text{ кг}$$

для соняшнику:

$$M_{\text{повн автоп камаз}} = 20500 + 16000 = 36500 \text{ кг}$$

Аналізуючи отримані дані, можна вважати, що навіть за повного завантаження кузовів автомобіля та причепа, рух автопоїзда за маршрутами, прокладеними через досліджуваний об'єкт, є допустимими з огляду на розподіл по осям, що складає 9200 кг на кожну з осей за максимального завантаження пшеницею.

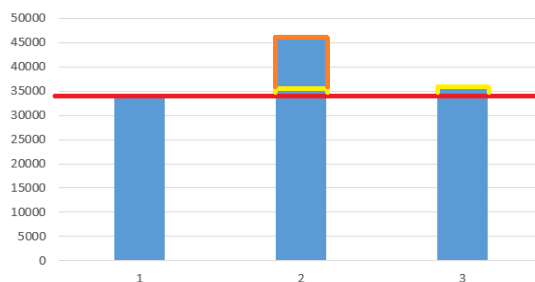


Рис. 2. Графік перевищення допустимої маси автопоїздом В.
1 – допустима фактична маса; 2 – маса з пшеницею; 3 – маса з соняшником

Автопоїзд, IVECO Stralis 500 з напівпричепом Van Hool NV, має заявлену фактичну масу, що становить 61000 кг. Це пояснюється масою тягача, що складає 9000 кг та фактичною масою напівпричепа, що складає 12000 кг власної маси та 40000 кг вантажопідйомності. Без додаткових математичних розрахунків стає зрозумілим, що маса автопоїзда не є допустимою для експлуатації по маршрутах, прокладених через досліджуваний об'єкт. З огляду на розважування по осям, за повної маси 61000 кг при дії заборонного знаку експлуатація не є можливою через перевищення маси по осям.

Отримуючи такий результат, виникає закономірність «недовантаження» транспортного засобу через обмеження, накладені заборонними знаками, що діють на проміжках маршруту, прокладеного замовником.

Розрахунок повної маси автопоїзда, показано нижче:

$$M_{\text{прич факт пшен}} = 800 \cdot 75 + 12000 = 72000 \text{ кг}$$

$$M_{\text{прич факт соняшн}} = 550 \cdot 75 + 12000 = 53250 \text{ кг}$$

$$M_{\text{повн автоп IVECO}} = 9000 + 72000 = 81000 \text{ кг}$$

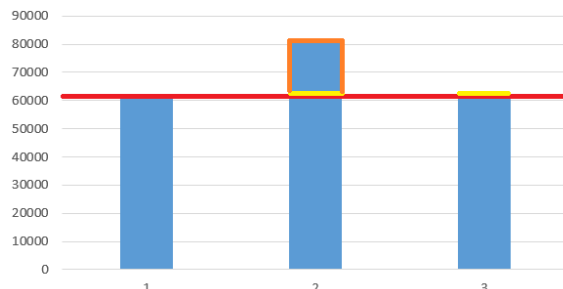


Рис. 3. Графік перевищення допустимої маси автопоїздом С.
1 – допустима фактична маса; 2 – маса з пшеницею; 3 – маса з соняшником

Отримані дані можуть свідчити про фактичне не лише перевантаження транспортного засобу у разі повного заповнення об'єму кузова напівпричепа, а і про порушення дії заборонного знаку на 35%, що складає 16200 кг на кожну з осей при обмеженні знаку в 12000 кг на вісь.

Проаналізовані автопоїзди, графіки перевищення допустимої маси яких можуть бути частково використовуваними на досліджуваному об'єкті дороги. Аналізуючи кожен із них слід сказати, що найбільш безпечним з точки зору користування на мостах є автопоїзд у складі автомобіля КАМАЗ 45143-62 з причепом Нефаз 8560-02. Порівняно менше прогнозування повної маси автопоїзду заводом-виробником відіграє важливе значення з точки зору запасу по допустимій масі автопоїзду при проектуванні окремих ділянок доріг. Крім того, порівняно менший об'єм кузовів автомобіля та причепа надмірно не обтяжують його додатковою масою у разі повного завантаження, за виключенням завантаження такими культурами, як пшениця ($750\text{--}800 \text{ кг/м}^3$), кукурудза (760 кг/м^3), соя (720 кг/м^3).

Автопоїзд, – Daf XF 105 з напівпричепом Schmitz S-01, показав значно більші показники щодо максимальної маси автопоїзду, прописані заводом-виробником, а також показники повного завантаження кузова напівпричепа зерновими культурами. В результаті визначено, що експлуатація такого автопоїзду на досліджуваній ділянці руху є припустимою за повної відповідності нормам, прописаним заводом-виробником та при максимальному завантаженні соняшником.

Аналіз показав, що використання таких транспортних засобів може бути допустимим лише у разі недовантаження його навіть до допустимої для нього маси, що є прописаною заводом-виробником. Отримані результати підкреслюють закономірність недовантаження транспортного засобу через перевищення ним допустимого осьового навантаження. Навіть при використанні стандартних норм для даного автопоїзда відбувається перевищення на 200 кг допустимого осьового навантаження на кожну з осей автопоїзда. Якщо говорити про максимальне завантаження кузова напівпричепа зерном, то при завантаженні пшеницею відбувається перевищення заявленої заводом-виробником допустимої загальної маси автопоїзда на 20000 кг, а порушення допустимого осьового навантаження, що обмежується заборонним знаком «Рух транспортних засобів, навантаження на вісь яких перевищує 12 т, заборонено» складає показник на 35% більший допустимого, що складає 16200 кг, тобто перевищення навантаження кожної з осей на 4200 кг. Враховуючи імовірність одночасного перебування кількох завантажених автопоїздів на мосту така ситуація є небезпечною.

Висновки

Експеримент дослідження полягав у визначенні можливих порушень перевищення заданого заборонним знаком на в'їзді з обох боків мосту осьового навантаження у вигляді 12000 кг на кожну з осей вантажного транспортного засобу. В результаті отриманих даних виявлено, що лише окрема частина автомобілів рухалася без порушення норм, за умови їх недовантаження. Така частка склала показник в 30% вантажних транспортних засобів.

Отримана закономірність дає чіткі факти для уточнення маси автомобіля при його русі навіть за неповного його завантаження зерном. В результаті представленого дослідження доведено, що лише неухильне дотримання діючих Правил дорожнього руху дає можливість зменшення негативного впливу від експлуатації техніки як на здоров'я людини, так і на навколишнє середовище.

Таким чином, рух вантажних транспортних засобів є допустимим не лише у варіанті їх повної відповідності фактичній масі, прописаній заводом, а і нормам, указаним на дорожніх знаках.

Список використаної літератури

1. Shahmardan, A., & Sajadieh, M.S. (2020). Truck scheduling in a multi-door cross-docking center with partial unloading – Reinforcement learning-based simulated annealing approaches. *Comput. Ind. Eng.*, 139, 106134. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106134>
2. Qu, X., Zeng, Z., Wang, K., & Wang, S. (2022). Replacing urban trucks via ground–air cooperation. *Communications in Transportation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2022.100080>
3. Hang, W., Yuanchang, X., Jiang, C., Mao, H., & He, J. (2013). Practice of Using Weigh-in-Motion Technology for Truck Weight Regulation in China. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.09.013>
4. Hang, W., & Li, X. (2010). Application of system dynamics for evaluating truck weight regulations. *Transport Policy*, 17, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.01.007>
5. Feknsa, N.T., Venkataraman, N., Shankar, V., & Ghebrab, T. (2022). Unobserved Heterogeneity in Ramp Crashes Due to Alignment, Interchange Geometry and Truck Volume: Insights from a Random Parameter Model. *Analytic Methods in Accident Research*. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2022.100254>
6. Le, T., & Porter, R.J. (2012). Safety Evaluation of Geometric Design Criteria for Spacing of Entrance–Exit Ramp Sequence and Use of Auxiliary Lanes. *Transportation Research Record*, 2309, 12 – 20. <https://doi.org/10.3141/2309-0>
7. Bosso, M., Vasconcelos, K.L., Ho, L.L., & Bernucci, L.L. (2020). Use of regression trees to predict overweight trucks from historical weigh-in-motion data. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 7, 843–859. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.07.004>
8. Rys et al., 2015. D. Rys, J. Judycki, P. Jaskula. Analysis of effect of overloaded vehicles on fatigue life of flexible pavements based on weigh in motion (WIM) data. *International Journal of Pavement Engineering* (2015). <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1019493>
9. Aggarwal and Parameswaran, 2010. V. Aggarwal, L. Parameswaran Evaluation of the effects of heavy vehicles on bridges fatigue. 7th International Symposium of Heavy Vehicles Weights and Dimensions, Delft, 2002 (2002)
10. B. Jacob, D. Labry. Effect of overweight trucks on fatigue damage of a bridge. M. Vasant (Ed.), *Advances in Structural Engineering*, Springer, Berlin (2010), pp. 2483–2491
11. Chen, Y., Kai, W., Zhang, Y., Luo, R., Yu, S., Shi, Q., & Hu, W. (2020). INVESTIGATING FACTORS AFFECTING ROAD FREIGHT OVERLOADING THROUGH THE INTEGRATED USE OF BLR AND CART: A CASE STUDY IN CHINA. *Transport*. <https://doi.org/10.3846/transport.2020.12635>

УДК 621.865.8

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.7>**В. О. КРАВЕЦЬ**

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

О. М. КРАВЕЦЬ

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

С. В. ЛАПКОВСЬКИЙ

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

В. К. ФРОЛОВ

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

М. М. ГЛАДСЬКИЙ

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

В. П. ПРИХОДЬКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0003-1852-3777

АНАЛІЗ РОЗМІРНИХ ЗВ'ЯЗКІВ РОБОТИЗОВАНОЇ СКЛАДАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Використання складальних промислових робіт у виробництві – безальтернативний засіб підвищення продуктивності та якості сучасного складального виробництва. Вже багато років роботизоване складання входить у трійку найпоширеніших роботизованих технологічних операцій. Стаття присвячена вирішенню задач розмірного аналізу роботизованих складальних систем, адже наразі розмірний аналіз є ефективним засобом забезпечення проведення як якісного, так і кількісного аналізу технологічності роботизованих складальних систем і технологічних процесів складання. Метою даної статті є вирішення задачі визначення та розрахунку розмірних зв'язків при роботизованому складанні. У статті розглянуто розмірні зв'язки, що виникають при роботизованому складанні, на прикладі складання циліндричного з'єднання. Для складальної роботизованої системи визначено зв'язки між розмірними ланками та отримано відповідний розмірний ланцюг, що характеризує зв'язок між захватним пристроєм складального промислового робота та відхиленням від співвісності деталей, що складаються. При автоматичному функціонуванні роботизованої складальної системи необхідно забезпечити встановлення складальним промисловим роботом кожного вала у втулку без регулювання та підналагодження, тому співвісність вала та втулки повинна забезпечуватись методом повної взаємозамінності. При повній вза-

ємозамінності значення допуску замикаючої ланки повинно дорівнювати сумі полів допусків складових ланок. Розмірний аналіз роботизованого складання було проведено доволі спрощено – тільки для випадку зміщення осі вала від осі втулки, оскільки на практиці можливий і перекис осей деталей. Наведений аналіз розмірних зв'язків при роботизованому складанні дозволяє узгодити розміри елементів складальної системи, обґрунтувати вимоги щодо точності використовуваного складального робота, деталей та пристроїв.

Ключові слова: промисловий робот, складання, роботизована система, розмірні зв'язки, розмірний ланцюг, метод досягнення точності.

V. O. KRAVETS

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

O. M. KRAVETS

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

S. V. LAPKOVSKY

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

V. K. FROLOV

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

M. M. GLADSKYI

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

V. P. PRYKHODKO

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0003-1852-3777

ANALYSIS OF DIMENSIONAL CONNECTIONS OF ROBOTIC ASSEMBLY SYSTEM

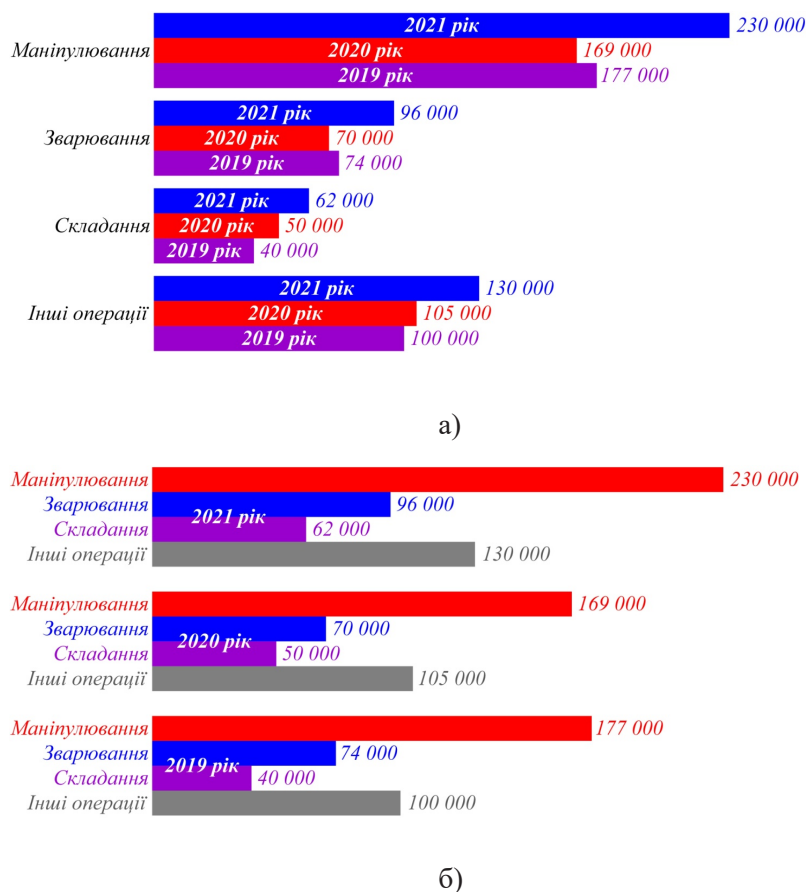
The use of assembly industrial robots in production – is an irreplaceable means of increasing the productivity and quality of modern assembly production. For many years now, robotic assembly has been in the top three most common robotic technological operations. The article is devoted to solving the problems of dimensional analysis of robotic assembly systems, because currently dimensional analysis is a very effective means of ensuring both qualitative and quantitative analyzes of robotic assembly systems and assembly technological processes. The purpose of this article is to solve the problem of determining and calculating dimensional relationships during robotic assembly. The article examines the dimensional relationships that arise during robotic assembly using the example of the assembly of a cylindrical joint. For the assembling robotic system, the relationships between the dimensional links were determined and the corresponding dimensional chain was obtained, which characterizes the relationship between the gripper of the

assembling industrial robot and the deviation from the collinearity of the assembled parts. With the automatic operation of the robotic assembly system, it is necessary to ensure that the industrial assembly robot installs each shaft in the sleeve without adjustment and sub-adjustment, therefore, the alignment of the shaft and sleeve must be ensured by the method of complete interchangeability. With complete interchangeability, the tolerance value of the closing link must be equal to the sum of the tolerance fields of the component links. Dimensional analysis of robotic assembly was carried out quite simply – only for the case of displacement of the axis of the shaft from the axis of the bushing, since in practice it is also possible to misalign the axes of the parts. The given analysis of dimensional relationships during robotic assembly allows you to agree on the dimensions of the assembly system elements, justify the requirements for the accuracy of the used assembly robot, parts and devices.

Key words: industrial robot, assembly, robotic system, dimensional relationships, dimensional circuit, method of achieving accuracy.

Постановка проблеми

Важко знайти таку галузь промисловості, в якій не використовуються промислові роботи. Багатоаспектний аналіз розвитку виробництва розвинених країн доводить, що залучення промислової робототехніки –безальтернативний шлях суттєвого підвищення продуктивності та якості сучасного виробництва. За даними звіту IFR (International Federation of Robotics – Міжнародна федерація робототехніки) за 2022 рік [1; 2] роботизоване складання входить у трійку найпоширеніших роботизованих технологічних операцій (рис. 1).



**Рис. 1. Річна кількість використаних промислових роботів:
а – за видами операцій, б – за роками**

Таким чином, дослідження роботизованих складальних систем та роботизованих складальних процесів (РСП) є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розмірний аналіз (РА) є ефективним сучасним засобом для якісного та кількісного аналізу існуючих і синтезу нових роботизованих складальних систем і РСП. Останніми роками вирішенню питань розмірного аналізу було присвячено багато публікацій як зарубіжних, так і українських авторів [2–10].

Так, робота [2] присвячена аналізу розмірних зв'язків, що виникають при встановленні промисловим роботом заготовки в токарний патрон металорізального верстата з ЧПК на прикладі роботизованого комплексу

металооброблення. У роботі [3] наведено методологічні та теоретичні основи і алгоритми РА при моделюванні технологічних процесів виробництва деталей, використання їх для оцінки можливостей і прогнозування забезпечення необхідної точності, визначення розмірних характеристик, що необхідні для реалізації технологічних процесів у виробництві. Робота [4] присвячена питанням створення системи прогнозування масиву характеристик технологічного процесу виготовлення на етапі проектування. Створення такої системи надасть можливість зміщення процесів вирішення множини задач зі стадії освоєння виробництва на стадію синтезу нового технологічного процесу, на якому пошук оптимальних рішень не пов'язаний з великою кількістю значних матеріальних витрат. Роботи [5–8] присвячені основним теоретичним питанням побудови технологічних процесів складання виробів машинобудування. В даних роботах наведені методологічні основи застосування теорії розмірних ланцюгів і типові задачі, що виникають при проектуванні технологічних процесів складання. У роботах [9; 10] розглядаються розмірні та геометричні допуски, які безпосередньо впливають як на функціональність, так і на вартість виробу, адже саме процес визначення прийняттого компромісу між цими характеристиками – одна із найпопулярніших інженерних задач. Автори даних робіт провели оцінку методів аналізу допусків і використали їх при аналізі конструкцій складних механічних вузлів. Досліджено та порівняно результати, які отримані різними методами: моделюванням методом Монте-Карло, методом діаграм допусків, уніфікованою моделлю торсора Якобі, аналізом векторної петлі та іншими. Аналіз результатів підтвердив існування значних варіацій при використанні різних методів, що надало можливість вказати на необхідність обґрунтування вибору відповідного методу. Результати аналізу публікацій та останніх досліджень стосовно РА та систематизація інформації, яка була отримана, дозволяє зробити наступний висновок: завдання визначення та розрахунку розмірних ланцюгів при роботизованому складанні вирішено не в повній мірі.

Формулювання мети дослідження

Метою даної статті є вирішення задачі визначення та розрахунку розмірних ланцюгів при роботизованому складанні.

Метою РА складання є забезпечення необхідної якості виробу та можливості роботизувати складання.

Основні задачі РА складання наступні:

- виявлення розмірних зв'язків на всіх етапах здійснення РСП;
- вибір методів та засобів здійснення РСП;
- визначення вимог до деталей, що складаються;
- визначення вимог до точності роботи використовуваних складальних засобів.

Загальну послідовність РА РСП показано на схемі, яка наведена на рис. 2.

РА включає наступні етапи.

1. Аналітично чи експериментально визначають вимоги щодо точності положення та руху виконавчих поверхонь виробу або складальної одиниці, виходячи з їх службового призначення.

2. Визначають конструкторські розмірні зв'язки побудовою розмірних ланцюгів, де вихідною інформацією є вимоги до точності виробу.

3. Обирають метод досягнення точності (МДТ): повна, неповна, групова взаємозамінність, регулювання або підгонка з урахуванням економічно досяжної точності виготовлення ланок при заданому обсязі виробництва та можливостей роботизації.

4. Розраховують допуски розмірів деталей, що з'єднуються, які необхідно витримати при виготовленні деталей для того, щоб було можливо досягти вимог точності при складанні обраним МДТ.

5. Обирають методи та засоби орієнтування та транспортування деталей, що складаються. Оцінюють технологічність конструкції деталей.

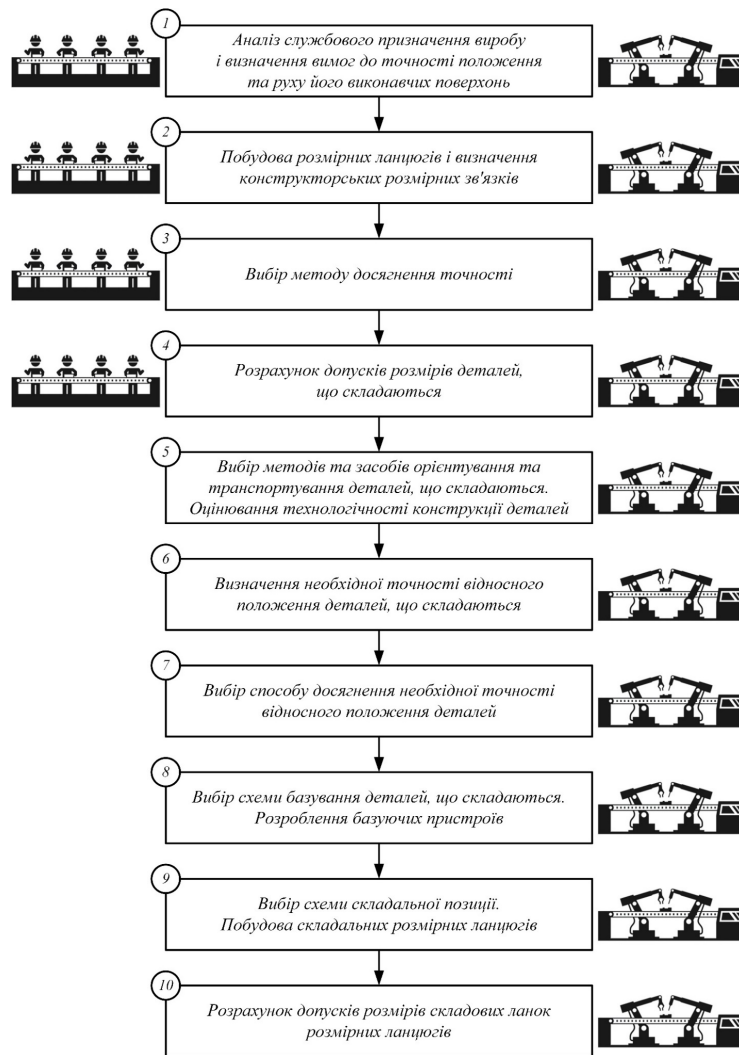


Рис. 2. Загальна послідовність РА РСП

6. Визначають необхідну точність відносного положення деталей, що з'єднуються перед складанням, з урахуванням можливостей збільшення допусків завдяки використанню фасок.

7. Обирають спосіб досягнення необхідної точності відносного положення деталей (з координацією положення деталей робочими органами складального промислового робота (СПР) або пошуковою системою).

8. Обирають схему базування деталей, що складаються, та розробляють пристрої, які реалізують необхідну схему з урахуванням забезпечення свободи переміщень і поворотів деталей по окремих координатних осях.

9. Обирають схему складальної позиції і будують складальні розмірні ланцюги; при цьому вихідною інформацією є допустимі відхилення відносного положення локальних систем координат деталей, що з'єднуються.

10. Розраховують допуски розмірів складових ланок розмірних ланцюгів, якими можуть бути:

– просторові відхилення положення поверхні кожної деталі, що з'єднується, відносно її технологічних баз при складанні;

– розміри елементів маніпулятора СПР.

Перші чотири етапи характерні та обов'язкові при проектуванні технологічного процесу виготовлення виробу з будь-яким ступенем автоматизації. Для роботизованого складання (РС) слід враховувати особливості вибору та реалізації МДТ, а також технологічність конструкції виробу. Інші етапи для умов ручного складання не потрібні. Вони необхідні тільки для РС.

В результаті проведеного РА РСП можна виявити:

– допустимі відхилення розмірів поверхонь, що з'єднуються, які необхідні для реалізації обраного МДТ;

– допустимі відхилення розташування поверхонь деталі, що з'єднується, відносно її технологічних баз, які використовуються при складанні;

- параметри фасок по поверхнях, що з'єднуються, – для покращення умов складання;
- вимоги до поверхонь, які використовуються в якості технологічних баз при РС, наприклад, з метою зменшення похибки базування деталі, що з'єднується, в захватному пристрої СПР;
- вимоги до конструкції деталі – для полегшення її орієнтації.

Таким чином, РА складання дозволяє:

- виявити взаємозв'язок розмірів деталей, що з'єднуються, та елементів складальної системи;
- обґрунтувати необхідну точність розмірів, що забезпечують РС, та необхідні параметри складальної одиниці.

Виявлення та розрахунок складальних розмірних зв'язків рекомендується проводити в наступній послідовності:

- 1) в положенні кожної деталі, що складається, визначити гранично допустимі відхилення відносно базової деталі, при яких забезпечується з'єднання;
- 2) побудувати розмірні ланцюги, в яких допустимі відхилення є вихідними ланками;
- 3) скласти рівняння розмірних ланцюгів та визначити можливі поля розсіювання складових ланок;
- 4) обрати МДТ вихідних ланок розмірних ланцюгів з урахуванням його реалізації у роботизованому виробництві;
- 5) провести розрахунок допусків складових ланок та обрати методи та засоби реалізації РСП з урахуванням необхідної точності складових розмірів розмірного ланцюга.

Викладення основного матеріалу дослідження

Методику РА РСП розглянемо на прикладі складання циліндричного з'єднання, яке здійснює СПР, а саме – складання вала та втулки (рис. 3).

Розмірний ланцюг, наведений на рис. 3, складається з наступних ланок:

A_1 – позиціонування захватного пристрою СПР;

A_2 – відхилення осі отвору від осі зовнішньої поверхні втулки, яка є основною базою втулки;

A_3 – розмір, що пов'язує положення пристрою, який базує втулку, з СПР.

Необхідний зазор у з'єднанні досягається методом повної взаємозамінності.

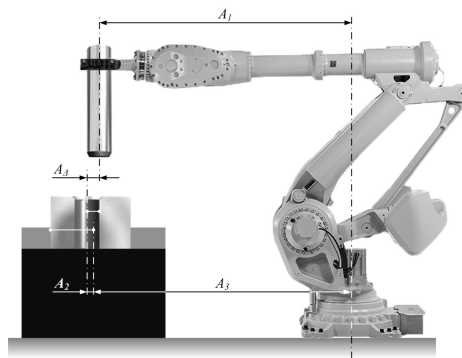


Рис. 3. Роботизоване складання вала та втулки

Вал захоплюється СПР, позиціонується співвісно з отвором втулки, СПР встановлює вал в отвір втулки, внаслідок чого здійснюється складання. Розміри вала та втулки показані на рис. 4.

Для того, щоб вал був встановлений у втулку, необхідно забезпечити співвісність вала та отвору втулки. Максимально допустиме відхилення від співвісності визначається за формулою (1):

$$\Delta_{\max} = \frac{D_{\min} - d_{\max}}{2} + C_o + C_g, \quad (1)$$

де D_{\min} – мінімальний діаметр отвору втулки; d_{\max} – максимальний діаметр вала; C_o – ширина фаски отвору; C_g – ширина фаски вала.

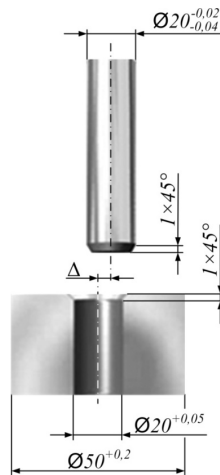


Рис. 4. Розміри вала та втулки, що з'єднуються

Підставивши у формулу (1) вказані на рис. 4 розміри деталей, що з'єднуються, отримаємо:

$$\Delta_{\max} = \frac{20 - (20 - 0,02)}{2} + 1 + 1 = 2,01 \text{ мм.}$$

З отриманого значення Δ_{\max} : видно, що більшу частину максимально допустимого відхилення забезпечують фаски на деталях. Без використання фасок максимально допустиме відхилення становить 0,01 мм.

Допустиме відхилення A_D від співвісності вала та отвору у розмірному ланцюзі складальної системи (рис. 3) становить $A_D := 0 \pm 2,01$ мм.

При налагодженні СПР в режимі навчання співвісне положення вала у захватному пристрої СПР та отвору втулки досягають, регулюючи розмір A_I . Остаточний розмір A_I заноситься у пам'ять системи керування СПР.

Таким чином, на етапі налагодження СПР значення розміру A_D досягається методом регулювання вручну.

При роботизованому встановленні вала у втулку точність розміру A_I повинна забезпечуватися методом повної взаємозамінності. У цьому випадку номінальні значення складових ланок розмірного ланцюга до уваги не беруться, оскільки здійснене початкове налагодження. Отже, рівняння розмірного ланцюга перетворюється на тотожність, а рівняння допусків приймає наступний вигляд:

$$T_A = T_1 + T_2 + T_3, \tag{2}$$

де T_A – допуск замикаючої ланки A_D ; T_1 – допуск ланки A_I ; T_2 – допуск ланки A_2 ; T_3 – допуск ланки A_3 .

Якщо не використовувати при складанні фаски деталей (рис. 4), то $T_A = 0,02$ мм; $T_2 = 0,2$ мм (допуск співвісності $\pm 0,1$ мм); $T_3 = 0,01$ мм – допуск на теплові деформації. У цьому випадку отримаємо:

$$0,02 = T_1 + 0,2 + 0,01,$$

де T_1 – допуск позиціонування захватного пристрою СПР.

Вирішивши рівняння, отримаємо $T_1 = -0,19$ мм.

Отримане значення T_1 показує, що при допуску відхилення від співвісності отвору та зовнішньої поверхні втулки $T_2 = 0,2$ мм РС здійснити неможливо, адже значення допуску T_1 завжди має бути більше 0, тобто при даному значенні T_1 ні при якому значенні T_2 не можна забезпечити виконання операції РС даного виробу.

Однією з можливостей реалізації РСП є підвищення вимоги до співвісності отвору та зовнішньої поверхні втулки. Це підвищить вартість виготовлення втулки, але дозволить роботизувати складання.

Існує і інша можливість реалізації РСП. Можна змінити базування втулки у пристрої і орієнтувати втулку не по зовнішньому, а по внутрішньому діаметру, наприклад, за допомогою підпружиненого конуса (рис. 5). У цьому випадку із розмірного ланцюга A виключається розмір A_2 – відхилення співвісності отвору від зовнішньої поверхні втулки, і тоді рівняння допусків набуде наступного вигляду:

$$0,02 = T_1 + 0,2 + 0,01,$$



Рис. 5. Орієнтування втулки по внутрішньому діаметру за допомогою підпружиненого конуса

Отже, якщо використовувати СПР із похибкою позиціонування не більше $\pm 0,005$ мм, то РС здійснити можливо.

Даний розрахунок було зроблено для випадку, коли фаски на деталях не використовуються. При використанні фасок $T_{\Delta max} = 2\Delta_{max} = 4,02$ мм. У цьому випадку рівняння допусків набуде наступного вигляду:

$$4,02 = T_I + 0,2 + 0,01,$$

звідки $T_I = 3,81$ мм.

Тобто, при використанні фасок, які значно збільшують допустиме відхилення від співвісності деталей (від 0,02 до 4,02 мм), можна застосовувати СПР з похибкою позиціонування $\pm 1,9$ мм. Навіть у завантажувальних роботах ця похибка становить ± 1 мм. Тобто, такий завантажувальний робот цілком можна використовувати для РС комплекту деталей, що розглядається.

Однак необхідно пам'ятати, що через використання фасок при РС принаймні одна з двох деталей, що складаються, повинна мати можливість вільно переміщуватися у горизонтальній площині на відстань, яка дорівнює ширині фасок, тобто, у даному випадку, на 2 мм. З цієї метою втулку не слід жорстко затискати по зовнішній поверхні, як у випадку, коли фаски не використовувались. Втулку слід встановити у пристрій з радіальним зазором 2 мм. У процесі встановлення роботом вала у втулку остання може зміщуватися в зазорі під дією бічних сил, які прикладені до поверхонь фасок. Фаски повинні бути виконані під такими кутами, щоб запобігти самогальмуванню, і, як наслідок, заклинюванню деталей під час складання. Разом з тим, орієнтація втулки по бічній циліндричній поверхні із зазором у гнізді пристрою є джерелом додаткової похибки встановлення – відхилення від співвісності, яке повинне враховуватися у розмірному ланцюгу A окремою ланкою. Ця ланка розмірного ланцюга є, по суті, рухомим компенсатором при досягненні точності замикаючої ланки розмірного ланцюга – допустимого відхилення від співвісності Δ_d ; завдяки використанню фасок можна лише частково. В процесі розрахунку необхідного діаметру базуючого гнізда під втулку в пристрої потрібно також врахувати допуски діаметрів втулки та отвору базуючого гнізда.

Кращі умови для РС можна створити, якщо втулка буде центруватися в отворі пристрою і, в той же час, матиме необхідну свободу відносних бічних переміщень. Цю вимогу можна забезпечити, якщо симетрично підпружинити втулку з боків встановленням, наприклад, трьох пружин під кутами 120° . Оскільки в цьому випадку доведеться оснащувати всі базуючі гнізда пристрою для центрування втулок такими пружинами або використовувати додатковий завантажувально-розвантажувальний пристрій для встановлення втулок у спеціальне «плаваюче» пристосування, то доцільніше забезпечити підпружинене в бічних напрямках захоплення вала, який встановлюється у втулку.

Жорсткість пружних елементів обирають, з одного боку, виходячи з необхідної надійності центрування, а з іншого – з допустимого значення бічної сили при роботизованому встановленні вала по фасках. Максимальне значення можливого зміщення необхідно визначати, як було показано, розрахунком розмірного ланцюга. Знаючи жорсткість і значення можливого зміщення, можна розрахувати та сконструювати необхідний пристрій для базування втулки.

Висновки

На цьому прикладі проаналізовано лише зміщення осей вала та втулки при їх роботизованому складанні. Аналогічним чином можна розглянути способи досягнення необхідного кута схрещування осей вала та отвору у втулці. Може знадобитись таке кріплення вала в захватному пристрої СПР, яке забезпечувало б можливість не тільки радіального зміщення вала при встановленні у втулку, але і повороту осі вала в двох вертикальних площинах. При цьому розрахунки суттєво ускладнюються. Таким чином, розмірний аналіз при роботизованому складанні дозволяє узгодити розміри елементів складальної системи, обґрунтувати вимоги до точності використовуваного СПР, деталей та пристроїв. При ручному складанні такий аналіз не потрібен, при роботизованому складанні – необхідний. Роботизація складання обов'язково потребує розрахунку розмірних зв'язків.

Список використаної літератури

1. *World Robotics 2022*. IFR International Federation of Robotics, 2022, 52 p. URL: https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf (дата звернення 09.02.2024).
2. Кравець, В., Кравець, О., Адаменко, Ю., Лапковський, С., Кореньков, В., & Фролов, В. (2023). Аналіз розмірних зв'язків роботизованого комплексу. *Технічні науки та технології*, 3 (33), 40–52. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-40-52](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-40-52)
3. Приходько, В.П. (2021). *Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів*. КПІ ім. Ігоря Сікорського.
4. Паливода, Ю.Є., Дячун, А.Є., Капаціла, Ю.Б., & Ткаченко, І.Г. (2018). *Розмірні ланцюги*. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.
5. Кремнев Г.П., Новіков Ф.В., Жовтобрюх В.О., & Стрельбіцький В.В. (2021). *Основи технології складання*. ЛІРА.
6. Савуляк, В.В. (2014). *Складальні процеси в машинобудуванні*. ВНТУ.
7. Ковалевський, С.В., Онищук, С.Г., & Борисенко, Ю.Б. (2013). *Теоретичні основи технології виробництва деталей і складання машин у важкому машинобудуванні*. ДДМА.
8. *2D tolerance stack-up analysis with examples*. wasyresearch.com. URL: <https://www.wasyresearch.com/2d-tolerance-stack-up-analysis-with-examples/> (дата звернення 09.02.2024).
9. Kosec, P., Škec, S., & Miler, D. (2020). A comparison of the tolerance analysis methods in the open-loop assembly. *Advances in Production Engineering & Management*, 16(1), 44–56. <https://doi.org/10.14743/apem2020.1.348>
10. Ramnath, S., Haghghi, P., Chitale, A., Davidson, J.K., & Shah, J.J. (2018). Comparative study of tolerance analysis methods applied to a complex assembly. *Procedia CIRP*, 75, 208–213, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.073>

References

1. *World Robotics 2022*. IFR International Federation of Robotics, 2022, 52 p. URL: https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf
2. Kravets, V., Kravets, O., Adamenko, Yu., Lapkovskiy, S., Korenkov, V., & Frolov, V. (2023). Analiz rozmirnykh zviazkiv robotyzovanoho kompleksu. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*, 3 (33), 40–52. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-40-52](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-40-52)
3. Prykhodko, V.P. (2021). *Rozmirne modeliuвання та analiz tekhnolohichnykh protsesiv*. KPI im. Ihoria Sikorskoho.
4. Palyvoda, Yu.Ie., Diachun, A.Ie., Kapatsila, Yu.B., & Tkachenko, I.H. (2018). *Rozmirni lantsiuhy*. Ternopil'skyi natsionalnyi tekhnichniy universytet imeni Ivana Puliuia.
5. Kremniev H.P., Novikov F.V., Zhovtobriukh V.O., & Strelbitskiy V.V. (2021). *Osnovy tekhnolohii skladannia*. LIRA.
6. Savuliak, V.V. (2014). *Skladalni protsesy v mashynobuduvanni*. VNTU.
7. Kovalevskiy, S.V., Onyshchuk, S.H., & Borysenko, Yu.B. (2013). *Teoretychni osnovy tekhnolohii vyrobnytstva detalei i skladannia mashyn u vazhkomu mashynobuduvanni*. DDMA.
8. *2D tolerance stack-up analysis with examples*. wasyresearch.com. URL: <https://www.wasyresearch.com/2d-tolerance-stack-up-analysis-with-examples/>
9. Kosec, P., Škec, S., & Miler, D. (2020). A comparison of the tolerance analysis methods in the open-loop assembly. *Advances in Production Engineering & Management*, 16(1), 44–56. <https://doi.org/10.14743/apem2020.1.348>
10. Ramnath, S., Haghghi, P., Chitale, A., Davidson, J.K., & Shah, J.J. (2018). Comparative study of tolerance analysis methods applied to a complex assembly. *Procedia CIRP*, 75, 208–213, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.073>

О. Ф. КУЗЬКІН

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри «Транспортні технології»
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0002-3160-1285

Д. Я. МУКОВСЬКА

аспірант
Харківський національний університет імені О. М. Бекетова
ORCID: 0000-0002-4184-0861

І. М. РАЙДА

старший викладач кафедри «Транспортні технології»
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0003-3925-4692

Л. А. ВЕРЕМЕСЬКО

старший викладач кафедри «Транспортні технології»
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0002-2397-310X

ОПТИМІЗАЦІЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПАРКУ АВТОМОБІЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

В статті запропоновано оптимізаційний підхід до рішення задачі оперативного управління використанням парку автомобільних транспортних засобів промислового підприємства для виконання заданого плану перевезень вантажів, який формується на підставі заявок споживачів транспортних послуг.

Важливою задачею організації перевезень вантажів є вибір ефективних транспортних засобів, які найбільш повно відповідають конкретним умовам перевезень. Техніко-економічні показники роботи автомобіля визначаються організацією перевезення та комплексом його експлуатаційних властивостей: вантажомісткістю, використанням маси, швидкісними характеристиками, безпекою руху, паливною економічністю, довговічністю та надійністю, прохідністю, зручністю використання, пристосованістю до технічного обслуговування і ремонту.

Організація перевезень вантажів в умовах транспортного підрозділу промислового підприємства має свої особливості, на відміну від власне автотранспортного підприємства. Основною відмінністю є те, що діяльність транспортного підрозділу спрямована на забезпечення повного виконання вимог на перевезення, які надходять від споживачів транспортної продукції. Цими споживачами є цехи, підрозділи і служби підприємства. Виконання перевезень власним автомобільним транспортом бажано забезпечувати з мінімальними економічними витратами.

Зменшити витрати на виконання плану перевезень вантажів, що представлений множиною заявок споживачів транспортних послуг – виробничих підрозділів підприємства, можна шляхом використання технології взаємозамінності на перевезеннях автотранспортних засобів різних типів для перевезення різних типів вантажів та можливості залучення зовнішніх транспортних ресурсів у разі нестачі провізних можливостей власного парку автомобілів або їх неефективного з точки зору техніко-економічних показників використання. Сформульована оптимізаційна задача представляє собою задачу цілочислового лінійного програмування з обмеженнями у вигляді нерівностей та бульовими змінними. Наведено числовий приклад рішення задачі у офісному застосунку MS Excel.

Результати статті можуть бути використані в умовах оперативного та короткострокового планування вантажних автомобільних перевезень на промислових підприємствах.

Ключові слова: автомобільний парк, промислове підприємство, експлуатаційні витрати, цілочислове програмування.

O. F. KUZKIN

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Transport Technologies
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0002-3160-1285

D. YA. MUKOVSKA

Postgraduate Student
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
ORCID: 0000-0002-4184-0861

I. M. RAIDA

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0003-3925-4692

L. A. VEREMEIENKO

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0002-2397-310X

AN OPTIMIZATION OF OPERATIVE AUTOMOBILE VEHICLE FLEET MANAGEMENT AT THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

The paper proposes the optimization method of operative transport fleet distribution by customer's demand in the conditions of the industrial enterprises.

One of the main problems in the transportation process planning is the effective choice of vehicles, which are appropriate in specific operating conditions. As is known, the technical and economic characteristics of the vehicle are established by the transportation planning process and vehicle operational properties: carrying capacity and its usage degree, road safety, fuel consumption, durability and reliability, ease of use, maintenance, and repair fitness.

Cargo transportation process at the industrial plants has its own features, unlike automobile transport firm. An operational activity of industrial enterprise transport department aims to the complete customer demands satisfaction. As customers, in this case, are departments of the industrial enterprise. Whereas own automobile freight fleet is used on transportations with minimal operational expenses as far as possible.

Interchangeability of vehicles that have different types for different cargoes delivery and external transport involving in case of deficit ones give the opportunity to reduce of expenses for transportation plan fulfillment. The given task is formulated as discrete linear programming model with constraints in form of inequalities and binary variables. The numeric example is given that solved by MS Excel computer software.

The results of investigation can be used for solving tasks of operational and midterm planning of freight automobile transportations at the industrial plants.

Key words: *automobile freight fleet, industrial enterprise, operational expenses, discrete programming.*

Постановка проблеми

Важливою задачею організації перевезень вантажів є вибір ефективних транспортних засобів, які найбільш повно відповідають конкретним умовам перевезень. Техніко-економічні показники роботи автомобіля визначаються організацією перевезення та комплексом його експлуатаційних властивостей: вантажомісткістю, використанням маси, швидкісними характеристиками, безпекою руху, паливною економічністю, довговічністю та надійністю, прохідністю, зручністю використання, пристосованістю до технічного обслуговування і ремонту.

Все це у повній мірі відноситься і до автомобілів, що знаходяться у парках власних автомобільних транспортних засобів промислових підприємств. Такі автомобілі виконують різні види перевезень, як у межах промислового підприємства, так і за його межами, обслуговуючи внутрішні та зовнішні вантажопотоки сировини, комплектуючих виробів, готової продукції тощо. Основною задачею автотранспортного підрозділу промислового підприємства є повне та своєчасне задоволення потреб у перевезеннях структурних підрозділів підприємства – цехів, служб, відділів. Економічні показники роботи автотранспортного підрозділу відбиваються на підсумкових показниках роботи підприємства в цілому, тому задачею служби планування перевезень є забезпечення виконання перевезень з мінімальними витратами за умови як можна повного виконання всіх заявок на перевезення, що надійшли від споживачів транспортних послуг.

Умови формування обсягів вимог на перевезення, провізні спроможності транспортних засобів та управління їх використанням визначають процеси накопичення вантажів у транспортних системах. Практика підтверджує

ефективність постійного закріплення парків транспортних засобів, сформованих у автомобільні колони (бригади), за окремими об'єктами перевезень. Це дозволяє краще узгоджувати дії всіх учасників транспортного процесу, створює сприятливі умови для їх роботи [1].

Парк транспортних засобів автотранспортного підприємства, що обслуговує будь-який заданий об'єкт, характеризується кількістю, спеціалізацією та вантажопідйомністю одиниць рухомого складу, призначених для виконання перевезень. Максимальна кількість вантажів, яка може бути перевезена парком транспортних засобів за заданий період часу (змiна, доба) при повному використанні технічних можливостей, визначає його провізну спроможність. За умовами використання транспортних засобів для обслуговування об'єктів розрізняють парки транспортних засобів, постійно закріплені за об'єктами перевезень; закріплені, але у відповідності до варіювання обсягів перевезень та управління запасами і використовуваними і на інших об'єктах; незакріплені [1].

Втім, організація перевезень вантажів в умовах транспортного підрозділу промислового підприємства має свої особливості, на відміну від власне автотранспортного підприємства. Основною відмінністю є те, що діяльність транспортного підрозділу спрямована на забезпечення повного виконання вимог на перевезення, які надходять від споживачів транспортної продукції. Цими споживачами є цехи, підрозділи і служби підприємства. Виконання перевезень власним автомобільним транспортом бажано забезпечувати з мінімальними економічними витратами.

Наприклад, на ПАТ «Запоріжсталь» власний парк автомобільних транспортних засобів сконцентрований у його управлінні автомобільного транспорту (УАТ). УАТ поділяється на чотири автомобільні колони. У першій вантажній колоні налічується 87 автомобілів з яких: універсальні бортові автомобілі – 14 од., спеціалізовані (самоскиди, тягачі, фургони) – 39 од., спеціальні автомобілі (автокрани, автопідйомники, цистерни) – 34 од. Усі автомобілі призначені для задоволення попиту на перевезення вантажів за разовими вимогами виробничих підрозділів (цехів).

У разі необхідності перевезень вантажів замовник у корпоративній автоматизованій системі управління формує і направляє заявку в УАТ до 13:00 дня, що передує даті запланованого надання автотранспорту для перевезень. У заявці зазначається місце і час подачі автомобіля, тип автомобіля, маршрут руху, найменування, маса і габаритні розміри вантажу. Заявка задовольняється виділенням автомобілів з числа технічно готових. Зазначимо також, що деякі заявки залишаються нереалізованими (невиконаними) через відмову від перевезення виробничих підрозділів чи через нестачу необхідних автомобілів у парку. Крім того, враховуючи специфіку виробництва, існує практика подання оперативних замовлень, тому кількість виділеного транспорту може перевищувати кількість, замовлену у заявці. Таким чином, ця частина парку автомобільної колони працює в умовах випадкового попиту на перевезення.

Особливості функціонування парку автомобільного транспорту промислового підприємства та форм використання автомобілів для обслуговування його виробничих підрозділів необхідно враховувати при оперативному плануванні його роботи з метою повного задоволення попиту та мінімізації витрат на виконання перевезень вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Задача оптимального управління використанням провізних спроможностей наявного парку рухомого складу є однією з типових та розповсюджених практичних задач, яка вирішується на тактичному та операційному рівні автотранспортними підприємствами усіх форм власності, що надають транспортні послуги з перевезення вантажів. Для вирішення цієї задачі науковцями розроблено низку математичних моделей дослідження операцій та методів оптимізації з метою підвищення рівня якості надання транспортних послуг споживачам [2]. В огляді [3] подана загальна класифікація задач оптимізації структури парку рухомого складу, його використання на перевезеннях та методи розв'язку цих задач.

У роботі [1] запропонований підхід до оптимізації провізних спроможностей парку автомобільних транспортних засобів, побудований на методах лінійного програмування. Задачу сформульовано у вигляді задачі цілочислового програмування з обмеженнями на кількість наявних транспортних засобів та задані обсяги перевезень вантажів. У якості цільової функції запропоновано використання мінімізації сумарних витрат на перевезення або вантажопідйомності автомобілів чи максимізації прибутку від виконання перевезень.

Метод динамічного програмування та пошуку методом золотого перетину стосовно задачі оптимізації структури гетерогенного парку автомобілів наведено у роботі [4]. При цьому в цільову функцію включено витрати трьох видів: постійні та змінні витрати на утримання власного парку автомобілів, витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів у випадку нестачі його провізної спроможності. Обмеженням виступає наявна кількість автомобілів власного парку. Для аналогічної задачі з урахуванням маршрутизації транспортних засобів у роботі [5] пропонується використання метаевристичного алгоритму табу-пошуку.

Практична задача оптимізації структури парку автомобілів при доставці палива розглянута у [6]. Задача представлена у вигляді однокритеріальної задачі математичного програмування, у якій в якості критерію оптимальності прийнято мінімальні сумарні експлуатаційні витрати на утримання та експлуатацію автопарку. Наближене рішення задачі пропонується відшукувати за допомогою евристичних методів, що базуються на методах локального пошуку, еволюційних та гібридних алгоритмів. Подібна задача для умов випадкового попиту на перевезення

розглянута у [7]. Для пошуку її оптимального рішення розроблено метод, заснований на методах лінійного програмування, динамічного програмування та комбінаторної оптимізації (метод «відгалужень і меж»).

У роботі [8] пропонується використання нелінійної оптимізаційної моделі визначення структури парку транспортних засобів, що використовуються для доставки відправлень одержувачам в міських умовах. Особливістю моделі є врахування часових обмежень на використання тих чи інших транспортних засобів з точки зору їх можливого доступу до окремих районів міста під час доставки. Модель містить нелінійну цільову функцію, лінійні та мультиплікативні обмеження на змінні, для її розв'язування, використано програмний продукт Gurobi Solver 6.0.

Задачу розподілу наявного парку транспортних засобів між вантажовідправниками та вантажоодержувачами розглянуто у роботі [9]. Математично задачу сформульовано у вигляді задачі лінійного програмування, критерієм оптимальності якої є мінімальна сумарна вантажопідйомність автомобілів, використаних для перевезень. У разі, якщо провізних можливостей наявного парку автомобілів недостатньо для повного задоволення попиту на перевезення, пропонується знаходити оптимальне рішення за двома варіантами: залучення додаткових транспортних засобів або зменшення планових обсягів перевезень. У останньому випадку в якості критерію оптимальності рекомендується використовувати мінімум відхилення фактичних обсягів перевезень у абсолютних або відносних, з урахуванням цінності клієнтів, одиницях.

Використання вищевикладених підходів до оптимізації структури автомобільного парку та розподілу транспортних засобів за об'єктами перевезень є суттєво обмеженим в умовах парків власного автомобільного транспорту промислових підприємств, що працюють за разовими вимогами їх виробничих підрозділів з декількох причин.

Як показав аналіз виконання плану перевезень в управлінні автомобільного транспорту ПАТ «Запоріжсталь», автомобілі по разових заявках цехів виділяються на цілу зміну, у зв'язку з цим їх продуктивність має значні коливання в залежності від об'єкту та умов перевезень вантажу. Крім того, перевезення деяких видів вантажів можуть бути з різною ефективністю виконані різними типами рухомого складу. Наприклад, перевезення цегли можна здійснити як універсальним бортовим автомобілем, так і автомобілем-самоскидом, при цьому витрати на перевезення у другому випадку будуть дещо більшими, ніж у першому, але все ж меншими ніж утримання додатково зайвого бортового автомобіля. У той же час, перевезення довгомірних вантажів можуть бути виконані тільки спеціалізованим рухомим складом, призначеним для перевезення довгомірів. У свою чергу, автомобілі для перевезення довгомірних і важковагових вантажів можуть бути з меншою ефективністю використані для перевезення інших тарно-штучних вантажів.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка економіко-математичної моделі оптимального розподілу автомобільних транспортних засобів по заявках споживачів транспортних послуг в умовах промислового підприємства та її практичної реалізації, яка враховує взаємозамінність автотранспортних засобів різних типів для перевезення різних типів вантажів та можливість залучення зовнішніх транспортних ресурсів у разі нестачі провізних можливостей власного парку автомобілів або їх неефективного з точки зору техніко-економічних показників використання.

Для досягнення мети вирішувались такі задачі:

- розробити та формалізувати економіко-математичну модель оптимального розподілу автомобілів парку промислового підприємства по заявках споживачів транспортних послуг;
- на підставі фактичних даних промислового підприємства виконати числові розрахунки з оптимізації добового плану перевезень вантажів в умовах металургійного підприємства ПАТ «Запоріжсталь».

Викладення основного матеріалу дослідження

При обслуговуванні споживачів, заявки на виділення автомобілів мають випадковий характер, виникає комплексна задача оптимального закріплення транспортних засобів, що виконують ці заявки, та управління залученням додаткових транспортних засобів, а також використання надлишкових.

Для формулювання економіко-математичної моделі задачі розподілу автомобільних транспортних засобів введемо такі позначення:

N – кількість типів автомобілів, що можуть бути використані для перевезення вантажів (наприклад, універсальні бортові, автосамоскиди тощо);

M – кількість видів вантажів, що можуть бути пред'явлені до перевезення (наприклад, тарно-штучні, навалочні, сипкі тощо);

K – кількість груп автомобілів за вантажопідйомністю. Нумерацію груп автомобілів за вантажопідйомністю виконуємо у порядку зростання останньої;

q_{ij} ($i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, K}$) – вантажопідйомність власного автомобіля i -го типу j -ї групи вантажопідйомності, т;

a_{ij} ($i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, K}$) – наявна кількість автомобілів i -го типу j -ї групи вантажопідйомності у парку власних автомобілів.

Замовлення на виділення автомобілів на плановий період (доба, зміна) представляють собою множину $R = \{r_k\}_P$, де кожна заявка $r_k = \{q_k; w_k\}$ ($k = \overline{1, P}$, $w_k \in M$) в якості атрибутів містить масу вантажної партії, заявленої до перевезення q_k (приведену до вантажопідйомності автомобіля в залежності від класу вантажу) та вид вантажу w_k . При цьому передбачається, що $q_{ik}^a \geq \max q_k$, тобто заявлена для перевезення вантажна партія максимальної маси може бути перевезена автомобілями найбільшої групи за вантажопідйомністю.

Введемо також позначення:

c'_{ij} ($i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, K}$) – вартість експлуатації автомобіля i -го типу j -ї групи вантажопідйомності протягом планового періоду, грн.;

c''_{ij} ($i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, K}$) – вартість простою автомобіля i -го типу c''_{ij} -ї групи вантажопідйомності протягом планового періоду, грн. Виражає витрати на утримання автомобіля протягом планового періоду, якщо він не був використаний для перевезень, грн.;

c'''_{ij} ($i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, K}$) – витрати на залучення для перевезень автомобіля i -го типу j -ї групи вантажопідйомності ззовні протягом планового періоду, грн. Передбачається, зовнішнє джерело залучення автомобілів для перевезень є необмеженим за своїми можливостями та має таке ж групування за вантажопідйомностями, як і автомобілі власного парку;

γ_{ij} ($i = \overline{1, N}$; $j = \overline{1, M}$) – показник, який виражає можливість використання автомобіля i -го типу для перевезення вантажу j -го виду. При цьому $\gamma_{ij} = 1$, якщо автомобілі i -го типу можуть перевозити вантажі j -го виду або $\gamma_{ij} = \mathbf{M}$ у протилежному випадку (тут \mathbf{M} – достатньо велике додатне число).

При складанні плану перевезень враховуємо наступне:

- а) відкладений попит не дозволяється, тобто, всі замовлення на перевезення повинні бути задоволені власними або залученими ззовні автомобілями;
- б) на виконання кожного замовлення виділяється лише один автомобіль.

Нехай x_{ijk} – шукані змінні задачі, які дорівнюють $x_{ijk} = 1$, якщо для виконання i -го замовлення призначається автомобіль j -го типу k -ї групи вантажопідйомності або $x_{ijk} = 0$ у протилежному випадку. За такого позначення змінних їх загальна кількість у задачі дорівнюватиме $i \times 2 \times N \times K$. Половина змінних x_{ijk} ($i = \overline{1, P}$, $k = \overline{1, K}$, $k = \overline{1, K}$) визначає виконання заявок, які надійшли, автомобілями власного парку, інша ж половина змінних x_{ijk} ($i = \overline{1, P}$, $j = \overline{1, N}$, $k = \overline{K+1, 2K}$) – автомобілями, залученими ззовні.

Цільова функція – мінімум витрат на виконання замовлень споживачів, тобто:

$$Z = C_1 + C_2 + C_3 \rightarrow \min, \tag{1}$$

де C_1 – витрати, пов'язані з використанням на перевезеннях автомобілів власного парку, грн.;

C_2 – витрати, пов'язані з непродуктивним простоем автомобілів власного парку, грн.;

C_3 – витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів, грн.

Витрати, пов'язані з використанням на перевезеннях автомобілів власного парку розраховуються за формулою:

$$C_1 = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K c'_{jk} \cdot \gamma_{ij} \cdot x_{ijk}. \tag{2}$$

Витрати, пов'язані з непродуктивним простоем автомобілів власного парку розраховуються за формулою:

$$C_2 = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \left[a_{jk} - \sum_{i=1}^P x_{ijk} \right] \times c''_{jk}. \tag{3}$$

Витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів розраховуються за формулою:

$$C_3 = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^N \sum_{k=K+1}^{2K} c_{jk}^m \cdot \gamma_{ij} \cdot x_{ijk} \quad (4)$$

Сформулюємо обмеження задачі:

а) вантажопідйомність автомобіля, виділеного для перевезення вантажу, повинна бути не менше, ніж маса вантажної партії, тобто

$$x_{ijk} = 0 \quad \forall q_{ik} < q_i, \quad i = \overline{1, P}, j = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}; \quad (5)$$

б) на виконання заявки не може бути виділений автомобіль, що не призначений для перевезення даного вантажу

$$x_{ijk} = 0 \quad \forall i: \gamma_{jw} = \mathbf{M} \mid i = \overline{1, P}, j = \overline{1, N}, w_i \in \mathbf{M}; \quad (6)$$

в) на виконання кожної заявки замовника може бути залучений тільки один автомобіль

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{2K} x_{ijk} = 1, \quad i = \overline{1, P}; \quad (7)$$

г) кількість автомобілів власного парку кожного з типів та вантажопідйомності не повинна перевищувати їх наявної кількості на підприємстві

$$\sum_{i=1}^P x_{ijk} \leq a_{jk}, \quad j = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}. \quad (8)$$

Сформульована оптимізаційна задача з цільовою функцією (1) та обмеженнями (2)–(8) є задачею цілочислового лінійного програмування, а точніше – задачею цілочислового лінійного програмування з бульовими змінними (тобто такими, що набувають значень тільки 0 або 1) [10]. Однак, зважаючи на характер обмежень (7) та (8) можна стверджувати, що оптимальний розв’язок задачі, якщо він існує, у будь-якому випадку буде задовольняти умові невід’ємності та бульовості змінних. Тож, для розв’язання цієї задачі можна застосувати симплекс-метод.

Реалізація пошуку розв’язку задачі симплекс-методом була розроблена у табличному процесорі Microsoft Excel з використанням пакету аналізу та процедури «Пошук рішення». Фрагмент робочого листа Excel наведено на рис. 1.

Розглянемо приклад оптимізації розподілу рухомого складу автомобільного парку по заявках споживачів за таких вихідних даних.

1. Парк рухомого складу транспортного підрозділу підприємства включає в себе автомобілі трьох типів: універсальні бортові, автосамоскиди, автомобілі для перевезення довгомірних вантажів. Кількість автомобілів кожного типу у парку та їх вантажопідйомність наведена у табл. 1.

Кількість та якість структури парку автомобілів				Випрати на досліджуване автопарку				Випрати на прорості автопарку				Випрати на заповненні автомобілів транспортних ресурсів			
Тип автомобілів	Кількість автомобілів у парку на підприємстві	5 т	10 т	5 т	10 т	5 т	10 т	5 т	10 т	5 т	10 т	5 т	10 т	5 т	10 т
Самоскиди	1	1	201	201	Самоскиди	1200	1800	2100	Самоскиди	1200	1800	2100	Самоскиди	1200	2200
Бортові	2	2	2	2	Бортові	1120	2000	2100	Бортові	1120	1700	1700	Бортові	1200	2200
Вантажівки	0	1	1	1	Вантажівки	1120	2115	2100	Вантажівки	1120	1800	2100	Вантажівки	1100	2100
Всього					Всього				Всього				Всього		

№ заявки	Маса партії, т	Група вантажів	Бортові - 5т	Бортові - 10т	Самоскиди - 5т	Самоскиди - 10т	Довгомірні - 5т	Довгомірні - 10т	Бортові - 5т	Бортові - 10т	Самоскиди - 5т	Самоскиди - 10т	Довгомірні - 5т	Довгомірні - 10т
1	0,5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	17,5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4,1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8,0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	18,0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	12,8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	16,6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	20,0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10,1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сумма			0	0	2	0	3	1	1	1	1	1	0	0
Резерв			1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

C1	21159	Випрати на досліджуване авт.
C2	6490	Випрати на прорості авт.
C3	2330	Випрати на заповненні автомобілів авт.
C	27849	Обсяг витрат

Рис. 1. Фрагмент робочого листа Microsoft Excel для побудови оптимального плану розподілу автомобілів по заявках споживачів

Таблиця 1

Кількісна та якісна структура парку автомобілів

Тип автомобіля	Кількість автомобілів у парку вантажопідйомністю		
	$q_{i1} = 5,0$ т.	$q_{i2} = 10,0$ т.	$q_{i3} = 15,0$ т.
1. Бортовий ($i = 1$)	1	2	2
2. Самоскид ($i = 2$)	2	3	1
3. Довгомір ($i = 3$)	1	1	1

2. Планується перевезення вантажів трьох видів (тарно-штучні, навалочні та довгомірні) згідно заявок підрозділів підприємства, що наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Заявки на перевезення вантажів, що надійшли до транспортного підрозділу

Номер заявки	Вид вантажу	Маса вантажної партії, т.
1	довгомірний	0,6
2	тарно-штучний	17,5
3	довгомірний	6,3
4	навалочний	8,0
5	довгомірний	16,0
6	тарно-штучний	4,2
7	навалочний	13,8
8	тарно-штучний	16,6
9	тарно-штучний	9,9
10	тарно-штучний	10,1

3. Передбачається, що будь-який з тарно-штучних вантажів може перевозитись автосамоскидами або довгомірами, навалочні вантажі – лише самоскидами, довгомірні вантажі – лише автомобілями-довгомірами.

4. Для виконання заявок автомобілі виділяються на цілу зміну. Змінні витрати на експлуатацію та простій автомобілів власного парку (величини вартісних даних умовні) наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Змінні витрати на експлуатацію та простій автомобілів власного парку

Тип автомобіля	Змінні витрати на експлуатацію автомобілів власного парку (чисельник) та їх простій протягом зміни (знаменник), грн./зміну		
	$q_{i1} = 5,0$ т.	$q_{i2} = 10,0$ т.	$i = 1$ т.
1. Бортовий ($i = 1$)	1150 / 800	1900 / 1725	2100 / 1780
2. Самоскид ($i = 2$)	1320 / 1120	2080 / 1920	2384 / 2100
3. Довгомір ($i = 3$)	1410 / 1290	2115 / 1890	2480 / 2100

5. Змінні витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів такої ж вантажопідйомності наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Змінні витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів

Тип автомобіля	Змінні витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів, грн./зміну		
	$q_{i1} = 5,0$ т.	$q_{i2} = 10,0$ т.	$q_{i3} = 15,0$ т.
1. Бортовий ($i = 1$)	1280	2275	2330
2. Самоскид ($i = 2$)	1585	2200	2680
3. Довгомір ($i = 3$)	1590	2345	2710

У таблиці 5 наведені змінні витрати на виконання заявок з урахуванням можливої взаємозамінності вантажів, що представляють собою добуток $c'_{jk}\gamma_{ij}$ для автомобілів власного парку або $c'''_{jk}\gamma_{ij}$ для автомобілів, що можуть бути залучені ззовні. Буквою **M** у табл. 5 позначене достатньо велике число.

Результат оптимізації, отриманий за допомогою Microsoft Excel наведений у табл. 6. У цій таблиці одиниці позначають виділення автомобілів відповідної вантажопідйомності для виконання відповідних заявок. Таким

Таблиця 5

Змінні витрати на експлуатацію автомобілів власного парку та залучених ззовні на виконанні заявок споживачів

№ заявки	Маса партії, т.	Автомобілі власного парку									Автомобілі, залучені ззовні								
		бортові			самоскиди			довгоміри			бортові			самоскиди			довгоміри		
		5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.
1	0,6	М	М	М	М	М	М	1410	2115	2480	М	М	М	М	М	М	1590	2345	2710
2	17,5	М	М	2100	М	М	2384	М	М	2480	М	М	2330	М	М	2680	М	М	2710
3	6,3	М	М	М	М	М	М	М	2115	2480	М	М	М	М	М	М	М	2345	2710
4	8,0	М	М	М	М	2080	2384	М	М	М	М	М	М	2200	2680	М	М	М	М
5	16,0	М	М	М	М	М	М	М	М	2480	М	М	М	М	М	М	М	М	2710
6	4,2	1150	1900	2100	1320	2080	2384	1410	2115	2480	1280	2275	2330	1585	2200	2680	1590	2345	2710
7	13,8	М	М	М	М	М	2384	М	М	М	М	М	М	М	М	2680	М	М	2710
8	16,6	М	М	2100	М	М	2384	М	М	2480	М	М	2330	М	М	2680	М	М	2710
9	9,9	М	1900	2100	М	2080	2384	М	2115	2480	М	2275	2330	М	2200	2680	М	2345	2710
10	10,1	М	М	2100	М	М	2384	М	М	2480	М	М	2330	М	М	2680	М	М	2710

чином, мінімальні витрати на перевезення складають $Z_{min} = 27649$ грн., з яких $C_1 = 18829$ грн. це витрати на експлуатацію автомобілів власного парку; $C_2 = 6490$ грн. – витрати на непродуктивний простій автомобілів власного парку; $C_3 = 2330$ грн. – витрати на залучення зовнішніх транспортних ресурсів.

Таблиця 6

Оптимальний план розподілу автомобілів за заявками споживачів

№ заявки	Маса партії, т.	Автомобілі власного парку									Автомобілі, залучені ззовні								
		бортові			самоскиди			довгоміри			бортові			самоскиди			довгоміри		
		5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.	5 т.	10 т.	20 т.
1	0,6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	17,5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	6,3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8,0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4,2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13,8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	16,6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	9,9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Наявні автомобілі		1	2	2	2	3	1	1	1	1									
Задіяні автомобілі		0	0	2	0	3	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Надлишок автомобілів		1	2	0	2	0	0	0	0	0									

Оптимальний план перевезень потребує залучення одного бортового автомобіля вантажопідйомністю 20 т., при цьому низка власних автомобілів не використовуються: один бортовий автомобіль вантажопідйомністю 5 т., два бортових автомобілі вантажопідйомністю 10 т., два самоскиди вантажопідйомністю 5 т.

Зауважимо також, що оптимальний план передбачає перевезення тарно-штучного вантажу за заявкою № 6 (маса вантажної партії 4,2 т.) та № 9 (маса вантажної партії 9,9 т.) власними автомобілями-самоскидами вантажопідйомністю 10 т. Передбачається також залучення ззовні одного бортового автомобіля вантажопідйомністю 20 т. для виконання заявки № 10 (тарно-штучний вантаж масою 10,1 т.).

Висновки

В статті формалізовано задачу оптимального розподілу автомобілів транспортного підрозділу промислового підприємства по заявках споживачів. Модель задачі враховує можливість виконання замовлень споживачів різними типами рухомого складу, що є у наявності у транспортному підрозділі, а також можливість залучення зовнішніх транспортних засобів для виконання плану перевезень. Критерієм оптимальності є мінімум загальних витрат на реалізацію плану перевезень, що є сумою витрат на експлуатацію автомобілів власного парку, витрат на непродуктивний простій

автомобілів власного парку та витрат на залучення зовнішніх транспортних засобів. Для розв'язання задачі розроблено розрахункову таблицю засобами Microsoft Excel 2013 з використанням надбудови «Пошук рішення». Наведено числовий приклад розрахунку та поданий його аналіз. Результати роботи можуть бути використані при оперативному і короткостроковому плануванні перевезень в умовах автотранспортних підрозділів промислових підприємств.

Список використаної літератури

1. Дмитриченко В. Ф., Яцківський Л. Ю., Ширяєва С. В., Докуніхін В. З. Основи теорії транспортних процесів і систем : навчальний посібник. Київ : Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с.
2. Bielli M., Bielli A., Rossi R. Trends in models and algorithms for fleet management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2011. Vol. 20. P. 4–18.
3. Hoff A., Andersson H., Hasle G., Lokketangen A. Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing. *Computers & Operations Research*. 2010. Vol. 37, № 12. P. 2041–2061.
4. Loxton R., Lin Q. Optimal fleet composition via dynamic programming and golden section search. *Journal of Industrial and management optimization*. 2011. Vol. 7, № 4. P. 875–890.
5. Wang Q., Li Q., Chiu C.H. Optimal routing for heterogeneous fixed fleets of multicompartment vehicles. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. Vol. 2014. P. 1–11.
6. Redmer A., Zak J., Sawicki P., Maciejewski M. Heuristic approach to fleet composition problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 54. P. 414–427.
7. Zhang Y. Li J. Dynamic optimal model of vehicle fleet size and exact algorithm. *Systems Engineering-Theory & Practice*. 2007. Vol. 27, № 2. P. 83–91.
8. Pinto R., Lagorio A., Golini R. Urban Freight Fleet Composition Problem. *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51(11). P. 582–587.
9. Харченко О. І., Сакаль О. М., Карапиш А. С. Оптимізація розподілу рухомого складу при перевезеннях вантажів автомобільним транспортом. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2023. № 26. С. 92–98.
10. Кузькін О. Ф., Лашеніх О. А., Турпак С. М. Прикладні задачі дослідження операцій в транспортних системах: навч. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. 371 с.

References

1. Dmytrychenko V. F., Jackivskyj L. Ju., Shyrjajeva S. V., Dokunikhin V. Z. (2009) *Osnovy teorii transportnykh procesiv i system* [Fundamentals of the theory of transport processes and systems]. Kyjiv: Vydavnychyj Dim «Slovo». (in Ukrainian).
2. Bielli M., Bielli A., Rossi R. (2011) [Trends in models and algorithms for fleet management]. [*Procedia-Social and Behavioral Sciences*], vol. 20, pp. 4–18.
3. Hoff A., Andersson H., Hasle G., Lokketangen A. (2010) [Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing]. [*Computers & Operations Research*], vol. 37, no. 12, pp. 2041–2061.
4. Loxton R., Lin Q. (2011) [Optimal fleet composition via dynamic programming and golden section search]. [*Journal of Industrial and management optimization*], vol. 7, no. 4, pp. 875–890.
5. Wang Q., Li Q., Chiu C.H. (2014) [Optimal routing for heterogeneous fixed fleets of multicompartment vehicles]. [*Mathematical Problems in Engineering*], vol. 2014, pp. 1–11.
6. Redmer A., Zak J., Sawicki P., Maciejewski M. (2012) [Heuristic approach to fleet composition problem]. [*Procedia-Social and Behavioral Sciences*], vol. 54, pp. 414–427.
7. Zhang Y. Li J. (2007) [Dynamic optimal model of vehicle fleet size and exact algorithm]. [*Systems Engineering-Theory & Practice*], vol. 27, no. 2, pp. 83–91.
8. Pinto R., Lagorio A., Golini R. (2018) [Urban Freight Fleet Composition Problem]. [*IFAC-PapersOnLine*], vol. 51(11), pp. 582–587.
9. Kharchenko O. I., Sakalj O. M., Karapysh A. S. (2023) *Optyimizacija rozpodilu rukhomogho skladu pry perevezennjakh vantazhiv avtomobilnym transportom*. [Optimization of the dry warehouse section when transporting goods by road]. *Transportni systemy ta tekhnologhiji perevezenj*. [Transport systems and transportation technologies], no. 26, pp. 92–98.
10. Kuzkin O. F., Lashhenykh O. A., Turpak S. M. (2013) *Prykladni zadachi doslidzhennja operacij v transportnykh systemakh*. [Applied tasks of monitoring operations in transport systems]. Zaporizhzhja: ZNTU. (in Ukrainian).

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 ВЗАЄМОЗАЛЕЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВАРИКАПА

Варикап – це напівпровідниковий діод, дія якого заснована на використанні залежності ємності від зворотної напруги і який призначений для застосування як елемент із електрично керованою ємністю. Як керована ємність використовується бар'єрна (зарядова) ємність р-п переходу. Дифузійна ємність не підходить для цієї цілі, так як вона проявляється при прямому зміщенні р-п переходу, коли рівень прямого струму через діод великий, отже для керування величиною дифузійної ємності необхідно витратити значну потужність джерела живлення. В той же час на зміну величини бар'єрної ємності при зворотному включенні варикапу витрачається зовсім незначна потужність джерела живлення.

У виробництві варикапів кожен тип приладу має кілька груп, що відрізняються за добротністю – низько-добротні і високодобротні. Потреби варикапів в тій чи іншій групі залежить від замовлень споживачів, які можуть змінюватися непередбачено. Добротність варикапа, як і любого конденсатора, визначається відношенням реактивного опору варикапа на заданій частоті змінного сигналу до повного активного опору варикапа (опору втрат). Показано, що опір структури варикапа залежить від великої кількості чинників, багато з яких не пов'язані з вимірюванням питомого опору та товщини вихідної епітаксильної плівки. Тому некоректно було б при прогнозуванні величини добротності варикапа орієнтуватися тільки на значення цих двох параметрів. Виходячи з цього, виникає необхідність проведення досліджень, спрямованих на знаходження залежності величини добротності варикапа від значень деяких його електричних параметрів, а саме, від величини пробивної напруги та коефіцієнта перекриття за ємністю. Це дозволяє проводити прогнозування величини добротності варикапів на ранніх стадіях їх виготовлення.

У статті наведені результати дослідження взаємозалежності електричних параметрів варикапа. Досліджено залежність величини добротності варикапа від його напруги пробою та коефіцієнта перекриття за ємністю. Наведено експериментальні графіки отриманих залежностей. Розроблено методіку прогнозування величини добротності варикапу за значеннями його електричних параметрів.

Ключові слова: варикап, добротність, напруга пробою, коефіцієнт перекриття за ємністю, питомий опір, епітаксильна плівка.

V. M. LYTVYENKO

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 INTERDEPENDENCE OF ELECTRICAL PARAMETERS OF VARICAP

A varicap is a semiconductor diode whose operation is based on the use of the dependence of the capacitance on the reverse voltage and which is intended for use as an element with an electrically controlled capacitance. The barrier (charge) capacity of the p – n junction is used as the controlled capacity. Diffusion capacitance is not suitable for this purpose, as it manifests itself in the direct bias of the p-n junction, when the level of direct current through the diode is large, therefore, to control the value of diffusion capacitance, it is necessary to spend significant power of the power source. At the same time, changing the value of the barrier capacity when the varicap is turned on in reverse consumes very little power from the power source.

In the production of varicaps, each type of device has several groups that differ in quality – low-quality and high-quality. The needs of varicaps in one or another group depends on the orders of consumers, which can change unpredictably. The quality of the varicap, like any capacitor, is determined by the ratio of the reactive resistance of the varicap at a given frequency of the alternating signal to the total active resistance of the varicap (loss resistance). It is shown that the resistance of the varicap structure depends on a large number of factors, many of which are not related to the measurement of the resistivity and thickness of the original epitaxial film. Therefore, it would be incorrect to focus only on the value of these two parameters when predicting the Q factor of the varicap. Based on this, there is a need to conduct

research aimed at finding the dependence of the Q factor of the varicap on the values of some of its electrical parameters, namely, on the breakdown voltage and the capacitance overlap coefficient. This makes it possible to predict the Q factor of varicaps in the early stages of their production.

The article presents the results of the study of the interdependence of the electrical parameters of the varicap. The dependence of the Q factor of the varicap on its breakdown voltage and the coefficient of overlap by capacity was investigated. Experimental graphs of the obtained dependencies are given. A methodology for predicting the Q factor of the varicap based on the values of its electrical parameters has been developed.

Key words: varicap, Q factor, breakdown voltage, capacitance overlap factor, resistivity, epitaxial film.

Постановка проблеми

Варикапи широко використовують у радіоелектроніці як змінну ємність, величина якої керується напругою [1–3]. Залежність добротності варикапа від його фізичних властивостей виражається формулою [3]:

$$Q = \frac{1}{2\pi f C_{ном} R_{носл}}, \tag{1}$$

де $C_{ном}$ – номінальна ємність варикапу; $f = 50$ МГц – частота змінної напруги, яка прикладається до варикапу при вимірі добротності одночасно зі зворотним постійним зміщенням; $R_{носл}$ – опір структури варикапа, який приблизно дорівнює опору бази варикапа (опором контактів робочої та зворотної сторін кристала нехтуємо, так як вони малі);

$$R_{носл} \approx R_{\sigma} = \frac{\rho_{ен} W_{\sigma}}{S_{p-n}}, \tag{2}$$

де S_{p-n} – площа р-п переходу варикапа; $\rho_{ен}$ – питомий опір епітаксiальної плівки; W_{σ} – товщина бази варикапа:

$$W_{\sigma} = d_{ен} - X_j - d_1 - W_1, \tag{3}$$

де $d_{ен}$ – товщина епітаксiальної плівки; X_j – глибина залягання р-п переходу; d_1 – розширення ОПЗ р-п переходу при постійній зворотній напрузі, яка прикладається до варикапу при вимірі добротності; W_1 – зсув підкладки в епітаксiальну плівку в процесі всіх високотемпературних операцій (ступінь «розмиття» межі розділу підкладка – епітаксiальна плівка).

На рис. 1 приведена структура досліджуваного варикапа.

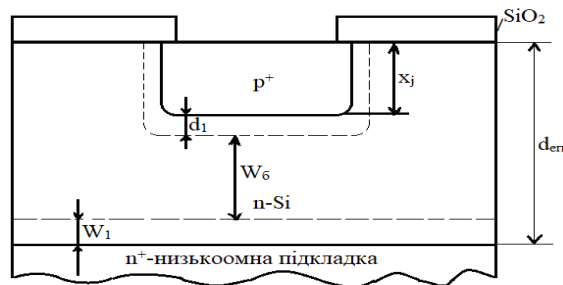


Рис. 1. Структура варикапа

Традиційно прогнозування добротності варикапів проводять за величиною питомого опору та товщиною шару епітаксiальної плівки. Але як показує практика виробництва варикапів, вихідні параметри епітаксiальної плівки (товщина та питомий опір) можуть неконтрольовано змінюватися від однієї партії пластин до іншої, тобто не мають фіксованих значень. Це призводить до значного розкиду величини добротності варикапів та зменшення виходу придатних приладів.

З формул (1–3) видно, що опір структури варикапа залежить від великої кількості чинників. Багато з цих факторів не пов'язані з вимірюванням питомого опору та товщини вихідної епітаксiальної плівки, тому орієнтуватися при прогнозуванні величини добротності варикапа тільки на значення цих двох параметрів було б некоректно. До того ж при вимірюванні величин товщини та питомого опору епітаксiальної плівки завжди має місце похибка виміру. Виходячи з цього, виникає необхідність проведення досліджень, спрямованих на знаходження залежності величини добротності варикапа від значень деяких його електричних параметрів, а саме від величини пробивної напруги та коефіцієнта перекриття за ємністю. Це дозволить проводити прогнозування величини добротності варикапів на ранніх стадіях їх виготовлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Інтенсивний розвиток мікроелектроніки, чітка тенденція до мініатюризації робочих елементів, створення новітніх перспективних, конструктивно складних приладів, а також необхідність наявності високоефективного промислового виробництва сучасних напівпровідникових приладів і інтегральних схем продовжують залишати актуальними питання підвищення якості вихідних напівпровідникових матеріалів, а також проблеми в забезпеченні високої точності та єдності вимірювань параметрів вихідних напівпровідникових кристалів та мікроструктур [4]. У виробництві кремнієвих варикапів такими параметрами являються товщина та питомий опір вихідних епітаксіальних структур. Похибки вимірювань параметрів вихідних структур приводять до погіршення параметрів варикапів і зниження процента виходу придатних приладів.

В роботі [5] запропоновано використовувати метод власного випромінювання для аналізу якості складних напівпровідникових структур (мікропроцесорів, мікроконтролерів, програмовано-логічних інтегральних схемах та ін.). Метод власного випромінювання пов'язаний з реєстрацією параметрів електромагнітного поля в інфрачервоному діапазоні хвиль. Параметри цього випромінювання безпосередньо залежать від температури об'єкту контролю – температури напівпровідникової структури. Використання температури в якості діагностичного параметру вимагає аналітичного опису процесів в напівпровідникових структурах, а саме фізико-хімічних процесів пов'язаних з термодинамічними властивостями кристалічної структури та поверхні, яка ізолює кристал від зовнішнього середовища. В роботі визначено час реєстрації (довжину активуючого впливу) діагностичного параметру окремих функціональних вузлів. Проаналізовано умови розповсюдження тепла в ізолюючому шарі напівпровідникової структури, яка містить в собі декілька окремих функціональних вузлів з відомим геометричним місцем розташування на підкладці.

Виготовлено кремнієві р-і-n фотодіоди з різною концентрацією фосфору в n⁺-шарі [6]. Отримано експериментальну криву розподілу домішки фосфору по глибині дифузійного шару. Досліджено вплив концентрації носіїв заряду в цьому шарі на темнові струми чутливих елементів і захисного кільця. З цією метою проведено вимірювання вольт-амперних характеристик фотодіодів. Показано, що при зменшенні поверхневого опору n⁺-шару темнові струми зменшуються, але зразки з поверхневим опором 1,9–2,4 Ом/□ мають приблизно однаковий рівень темнових струмів чутливих ділянок, тобто при подальшому збільшенні концентрації носіїв заряду темнові струми, практично, не змінюються. Що стосується темнових струмів захисних кілець фотодіодів, то виявилось, що вони здебільшого залежать від стану периферії кристала, а не від рівня легування. Також не виявлено впливу поверхневого опору n⁺-шару на опір з'єднання між відповідними ділянками та захисним кільцем і на ємність фотодіодів.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є дослідження взаємозалежності електричних параметрів варикапа та знаходження зв'язку між окремими електричними параметрами варикапа та його добротністю з метою встановлення раннього прогнозу величини добротності.

Виклад основного матеріалу дослідження

Експериментальні зразки. В якості вихідного матеріалу для виготовлення варикапу використовувалися кремнієві епітаксіальні плівки з питомим опором 1,5 Ом·см і товщиною 10 мкм. Структури варикапів були виготовлені за планарно – епітаксіальною технологією [3]. Технологічний процес їх виготовлення включав три високотемпературні операції: окислення при температурі 1050°C в середовищі водяної пари протягом 90 хв, першу стадію дифузії бору (загонку) з джерела В₂О₃ при температурі 1100°C тривалістю 25 хв, другу стадію дифузії бору (розгонку) при температурі 1150°C на протязі 80 хв по циклу: сухий О₂ (10 хв) – вологий О₂ (60 хв) – сухий О₂ (10 хв).

Дослідження залежності добротності варикапа від величини його напруги пробою. Вважатимемо, що р-n перехід у нас плоский. Пробивна напруга плоского різкого р⁺-n переходу визначається за формулою [7]:

$$U_{np} = 96(\rho_{en})^{0,78} \quad (4)$$

Як видно з формули (4), пробивна напруга варикапа залежить від величини питомого опору епітаксіального шару. При збільшенні зворотної напруги, що прикладається до варикапу, розширення області просторового заряду (ОПЗ) р⁺-n переходу d₁ зміщуватиметься у бік підкладки, зменшуючи товщину бази варикапа W_б (рис. 1).

При відповідній величині зворотної напруги варикапа область просторового заряду d₁, розширюючись, з'єднається з областю «розмиття» межі розділу підкладка – епітаксіальна плівка, яка утворюється в результаті дифузії легуючої домішки з низькоомної підкладки в епітаксіальну плівку в процесі всіх високотемпературних операцій. Тому чим менша товщина епітаксіальної плівки, тим при меншій зворотній напрузі область просторового заряду d₁ з'єднається з областю «розмиття», де питомий опір плівки менше питомого опору бази варикапа. При цьому відповідно до формули (4) напруга пробою варикапу зменшиться. Оскільки добротність варикапа обернено пропорційно залежить від величини питомого опору і товщини епітаксіальної плівки, то очевидно, що зі збільшенням «розмиття» межі розділу підкладка – епітаксіальна плівка і зменшенням товщини бази величина добротності варикапа буде збільшуватися.

Дослідження залежності добротності варикапа від величини його напруги пробою, проведене на 205 пластинах, показало очевидну залежність значень добротності варикапа від напруги пробою ($U_{пр}$). При цьому низькі значення добротності відповідали високим значенням $U_{пр}$ і навпаки. На рис. 2 наведена експериментальна залежність Q від $U_{пр}$.

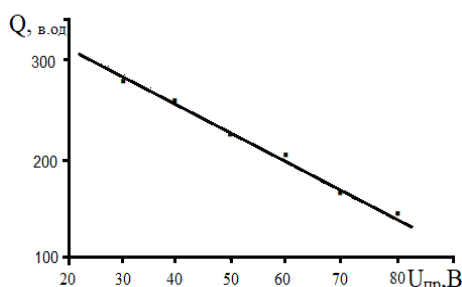


Рис. 2. Залежність добротності варикапа від його напруги пробою

З рис. 2 видно, що зі зменшенням величини напруги пробою добротність варикапа зростає і навпаки – добротність варикапа зменшується зі збільшенням напруги пробою.

Дослідження залежності величини добротності варикапа від коефіцієнта перекриття за ємністю. Величина добротності варикапа визначається переважно опором бази варикапа, яка в свою чергу, залежить від товщини епітаксильної плівки та її питомого опору (див. формули (1–3)). Як зазначалося вище, при вимірі товщини та питомого опору епітаксильної плівки має місце похибка вимірювання, тому було поставлено завдання встановити залежність добротності варикапа від інших електричних параметрів.

Зручним параметром реалізації цієї мети, як показала практика, є коефіцієнт перекриття за ємністю. Коефіцієнт перекриття за ємністю K_c можна розрахувати за формулою [3]:

$$K_c = C_{max}/C_{min} , \tag{5}$$

де C_{min} – ємність варикапа при максимальному значенні зворотної напруги, що прикладається до приладу; C_{max} – ємність варикапа при мінімальному значенні зворотної напруги, що прикладається до приладу.

Ємність варикапу розраховується за формулою [3]:

$$C_{ном} = S_{p-n} \sqrt{\frac{e\epsilon\epsilon_0 N_{en}}{2(\phi_k + U_{зв})}} , \tag{6}$$

де ϕ_k – контактна різниця потенціалів між p – і n – областями;

$U_{зв}$ – напруга зворотного зміщення; N_{en} – концентрація легуючої домішки в базі варикапу; ϵ_0, ϵ – діелектрична проникність, відповідно вакууму і кремнію.

Проаналізувавши формули (1–3), можна зробити висновок, що на розкид величини добротності варикапа можуть впливати флюктуації товщини епітаксильного шару і ступінь «розмиття» межі розділу підкладки – епітаксильна плівка за рахунок дифузії легуючої домішки з низькоомної підкладки в епітаксильну плівку. «Розмиття» межі розділу підкладки – епітаксильна плівка в процесі проведення високотемпературних технологічних операцій може реально змінити значення величини питомого опору епітаксильної плівки порівняно зі значенням питомого опору, отриманого при вимірюванні фізичних параметрів вихідних епітаксильних плівок. Отже, прогноз величини добротності варикапа з урахуванням вимірюваних значень ρ_{en} і d_{en} може бути помилковим.

Дослідження залежності добротності варикапа від величини коефіцієнта перекриття за ємністю було проведено на 230 пластинах.

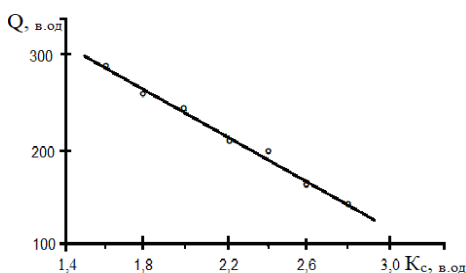


Рис. 3. Залежність добротності варикапа від величини коефіцієнта перекриття за ємністю

Проведені дослідження підтвердили припущення щодо залежності значень добротності варикапа від значень коефіцієнта перекриття за ємністю. Причому C_{\min} , яка визначає величину K_c відповідно до формули (6), залежить від концентрації домішки в базі варикапа як і добротність варикапа (див. формули (1, 2, 6)).

На рис. 3 наведена експериментальна залежність добротності варикапа від величини коефіцієнта перекриття за ємністю. Як видно із рис. 3, із зменшенням величини K_c добротність варикапу зростає, а при збільшенні – навпаки зменшується.

Висновки

Розроблено методику прогнозування величини добротності варикапу за значеннями його електричних параметрів. Розроблені графіки залежності величини добротності варикапа від величини його напруги пробою та коефіцієнта перекриття за ємністю можуть бути використані у виробництві варикапів для діагностики величини його добротності на ранніх стадіях виготовлення приладу. Це дозволить оптимальніше виконувати замовлення споживачів продукції.

Список використаної літератури

1. Литвиненко В.М., Шутов С.В. Поліпшення зворотних характеристик кремнієвого варикапа за допомогою низькотемпературного гетерування // Технологія і конструювання в електронній апаратурі, 2023. № 1–2. С. 43–49. <https://doi.org/10.15222/ tkea 2023.1-2.43>.
2. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка. Підручник. – Мелітополь: Видавничо– поліграфічний центр «Люкс», 2019. 223 с.
3. Литвиненко В.М. Фізика та технологія напівпровідникових діодів. Монографія. Херсон : ФОП Вишемирський В.С, 2018. 184 с.
4. Ігнаткін В. У., Томашевський О. В., Матюшин В. М. Основи метрології. Навчальний посібник. Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2017. 119 с.
5. Кузавков В.В., Романенко М.М. Аналіз фізичних можливостей теплового моніторингу як методу оцінки фактичного стану цифрових радіоелектронних об'єктів. Науково-практичний журнал ДНДІ МВС України: Сучасна спеціальна техніка. Київ, 2020. № 2 (61). С. 34–46.
6. Kukurudziak M.S. Influence of Surface Resistance of Silicon p-i-n Photodiodes n⁺-Layer on their Electrical Parameters // Phys. Chem. Solid State, 2022. V. 23. № 4. P. 756–763.
7. Радевич Я. І., Андрушак Г. О. Твердотільна електроніка. Навчальний посібник. Чернівці : Чернівецький національний університет, 2013. 323 с.

References

1. Lytvynenko V.M., Shutov S.V. (2023) Improvement of the reverse characteristics of a silicon varicap using low-temperature heterization // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature, no. 1–2, pp. 43 – 49. <https://doi.org/10.15222/ tkea 2023.1-2.43> [in Ukrainian].
2. Kvitka S.O. (2019) Elektronika ta mikroskhemotekhnika [Electronics and microcircuit engineering]. Textbook. – Melitopol: Publishing and printing center "Lux", 223 p. [in Ukrainian].
3. Lytvynenko V.M. (2018) Fyzyka ta tekhnolohiya napivprovodnykovykh diodiv [Physics and Technology of Semiconductor Diodes]. Monograph. Kherson: V.S. Vyshemyrskyi Publishing House. 184 p. [in Ukrainian].
4. Ignatkin V. U., Tomashevsky O. V., Matyushin V. M. (2017) Osnovy metrolohii [Fundamentals of metrology]. Tutorial. Zaporozhye: Zaporizhzhya National Technical University, 119 p. [in Ukrainian].
5. Kuzavkov V.V., Romanenko M.M. (2020) Analysis of the physical capabilities of thermal monitoring as a method of assessing the actual state of digital electronic objects. Scientific and practical journal of the Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine: Modern special equipment. Kyiv, no 2 (61), pp. 34–46 [in Ukrainian].
6. Kukurudziak M.S. (2022) Influence of Surface Resistance of Silicon p-i-n Photodiodes n⁺-Layer on their Electrical Parameters // Phys. Chem. Solid State, V. 23, no 4, pp. 756–763.
7. Radevich Ya. I., Andrushchak G. O. (2013) Tverdotilna elektronika [Solid-state electronics]. Tutorial. Chernivtsi: Chernivtsi National University, 323 p. [in Ukrainian].

Л. І. МЕЛЬНИК

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

О. М. ШНИРУК

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

А. С. ОШЕГА

студентка кафедри хімічної технології композиційних матеріалів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0009-4626-0899

КОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ ВУЛКАНІЧНИХ НАПОВНЮВАЧІВ З РІЗНОВИДАМИ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ

У статті наведено результати досліджень в області структуроутворення полімерних композитів із підвищеним вмістом мінеральних наповнювачів. При цьому як наповнювачі використовувались попутні продукти видобутку вулканічних порід – перліт і цеоліт родовищ Закарпаття, а як зв'язуючі – водні дисперсії сополімерів двох типів – Policril 590 та Latex 2012. Теоретичною передумовою впливу на формування структури та відповідно на властивості композитів стали відомі генетичні особливості складу та будови досліджуваних наповнювачів. При розробці нових полімерних композитів важливу роль відіграє вибір системи наповнювач-зв'язуюче. Використання, при створенні об'ємних композитів в якості матриці водних дисперсій полімерів є маловивченою темою, що потребує поглиблених досліджень. Тому метою даного дослідження було вивчення процесів формування структури композитів та способів її регулювання за рахунок варіювання видів наповнювача і полімерної матриці та їх масового співвідношення. В свою чергу це впливало і на властивості композитів.

В ході дослідження було зосереджено увагу на процесах формування структури композитів та аналізі взаємодії в системі наповнювач-полімерна матриця. Вивчено вплив типу сполучень полімерного зв'язуючого з наповнювачами на розвиток порової структури і фізико-механічні властивості композитів. Результати досліджень показали, що застосування різних типів сполучень досліджуваних компонентів дозволяє ефективно регулювати такі властивості композитів, як водопоглинання, яке змінювалося в інтервалі від 2,6 до 14,2 мас. %, відкрита пористість – від 3,58 до 21,35%, залишкова деформація – від 0,1 до 0,3, та Модуль Юнга – від 19,7 до 677,5 МПа, що відкриває широкі можливості для налаштування характеристик композитів під конкретні застосування.

Ключові слова: композит, наповнювач, перліт, цеоліт, латекс, склад, структура, пористість.

L. I. MELNYK

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

O. M. SHNYRUK

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

A. S. OSHEGA

Student at the Department of Chemical Technology of Composite Materials
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0009-0009-4626-0899

COMPOSITES BASED ON VOLCANIC FILLERS WITH VARIOUS POLYMER MATRIX TYPES

The article presents the results of the research in the field of structure formation of polymer composites with an increased content of mineral fillers. At the same time, by-products of volcanic rock extraction – perlite and zeolite from Transcarpathian deposits – were used as fillers, and as binders – aqueous dispersions of copolymers of two types – Policril 590i and Latex 2012. The theoretical prerequisite for the influence on the formation of the structure and, accordingly, on the properties of the composites became known genetic features of composition and structure of the investigated fillers. In the development of new polymer composites, the choice of the filler-binder system plays an important role. The use of polymers in the creation of volumetric composites as a matrix of aqueous dispersions is a poorly studied topic that requires in-depth research. Therefore, the purpose of this study was to study the processes of forming the structure of composites and how to adjust it by varying the types of filler and polymer matrix and their mass ratio. In turn, this affected the properties of composites.

During of the research, attention was focused on the process of forming the structure of composites and the analysis of interaction in the filler-polymer matrix system. The influence of the type of combination of polymer and binder with fillers on the development of the pore structure and physical and mechanical properties of composites was studied. The results of the research showed that the use of different types of combinations of the studied components allows you to effectively regulate such properties of composites as water absorption, which changed in the interval from 2.6 to 14.2 wt%, open porosity – from 3.58 to 21.35%, residual deformation – from 0.1 to 0.3, and Yungai Modulus – from 19.7 to 677.5 MPa, which opens up wide possibilities for adjusting the characteristics of composites for specific applications.

Key words: composite, filler, perlite, zeolite, latex, composition, structure, porosity.

Постановка проблеми

Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) представляють собою унікальну групу композитів, які включають у своєму складі полімерну матрицю та наповнювач. Ці матеріали поєднують в собі переваги обох складових – матриці та наповнювачів, завдяки чому мають високі експлуатаційні характеристики. Їх застосовують у широкому спектрі галузей, включаючи авіаційну промисловість, машинобудування, будівництво, електроніку, виробництво спортивних товарів та інші.

Вибір компонентів для створення композитів, призначених для конкретних завдань, є предметом численних досліджень [1–2]. Значний інтерес викликають дослідження, спрямовані на використання вулканічних порід, що широко розповсюджені у світі та Україні, зокрема перліту та цеоліту [3–4].

Наповнювачі, як перліт і цеоліт, вже добре вивчені та описані в науковій літературі. Ці вулканічні наповнювачі надають ряд переваг композитам на їх основі, а саме: знижують густину, покращують теплоізоляційні властивості, надають стійкості до дії вогню, вологи та хімічну стійкість.

Проте, їх комбінація з латексними полімерними матрицями вимагає подальших досліджень. Особливо важливим у цьому контексті є вибір полімерного зв'язуючого. Він істотно впливає на властивості полімерних композиційних матеріалів, включаючи такі, як міцність, жорсткість, термічна стійкість, хімічна стійкість та інші.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що введення цеолітів у полімер покращує функціональні властивості полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). У роботі [5] при введенні механоактивованого цеоліту в політетрафторетилен (ПТФЕ)

зафіксовано підвищення деформаційно-міцних показників і зносостійкості ПКМ на основі ПТФЕ та активованого цеоліту порівняно з ПКМ зі неактивованим цеолітом. Структурні дослідження ПКМ, проведені з використанням скануючої електронної та силової мікроскопії, ІЧ-спектроскопії та рентгенодіфрактометрії, підтверджують атомну трансформацію надмолекулярної структури ПТФЕ з ламелярної у сферолітну під впливом активованих частинок цеолітів. Таким чином, очевидна залежність функціональних показників ПКМ від рівня адгезійної взаємодії полімерної матриці з наповнювачем, що, у свою чергу, пов'язана з такою характеристикою наповнювача, як мікропористість. Аналогічну дію демонструє і перліт. Дослідження [6] показали значний вплив перлітового нанонаповнювача на механічні та термічні властивості композитів з поліетиленовою матрицею, а також відмічено збільшення модуля пружності зі збільшенням концентрації наповнювача. Декілька наукових груп досліджували вплив розміру часток перліту на механічні та електричні властивості композиту на основі поліпропілену та встановили, що менший розмір перліту може призвести до підвищення механічних властивостей полімерних композитів за рахунок усадки [7].

Формулювання мети дослідження

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

Викладення основного матеріалу дослідження

Дослідження було зосереджене на композитних матеріалах, створених на основі водних дисперсій сополімерів та вибраних наповнювачів. У якості наповнювачів використовувались перліт з Березівського родовища та цеоліт з Сокириницького родовища (Закарпатська область), Україна. Деталі їх хімічного та мінералогічного складу були представлені в наших попередніх дослідженнях [8].

Для створення матриці в якості композиту використовувались водні дисперсії сополімеру Latex 2012 та полімеру Policril 590, характеристики яких також були описані в раніше опублікованих роботах [9].

В ході дослідження було застосовано широкий спектр фізико-хімічних методів для аналізу та оцінки властивостей отриманих композитних матеріалів. Для вивчення поверхні зразків використовували оптичний мікроскоп з цифровою камерою моделі H5D від компанії Delta Optical (Шанхай, Китай). Програмне забезпечення, що застосовувалось для цього, було «ScopeTek View» версії 1.0.0.1 від ScopeTek Optics Electronics (Ханчжоу, Китай). Характеристики пористої структури зразків були визначені на зразках, з яких було видалено повітря, використовуючи метод адсорбції-десорбції азоту (N₂) при низькій температурі (T = -196 °C) за допомогою приладу Quantachrome NOVA-2200e для аналізу площі поверхні та розмірів пор (США). Обробка результатів проводилась з використанням програми ASiQwinTM V 3.0. Специфічну площу поверхні (SBET, м²/г) вимірювали багаточисельним методом BET (Брунауер-Емметт-Теллер) [10]. Загальний об'єм пор (VP, см³/г) був розрахований на основі максимального об'єму адсорбованого азоту при відносному тиску P/P₀».

Результати випробувань демонструють, що фізико-механічні властивості композитних матеріалів істотно залежать від типу та концентрації використовуваних наповнювачів. Зокрема, було виявлено, що з підвищенням концентрації наповнювачів перліту та цеоліту в композитах спостерігається збільшення водопоглинання та зниження середньої густини. Однак ступінь цих змін варіюється в залежності від використаного наповнювача. Порівняльний аналіз показав, що композити на основі акрилової дисперсії (Policril 590) з різними наповнювачами мають різні рівні водопоглинання. Зокрема, використання цеоліту як наповнювача призводить до водопоглинання в діапазоні від 3,35 до 9,28 мас.%, що є вищим, ніж у випадку використання перліту, де водопоглинання коливається від 2,63 до 8,41%. Заміна зв'язуючого на Latex 2012 показує схожу тенденцію, але з незначним збільшенням значень водопоглинання: для композитів з перлітом водопоглинання змінюється від 3,42 до 8,59 мас.%, тоді як для композитів з цеолітом – від 3,91 до 14,16 мас.%.

Аналіз структури зразків композитів виявив лінійну залежність між зростанням пористості та концентрацією наповнювача (табл. 1).

При порівнянні композитів на основі дисперсії Policril 590 зі перлітом як наповнювачем, було виявлено, що відкрита пористість зі збільшенням концентрації перліту коливається від 3,58% до 13,55%, що є трохи нижчим порівняно з композитами на основі цеоліту (4,84–15,46%). Заміна зв'язуючого на Latex 2012 зберігає аналогічну тенденцію зростання пористості, але значення збільшуються до 4,67–14,38% для перліту та 5,29–21,35% для цеоліту.

Окрім того, для композитів з перлітом при переході від зв'язуючого Policril 590 до Latex 2012 спостерігається збільшення загальної пористості відповідно з 7,64 до 35,72% проти 5,42–31,73%. У випадку використання цеоліту зі зміною зв'язуючих матеріалів від Policril 590 до Latex 2012, відзначено зменшення загальної пористості відповідно 11,50–34,03% проти 7,23–28,76%.

Вказані особливості підкреслюють значення вибору полімерного зв'язуючого з різною в'язкістю для формування порової структури композитних матеріалів. Аналіз структури зразків виявив (рис. 1), що використання

Таблиця 1

Склад і властивості композиційного матеріалу

Склад композиту	Концентрація наповнювача, С, мас. %	Показники				
		Водопоглинання через 24 год, %	Відкрита пористість, %	Загальна пористість, %	Середня густина, г/см3	Стираність, г/см2
Policril 590 + Перліт	65	2,63	3,58	7,67	1,36	0,026
	75	6,45	9,02	17,70	1,40	0,026
	85	7,08	11,13	30,99	1,57	0,026
	90	8,41	13,55	35,72	1,61	0,034
Latex 2012 + Перліт	65	3,42	4,67	5,42	1,37	0,015
	75	4,16	5,96	13,87	1,43	0,016
	85	7,89	12,67	24,43	1,61	0,040
	90	8,59	14,38	31,73	1,67	0,060
Policril 590 + Цеоліт	65	3,35	4,84	11,50	1,44	0,011
	75	3,73	5,64	20,61	1,51	0,013
	85	8,21	13,27	30,01	1,61	0,017
	90	9,28	15,46	34,03	1,66	0,022
Latex 2012 + Цеоліт	65	3,91	5,29	7,23	1,35	0,012
	75	6,36	9,32	19,76	1,46	0,013
	85	13,90	20,41	24,70	1,47	0,026
	90	14,16	21,35	28,79	1,51	0,045

зв'язуючого з вищою в'язкістю (Policril 590) при однаковій концентрації наповнювача, сприяє збільшенню пористості у композитів.

Оптична мікроскопія, як метод аналізу, надала важливі візуальні докази щодо різниці в поровій структурі композитів, підтверджуючи, що зміна в'язкості зв'язуючого матеріалу значно впливає на характеристики пористості (рис. 1).

У рамках дослідження зосередилися на вивченні енергетичного стану поверхні частинок наповнювача, що є ключовим у визначенні їхньої взаємодії з різними типами полімерних зв'язувальних речовин.

У процесі аналізу структури композитних матеріалів, виходячи з модифікованої класифікації де Бура, встановлено, що ізотерми сорбції азоту (N₂) (рис. 2) для досліджуваних зразків відповідають ізотермам типу II (b) [12].

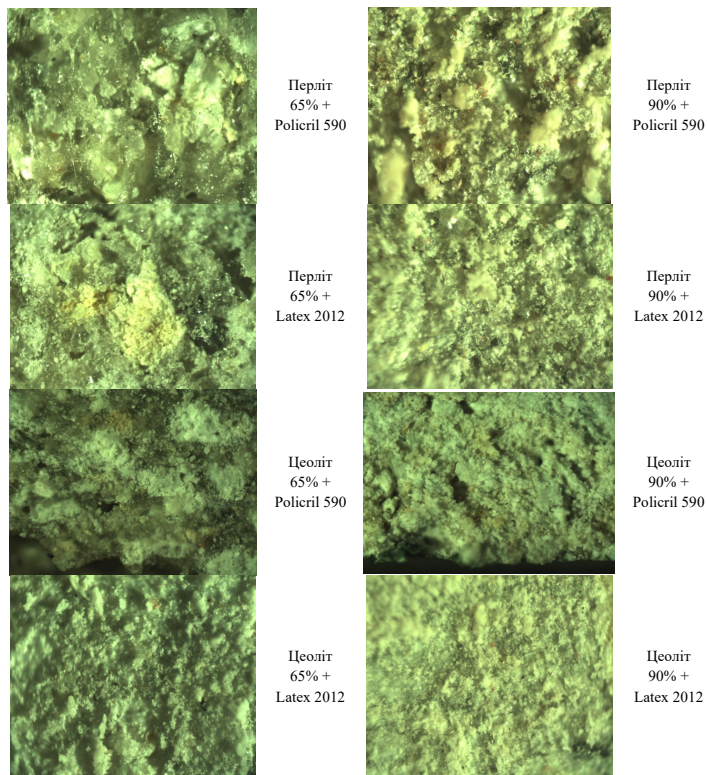


Рис. 1. Оптичний аналіз порової структури композитів

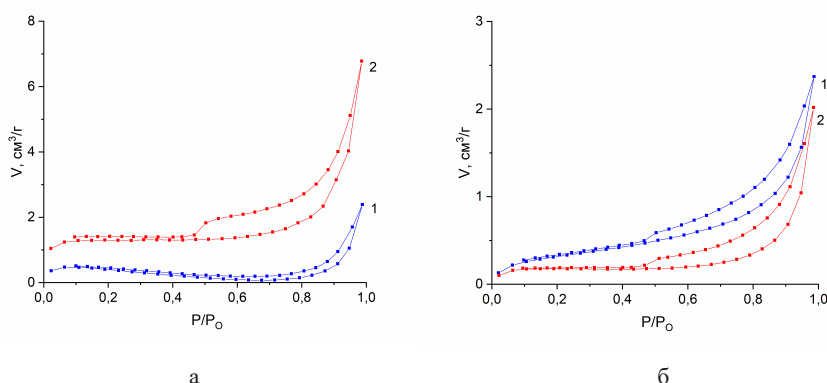


Рис. 2. Ізотерми сорбції азоту (N_2) для систем на основі цеоліту (а) та перліту (б) з використанням зв'язуючого: 1 – Latex 2012, 2 – Policril 590

Наявність капілярної конденсації у структурних компонентах наповнювачів обумовлює утворення вузької петлі гістерезису на ізотермах. Також, обмежений гістерезис свідчить про присутність мікропор в структурі. Параметри, що характеризують пористість зразків, представлені в табл. 2.

Виявлено, що частинки цеоліту, які мають більш розвинену поверхню (у 5,3 рази більшу, ніж у перліту), ефективно взаємодіють із матрицею Latex 2012. Це підтверджує зменшення питомої поверхні композиції з цеолітом та Latex 2012 наї 5,3 рази порівняно з вихідним цеолітом.

При використанні матриці Policril 590, питома поверхня частинок композиту зменшується в 2,2 рази.

У випадку з перлітом, він ефективніше взаємодіє з Policril 590, знижуючи питому поверхню частинок композиту у 2,5 рази, тоді як застосування Latex 2012 призводить до зменшення у 1,8 рази.

Результати аналізу структурних характеристик досліджуваних композитних матеріалів свідчать про значні зміни в їхніх механічних характеристиках. Зокрема, під час вимірювання модуля Юнга, що є показником пружних властивостей матеріалу (рис. 3), стає очевидним суттєвий вплив полімерної основи на характеристики полімерних композитних матеріалів (ПКМ).

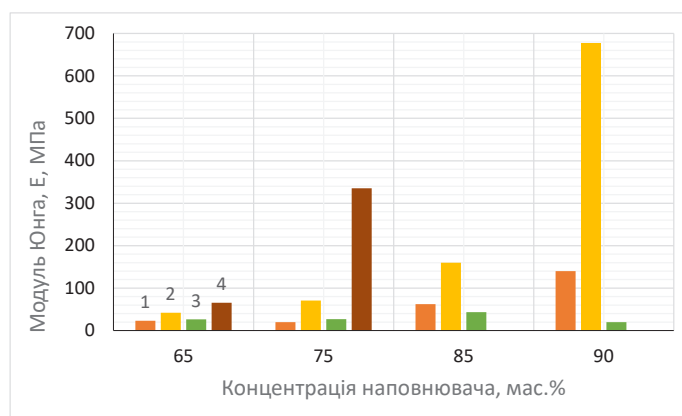


Рис. 3. Залежність Модуля Юнга від концентрації наповнювача для систем: Policril 590 + перліт (1), Latex 2012 + перліт (2), Policril 590 + цеоліт (3), Latex 2012 + цеоліт (4)

Зі зростанням кількості перліту в композитних матеріалах (КМ), спостерігається підвищення модуля пружності (модуля Юнга). Зокрема, у випадку КМ зі зв'язуючим Latex 2012, модуль Юнга значно зростає зі 41,9 МПа при 65 мас.% перліту до 677,5 МПа із 90 мас.% перліту.

Така тенденція спостерігається і для КМ з наповнювачем цеоліт. Проте зростання модуля Юнга при збільшенні вмісту цеоліту не є монотонним. Наприклад, КМ Policril 590+90 мас.% цеоліту демонструє зниження ефективного модуля Юнга, що може вказувати на зниження міцності КМ при такому високому вмісті наповнювача.

З аналізу всіх досліджених композиційних матеріалів випливає, що ключовим фактором, який впливає на їх механічні властивості, є вид зв'язуючої речовини та рівень концентрації наповнювача. Наприклад, КМ, із

Таблиця 2

Характеристика порової структури

Зразки	Питома поверхня БЕТ, м ² /г	Загальний об'єм пор при P/P0= до 1, см ³ /г	Середній розмір пор, нм
Перліт	2,20	1,00*10 ⁻³	2,65
Перліт + Policril 590	0,87	3,12*10 ⁻³	7,14
Перліт + Latex 2012	1,21	3,51*10 ⁻³	6,07
Цеоліт	11,68	7,00*10 ⁻³	2,33
Цеоліт + Policril 590	5,39	9,32*10 ⁻³	3,89
Цеоліт+ Latex 2012	2,21	3,94*10 ⁻³	3,34

зв'язуючим Latex 2012, мають вищий модуль Юнга в порівнянні з тими, що є на основі Policril 590. Ця тенденція особливо помітна при збільшенні кількості наповнювача, як перліту так і цеоліту, що вказує на зростання міцності матеріалу.

Висновки

1. Визначено характеристики використання перліту та цеоліту як наповнювачів, вміст яких становив 65–90% за масою. Дослідження проводилося з використанням сополімеру Latex 2012 та полімеру Policril 590 як основних компонентів матриці.

2. Досліджено відмінності в хімічно-мінералогічному складі та властивостях поверхонь перліту та цеоліту, які впливають на формування структури розроблених композитів та їхні фізико-механічні показники.

3. Вивчено, яким чином висока концентрація наповнювачів і різні типи зв'язуючих впливають на порову структуру і властивості композитних матеріалів. Встановлено, що можна досягти підвищеної абразивної стійкості композитів, контролюючи показники водопоглинання (2,63–14,16 мас.%), відкритої пористості (3,58–21,35%), залишкової деформації (0,1–0,3), та Модуля Юнга (19,7–677,5 МПа).

Список використаної літератури

1. Stephen Grove. Composite Materials and Structures for Engineering Students. Independently published, 2018. 397 p.
2. Melnyk L. Research of electrical properties of epoxy composite with carbon fillers. *Technology audit and production reserves*. 2017. Vol. 3. № 1/35. P. 1539–1641.
3. Kilic A., Kahraman E., Kilic Ö. Evaluation of the Use of Perlite in Industry. *Conference: International Congress on Engineering and Architecture*, Alanya, 14–16 November 2018. Alanya (Turkey), 2018. P. 1549–1556.
4. Пащенко О.О., Воронков М.Г., Крупа О.А., Свідерський В.А. Гідрофобний вспучений перліт. К.: Наукова думка, 1977, 204 с.
5. Strzemiecka B., Voelkel A., Kasperkowiak M. Characterization of zeolites as potential new generation fillers in abrasive articles. Physicochemical properties of zeolites and their interactions with resins. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2010. Vol. 372. № 1–3. P. 80–85.
6. Barczewski M., Hejna A., Kosmela P., Mysiukiewicz O., Piasecki A., Sałasińska K. High-density polyethylene – expanded perlite composites: structural oriented analysis of mechanical and thermomechanical properties. *Materiale Plastiche*. 2022. Vol. 3. № 59. P. 52–63. <https://doi.org/10.37358/mp.22.3.5605>
7. Spoerk M., Sapkota J., Weingrill G., Fischinger T., Arbeiter F., Holzer C. Shrinkage and warpage optimization of expanded-perlite-filled polypropylene composites in extrusion-based additive manufacturing. *Macromolecular materials and engineering*. 2017. Vol. 10. № 302. P. 1700143.
8. Мельник Л.І., Черняк Л., Свідерський В. Особливості вулканічних порід як матеріалів для полімерних композитів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. № 1. Т. 305. С. 14–19. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-305-1-14-19>
9. Мельник Л., Белоусов О., Свідерський В., Черняк Л. Питання зменшення енергоємності виготовлення пористих композиційних матеріалів. *Будівельні матеріали та виробу*. 2019. № 1–2. Т. 102. С. 48–50. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2021-102-09>
10. Brunauer S., Emmett P.H., Teller E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*. 1938. Vol. 60. № 2. P. 309. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>.
11. Vovchenko L.L., Matzui L.Y., Zhuravkov A.V., Samchuk A.P. Electrical resistivity of compacted TEG and TEG-Fe under compression. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2006. Vol. 67. № 5–6. P. 1168–1172. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2006.01.042>.
12. Kuila U., Prasad M. Specific surface area and poresize distribution in clays and shales. *Geophysical Prospecting*. 2013. Vol. 61. No. 2. P. 341–362. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12028>.

References

1. Grove, S. (2018). *Composite Materials and Structures for Engineering Students*, Independently published.
2. Melnyk L. (2017). Research of electrical properties of epoxy composite with carbon fillers. *Technology audit and production reserves*, vol. 3, № 1/35. pp. 1539–1641.
3. Kiliç, A., Kahraman, E., Kil, O. (2018). Evaluation of the Use of Perlite in Industry. *Conference: International Congress on Engineering and Architecture, Turkey, Alanya, November 14–16, 2018. Alanya*, pp. 1549–1556.
4. Pashchenko O.O., Voronkov M.G., Krupa O.A., Sviderskyi V.A. (1977) *Hidrofobnyi vspuchenyi perlit* [Hydrophobic expanded perlite]. K.: Naukova dumka. (in Ukrainian).
5. Strzemiecka B., Voelkel A., Kasperkowiak M. (2010). Characterization of zeolites as potential new generation fillers in abrasive articles. Physicochemical properties of zeolites and their interactions with resins. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 372, № 1–3, pp. 80–85.
6. Barczewski M., Hejna A., Kosmela P., Mysiukiewicz O., Piasecki A., Sałasińska K. (2022). High-density Polyethylene – Expanded Perlite Composites: Structural Oriented Analysis of Mechanical and Thermomechanical Properties. *Materiale Plastiche*, vol. 3, № 59, p. 52–63. <https://doi.org/10.37358/mp.22.3.5605>.
7. Spoerk M., Sapkota J., Weingrill G., Fischinger T., Arbeiter F., Holzer C. (2017). Shrinkage and warpage optimization of expanded-perlite-filled polypropylene composites in extrusion-based additive manufacturing. *Macromolecular materials and engineering*, vol. 10, № 302, pp. 1700143.
8. Melnyk L., Sviderskyi V., Chernyak L. (2022). Osoblyvosti vulkanichnykh porid yak materialiv dlia polimernykh kompozytiv [Features of volcanic rocks as materials for polymeric coposites]. *Herald Of Khmelnytskyi National University*, vol. 305, № 1, pp. 14–19 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-305-1-14-19>.
9. Melnyk L., Belousov O., Sviderskyi V., Chernyak L. (2019). Pytannia zmenshennia enerhoiemnosti vyhotovlennia porystykh kompozytsiinykh materialiv [On the issue of reducing the energy intensity of manufacturing porous composite materials]. *Construction Materials and Products*, vol. 102, № 1–2, pp. 48–50 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2021-102-09>.
10. Brunauer S., Emmett P., Teller E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, vol. 60, № 2, pp. 309. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>.
11. Vovchenko L.L., Matzui L.Y., Zhuravkov A.V., Samchuk A.P. (2006). Electrical resistivity of compacted TEG and TEG-Fe under compression. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 67, № 5–6, pp. 1168–1172. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2006.01.042>.
12. Kuila U., Prasad M. (2013). Specific surface area and pore-size distribution in clays and shales. *Geophysical Prospecting*, vol. 61, № 2, pp. 341–362. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12028>.

А. В. НЕСВІДОМІН

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0002-9227-4652

С. Ф. ПИЛИПАКА

завідувач кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0002-1496-4615

І. Ю. ГРИЩЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0002-1000-9805

Т. М. ВОЛІНА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0001-8610-2208

В. М. БАБКА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0003-4971-4285

ЗВ'ЯЗОК МІЖ ГІПЕРБОЛОЮ І ЕЛІПСОМ НА ПОВЕРХНІ КУЛІ

У плоских і сферичних кривих є спільні властивості, які використовуються на практиці. Плоскі криві можуть як завгодно ковзати у площині, здійснюючи в ній як поступальний, так і обертальний рухи. Аналогічні рухи можуть здійснювати сферичні криві, переміщуючись з одного її положення в інше. Наприклад, аналогом кола у площині є теж коло на поверхні сфери. Обидві криві є плоскими. Аналогом еліпса у площині є сферичний еліпс, який є просторовою кривою, але графічні способи побудови є спільними як для площини, так і для поверхні кулі. Ці спільні геометричні властивості використовуються при створенні сферичних механізмів, які є аналогами плоских. Наприклад, пара кіл, які обертаються навколо нерухомих центрів і одночасно ковзають без ковзання одне по одному, є основою проектування центроїд для зубчастих циліндричних передач між паралельними осями. Такі ж самі кола на поверхні кулі є основою проектування центроїд для зубчастих конічних передач між осями, які перетинаються у центрі сфери.

В основі утворення сферичних кривих лежать графічні побудови, аналогічні для кривих на площині. Наприклад, еліпс на площині утворюється як геометричне місце точок, сума відстаней від яких до двох заданих точок є сталою. Сферичний еліпс утворюється аналогічно з урахуванням того, що відстані вимірюються на поверхні сфери дугами великих кіл. Радіус сфери зручно приймати рівним одиниці, тоді відстань на її поверхні вимірюється кутами. Різниця між еліпсом і гіперболою полягає в тому, що у першому випадку сталою є сума відстаней, а у другому – різниця. Задані точки називаються фокусами кривих. Якщо фокуси для еліпса і гіперболи є спільними, то такі криві називаються співфокусними. Задавши сталу відстань між фокусами і змінюючи суму або різницю відстаней до них від поточної точки кривої, можна отримати сім'ю співфокусних еліпсів і гіпербол. Вони утворюють ортогональну сітку як на площині, так і на сфері. Особливістю є те, що на сфері аналог плоскої гіперболи є сферичним еліпсом, причому двом віткам гіперболи на площині відповідають два еліпси на поверхні кулі.

В статті показано взаємозв'язок між гіперболою і еліпсом на поверхні кулі. Особливістю цього взаємозв'язку є те, що аналогом гіперболи на кулі є сферичний еліпс. Виведено параметричні рівняння співфокусних сферичних гіпербол і еліпсів. Побудовано на поверхні кулі ортогональні сітки, утворені співфокусними сферичними еліпсами і гіперболами.

Ключові слова: плоска крива, сферичні аналоги, еліпс, гіпербола, співфокусні криві, внутрішнє рівняння.

A. V. NESVIDOMIN

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry,
Computer Graphics and Design
National University of Life and Environmental Science of Ukraine
ORCID: 0000-0002-9227-4652

S. F. PILYPAKA

Head of the Department of Descriptive Geometry,
Computer Graphics and Design
National University of Life and Environmental Science of Ukraine
ORCID: 0000-0002-1496-4615

I. YU. HRYSHCHENKO

Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry,
Computer Graphics and Design
National University of Life and Environmental Science of Ukraine
ORCID: 0000-0002-1000-9805

T. M. VOLINA

Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry,
Computer Graphics and Design
National University of Life and Environmental Science of Ukraine
ORCID: 0000-0001-8610-2208

V. M. BABKA

Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry,
Computer Graphics and Design
National University of Life and Environmental Science of Ukraine
ORCID: 0000-0003-4971-4285

RELATION BETWEEN A HYPERBOLA AND AN ELLIPSE ON THE SURFACE OF A SPHERE

Plane and spherical curves have common properties that are used in practice. Plane curves can slide as desired in the plane, making both translational and rotational movements in it. Similar movements can be made by spherical curves, moving from one position to another. For example, an analogue of a circle in a plane is also a circle on the surface of a sphere. Both curves are flat. An analogue of an ellipse in a plane is a spherical ellipse, which is a spatial curve, but the graphical methods of construction are common to both the plane and the surface of the sphere. These common geometric properties are used in the creation of spherical mechanisms, which are analogues of flat ones. For example, a pair of circles revolving around fixed centers and simultaneously sliding without slipping on each other is the basis for designing centroids for spur gears between parallel axes. The same circles on the surface of the sphere are the basis for designing centroids for bevel gears between axes that intersect at the center of the sphere.

The formation of spherical curves is based on graphic constructions similar to curves on a plane. For example, an ellipse on a plane is formed as a locus of points, the sum of the distances from which to two given points is constant. A spherical ellipse is formed similarly, taking into account the fact that distances are measured on the surface of the sphere by arcs of great circles. It is convenient to take the radius of the sphere equal to one, then the distance on its surface is measured in angles. The difference between an ellipse and a hyperbola is that in the first case the sum of the distances is constant, and in the second – the difference. The given points are called the foci of the curves. If the foci of an ellipse and a hyperbola are common, then such curves are called confocal. By setting a constant distance between the foci and changing the sum or difference of their distances from the current point of the curve, families of confocal ellipses and hyperbolas can be obtained. They form an orthogonal grid both on the plane and on the sphere. The peculiarity is that on the sphere the analog of a plane hyperbola is a spherical ellipse, and two branches of the hyperbola on the plane correspond to two ellipses on the surface of the sphere.

The article shows the relations between a hyperbola and an ellipse on the surface of a sphere. The peculiarity of this relationship is that the analog of a hyperbola on a sphere is a spherical ellipse. Parametric equations of confocal spherical hyperbolas and ellipses are derived. Orthogonal grids formed by confocal spherical ellipses and hyperbolas are built on the surface of the sphere.

Key words: plane curve, spherical analogues, ellipse, hyperbola, confocal curves, internal equation.

Постановка проблеми

Побудова сферичних аналогів плоских кривих була предметом досліджень як вчених-механіків, так і геометрів. Назву «сферичний еліпс» вперше застосував у своїх працях швейцарець за походженням Л. І. Фусс. Розвитку досліджень і знаходженню сферичних аналогів відомих плоских кривих сприяв той факт, що властивості плоских кривих переходили і до їх сферичних аналогів. Це дозволяло переходити від плоских до сферичних механізмів. Відомим прикладом такого переходу є циліндрична і конічна зубчасті передачі. Якщо профілем зубця передачі у першому випадку є евольвента кола, то у другому – сферичний аналог евольвенти кола. Знаходження сферичних аналогів відомих плоских кривих сприяє подальшому розвитку сферичних механізмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Геометричний зв'язок між плоскими і сферичними кривими викликає певний інтерес у фахівців, які працюють в області конструювання сферичних механізмів. Їх теорію розвинув В. В. Добровольський [1]. Існує відповідність між деякими кривими на площині і на поверхні сфери. Прямий на площині відповідає велике коло на сфері. Паралельним прямим на площині відповідають великі кола, що перетинаються на сфері у полюсах. Якщо уявити сферу нескінченно великого радіуса, то точки перетину великих кіл теж прямують у нескінченність і вони перетворюються у паралельні прямі. В зв'язку із цим деякі плоскі криві, які прямують у нескінченність, або вітки таких кривих (параболи, гіперболи) на сфері є замкненими. Основою кінематики плоских механізмів є криві – траєкторії руху окремих точок. В праці [2] розглянуто сферичні аналоги відомих теорем плоскої кінематики. Атлас сферичних чотириланкових механізмів наведено в праці [3]. Питання динаміки сферичних механізмів розглянуто в праці [4]. В праці [5] описано побудову сферичних епіциклоїд при коченні рухомого конуса по нерухомому. Конструювання конічних аксоїдів з використанням сферичних еліпсів здійснено в праці [6]. В праці [7] розглянуто конструювання ізометричних сіток на поверхні кулі.

Формулювання мети досліджень

Встановити зв'язок між сферичними еліпсом і гіперболою на поверхні кулі та побудувати співфокусні сім'ї цих кривих.

Викладення основного матеріалу досліджень

У еліпса на площині сума відстаней від будь-якої точки на ньому до двох фіксованих точок (фокусів) є величина стала. Це визначення буде підходити і до гіперболи, якщо суму відстаней поміняти на їх різницю. Для сфери одиничного радіуса відстані вимірюються кутами. Наприклад, відстань між фокусами F_1 і F_2 вимірюється кутом θ (рис. 1,а). Відстані AF_1 і AF_2 від поточної точки A еліпса або гіперболи до їх фокусів позначимо через кути β і ε . Щоб знайти їх вирази, скористаємося параметричними рівняннями сфери одиничного радіуса:

$$X = \sin \varepsilon \cos \gamma; \quad Y = \sin \varepsilon \sin \gamma; \quad \cos \varepsilon, \quad (1)$$

де ε, γ – криволінійні координати сфери, тобто кути, що задають величину меридіана і паралелі відповідно.

Згідно рівнянь (1) координати точок F_1, F_2 і A запишуться:

$$F_1: \{0, 0, 1\}. \quad (2)$$

$$F_2: \{\sin \theta, 0, \cos \theta\}. \quad (3)$$

$$A: \{\sin \varepsilon \cos \gamma, \sin \varepsilon \sin \gamma, \cos \varepsilon\}. \quad (4)$$

Вирази (2), (3), (4) є векторами, що виходять із початку координат O до точок F_1, F_2 і A . Кутіві θ відповідає кут між векторами OF_1 і OF_2 . Кутіві ε відповідає кут між векторами OF_1 і OA . Кутіві β відповідає кут між векторами OF_2 і OA . За відомою формулою визначення кутів між векторами знаходимо:

$$\beta = \text{Arc cos}(\sin \theta \sin \varepsilon \cos \gamma + \cos \theta \cos \varepsilon). \quad (5)$$

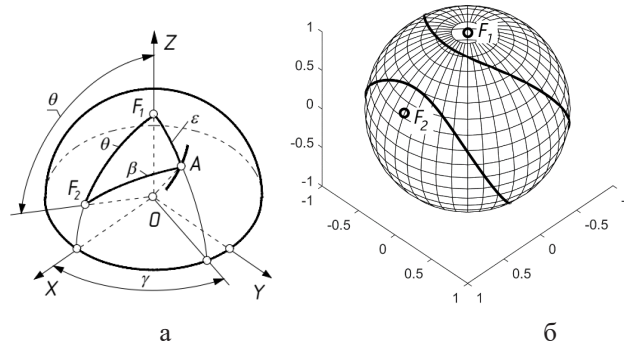


Рис. 1. Графічні ілюстрації до складання рівнянь сферичних гіперболи і еліпса:
а) при заданих фокусах і кутові θ між ними різниця кутів $\beta-\epsilon$ відповідає гіперболі, а їх сума $\beta+\epsilon$ – еліпсу;
б) сферична гіпербола з двома вітками у вигляді еліпсів при $\theta=60^\circ$ і $\varphi=30^\circ$

Позначимо різницю кутів β і ϵ через φ : $\varphi=\beta-\epsilon$. Тоді для гіперболи можна записати:

$$\varphi = \text{Arccos}(\sin \theta \sin \epsilon \cos \gamma + \cos \theta \cos \epsilon) - \epsilon. \tag{6}$$

Розв'яжемо (6) відносно ϵ :

$$\epsilon = \text{Arctg}\left(\frac{\cos \varphi - \cos \theta}{\sin \theta \cos \gamma + \sin \varphi}\right). \tag{7}$$

Для другої вітки гіперболи різниця кутів β і ϵ запишеться: $\varphi=\epsilon-\beta$. Для цього випадку залежність $\epsilon=\epsilon(\gamma)$ має наступний розв'язок:

$$\epsilon = \text{Arctg}\left(\frac{\cos \theta - \cos \varphi}{\sin \varphi - \sin \theta \cos \gamma}\right). \tag{8}$$

Рівняння (7) і (8) називаються внутрішніми рівняннями сферичної гіперболи у криволінійних координатах. Щоб отримати параметричні рівняння гіперболи на поверхні кулі, потрібно внутрішні рівняння (7) і (8) підставити у рівняння сфери (1). Об'єднуючи ці підстановки, знаходимо:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\cos \theta - \cos \varphi \cos \gamma}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \varphi)^2 + (\sin \varphi - \sin \theta \cos \gamma)^2}}; \\ y &= \frac{\cos \theta - \cos \varphi \sin \gamma}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \varphi)^2 + (\sin \varphi - \sin \theta \cos \gamma)^2}}; \\ z &= \pm \frac{\sin \varphi - \sin \theta \cos \gamma}{\sqrt{(\cos \theta - \cos \varphi)^2 + (\sin \varphi - \sin \theta \cos \gamma)^2}}. \end{aligned} \tag{9}$$

Знак « \pm » в останньому рівнянні (9) відповідає двом віткам гіперболи. На рис. 1,б за цими рівняннями побудовано дві вітки гіперболи при $\theta=60^\circ$ і $\varphi=30^\circ$.

Знайдемо внутрішнє рівняння еліпса. Для нього має бути сталою сума $\varphi=\beta+\epsilon$. Звідси можна записати:

$$X = \sinh u \cos v; \quad Y = \cosh u \sin v. \tag{10}$$

Розв'язавши рівняння (10) відносно ϵ , ми отримаємо внутрішнє рівняння еліпса, яке повністю збігається із (8). Виходить, що гіпербола і еліпс мають одне і те ж рівняння. Сферичними гіперболами є сферичні еліпси. На рис. 2,а показано ті ж самі гіперболи (еліпси), що і на рис. 1,б. Зображення повернуто так, що вісь OY проєкціюється в точку.

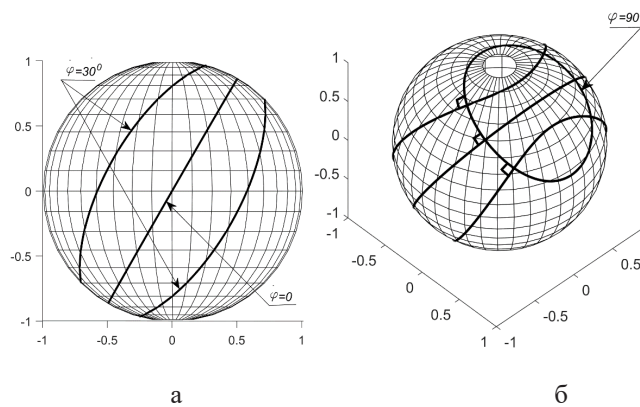


Рис. 2. Сферичні гіпербола і еліпс при $\theta=60^\circ$ і різних значеннях кута φ : а) сферичні гіперболи; б) сферичні гіперболи і сферичний еліпс

При $\varphi < \theta$ рівняння (9) описують сферичну гіперболу, у якої вітки є сферичними еліпсами. При $\varphi = \theta$ сферична гіпербола перетворюється в коло великого діаметра (рис. 2,а). Це коло розташоване у площині, яка є площиною симетрії для віток гіперболи, тобто для еліпсів. При $\varphi > \theta$ рівняння (9) описують сферичний еліпс, який є співфокусний із сферичною гіперболою і перетинає її вітки під прямим кутом (рис. 2,б). При $\varphi = \theta$ еліпс перетворюється у дугу великого кола, яка сполучає фокуси.

Відомо, що співфокусні еліпси і гіперболи на площині утворюють ортогональну сітку. Вона описується наступними параметричними рівняннями, де u і v – незалежні змінні:

$$X = \sinh u \cos v; \quad Y = \cosh u \sin v. \tag{11}$$

Сітка за рівняннями (11) побудована на рис. 3,а. Окрім того, що вона ортогональна, вона ще є ізометричною, тобто її нескінченно малий елемент (чарунка) є квадратом. В праці [7] описано спосіб перенесення плоских ізометричних сіток на поверхню кулі з умовою, що і на поверхні кулі вони залишаються ізометричними. Скориставшись ним, було нанесено плоску сітку (11) на поверхню кулі. Однак при цьому сітка не покриває всю поверхню кулі у замкненому вигляді. Це видно із рис. 3,б (вигляд зі сторони, де видно фокуси) і 3,в (вигляд із протилежної сторони).

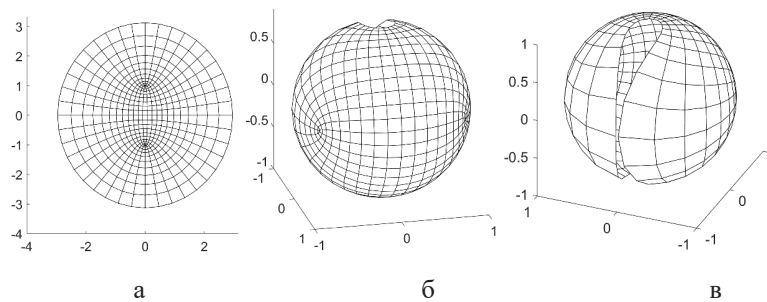


Рис. 3. Плоська і сферична ізометричні сітки: а) плоска сітка, яка утворена сім'ями співфокусних гіпербол і еліпсів; б), в) сферична сітка із різних точок спостереження

Для кращої наочності візьмемо фокуси F_1 і F_2 на екваторі симетрично від його нульового значення. Для цього рівняння сфери запишемо таким чином, щоб кут ε відраховувався не від полюса, а від екватора. В такому випадку поточне значення точки A гіперболи (або еліпса) матиме наступні координати:

$$A: \{ \cos \varepsilon \cos \gamma, \cos \varepsilon \sin \gamma, \sin \varepsilon \}. \tag{12}$$

Координати фокусів запишуться:

$$F_1: \{ \cos \theta/2, -\sin \theta/2, 0 \}. \tag{13}$$

$$F_2: \{ \cos \theta/2, \sin \theta/2, 0 \}. \tag{14}$$

Відстані від поточної точки A гіперболи (або еліпса) до фокусів F_1 і F_2 відповідно запишуться:

$$AF_1 = \text{Arccos}[\cos(\gamma - \theta/2)\cos \varepsilon]; \quad AF_2 = \text{Arccos}[\cos(\gamma + \theta/2)\cos \varepsilon]. \tag{15}$$

Різниця відстаней (15) як і їх сума є величина стала. З цієї умови знаходимо внутрішнє рівняння $\varepsilon = \varepsilon(\gamma)$:

$$\varepsilon = \text{Arccos}\left(\frac{\sin \varphi}{1 + \cos 2\gamma \cos \theta - (\cos 2\gamma + \cos \theta) \cos \varphi}\right). \tag{16}$$

Підстановка рівняння (16) у вирази (12), які є, по суті, рівняннями сфери одиничного радіуса дасть параметричні рівняння сферичної гіперболи при $\varphi < \theta$ і сферичного еліпса при $\varphi > \theta$. При одному і тому ж значенні θ (тобто при заданій відстані між фокусами) можна побудувати дві сім'ї співфокусних еліпсів. Одна сім'я еліпсів при різних значеннях φ , але при умові, що $\varphi < \theta$, є сім'єю сферичних гіпербол, а інша сім'я при $\varphi > \theta$ – сім'єю сферичних еліпсів. На рис. 4 сім'ї співфокусних кривих побудовані при різних значеннях відстані θ між фокусами.

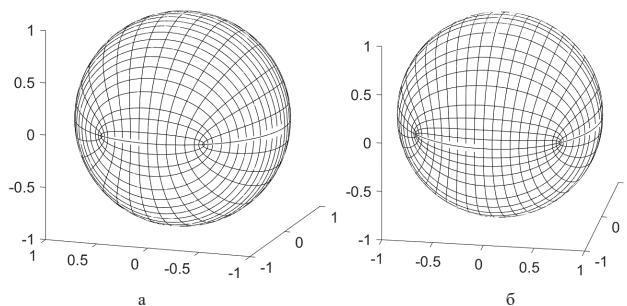


Рис. 4. Сферичні співфокусні гіперболи і еліпси:
а) при $\theta = \pi/3$; б) при $\theta = \pi/2$

На рис. 4 побудовані сім'ї співфокусних еліпсів, тому що для сфери гіпербола теж є еліпсом. Дві сім'ї перетинаються під прямим кутом, однак побудовані криві, хоч і утворюють ортогональну сітку, однак сіткою в математичному сенсі вона не є. Сітка утворюється із координатних ліній при двох незалежних змінних у рівняннях (наприклад, плоска сітка (11)). Криві на рис. 4 побудовані при одній незалежній змінній γ і дискретних значеннях кута φ . Побудовані сітки на рис. 4 відрізняються від сітки на рис. 3,б,в. Вони повністю покривають кулю, причому між півкулями існує симетрія. На екваторі розташовані чотири фокуси. Для випадку $\theta = \pi/2$ (рис. 4,б) фокуси рівномірно розподілені на екваторі. Сітки, зображені на рис. 4, з протилежної сторони мають такий же вигляд.

Знайдемо параметричні рівняння сітки у функції двох незалежних змінних, тобто рівняння поверхні, для якої лінії сітки будуть координатними лініями. Можна у рівняннях (9) величину φ зробити змінною. В такому випадку рівняння (9) стануть залежними від двох змінних – γ і φ , тобто вони стануть рівняннями сфери. При зміні при φ в межах $\varphi = 0 \dots 2\pi$ сфера буде покрита співфокусними еліпсами. Для $\varphi < \theta$ це будуть еліпси однієї сім'ї, а для $\varphi > \theta$ – другої сім'ї. Сітка в такому випадку матиме вигляд, як показано на рис. 5.

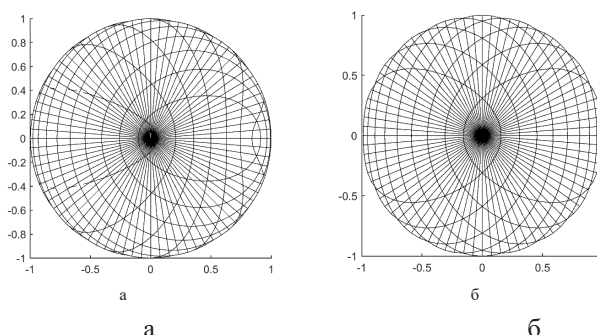


Рис. 5. Сітка із співфокусних сферичних еліпсів (вигляд зверху):
а) при $\theta = \pi/3$; б) при $\theta = \pi/2$

На рис. 5 видно співфокусні еліпси, однак крім них зайві лінії. Ці зайві лінії є координатними лініями, що виникають при зміні іншої змінної – γ . Щоб їх позбутися, потрібно перейти до іншої змінної причому такої, щоб її координатні лінії були перпендикулярними до сімей еліпсів. Такий перехід здійснюється засобами диференціальної геометрії. Для цього потрібно знайти коефіцієнти першої квадратичної форми поверхні (9) за умови, що γ і φ є незалежними змінними. Для їх знаходження застосовувався процесор символічної математики програмного продукту “Mathematica”. Вирази частинних похідних, через які знаходили коефіцієнти, не наводимо із-за їх громіздкості. Наводимо готовий результат отриманих коефіцієнтів E, F, G :

$$E = \left(\frac{\partial X}{\partial \gamma}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \gamma}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \gamma}\right)^2 = \frac{3(\cos\theta - \cos\varphi)^2(1 - \cos\theta\cos\varphi - \sin\theta\sin\varphi\cos\gamma)}{(7 + \cos 2\theta - 8\cos\theta\cos\varphi + 2\cos 2\gamma\sin^2\theta - 8\sin\theta\sin\varphi\cos\gamma)^2};$$

$$F = \frac{\partial X}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial X}{\partial \varphi} + \frac{\partial Y}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial Y}{\partial \varphi} + \frac{\partial Z}{\partial \gamma} \cdot \frac{\partial Z}{\partial \varphi} = \frac{6\sin\theta\sin\gamma(\cos\varphi - \cos\theta)(1 - \cos\theta\cos\varphi - \sin\theta\sin\varphi\cos\gamma)}{(7 + \cos 2\theta - 8\cos\theta\cos\varphi + 2\cos 2\gamma\sin^2\theta - 8\sin\theta\sin\varphi\cos\gamma)^2}; \quad (17)$$

$$G = \left(\frac{\partial X}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \varphi}\right)^2 = \frac{(1 - \cos\theta\cos\varphi - \sin\theta\sin\varphi\cos\gamma)^2}{[(\cos\theta - \cos\varphi)^2 + (\sin\varphi - \sin\theta\cos\gamma)^2]}.$$

Щоб побудувати криву, перпендикулярну до сім’ї співфокусних еліпсів, потрібно розв’язати диференціальне рівняння:

$$Ed\gamma + Fd\varphi = 0. \quad (18)$$

Після підстановки коефіцієнтів (17) у (18) отримаємо:

$$\frac{d\gamma}{d\varphi} = \frac{\sin\theta\sin\gamma}{2(\cos\theta - \cos\varphi)}. \quad (19)$$

З допомогою програмного продукту “Mathematica” знаходимо розв’язок диференціального рівняння (19):

$$\gamma = 2\text{Arctg}\left(e^{2\alpha\sin\theta}\sqrt{\sin\frac{\theta-\varphi}{2}\csc\frac{\theta+\varphi}{2}}\right), \quad (20)$$

де α – постійна інтегрування. Якщо підставити вираз (20) у рівняння (9), то для конкретного значення α рівняння (9) опишуть криву, перпендикулярну до співфокусних еліпсів. Якщо параметр α прийняти за нову незалежну змінну замість γ , то рівняння (9) опишуть поверхню кулі, віднесену до ортогональних координатних ліній, якими є співфокусні еліпси. На рис. 5 побудовані сфери при незалежних змінних γ і φ , а на рис. 6 – ті ж самі сфери при незалежних змінних α і φ , де перехід від змінної γ до змінної α відбувся через вираз (20).

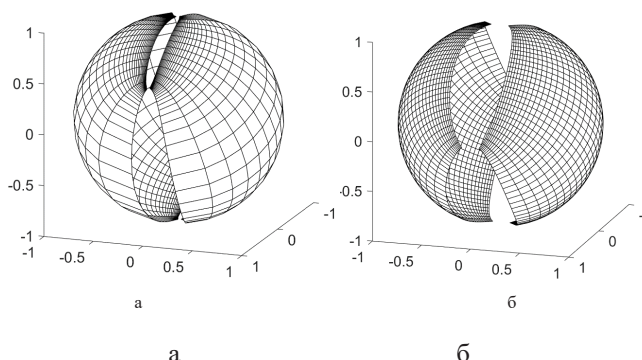


Рис. 6. Сітка із співфокусних взаємно ортогональних сферичних еліпсів:
а) при $\theta=\pi/3$; б) при $\theta=\pi/2$

Як видно із рис. 6, на поверхні кулі є ділянки у вигляді незавершених еліпсів, на яких сітка відсутня. Це пояснюється тим, що в цих місцях лінії однієї сім’ї настільки загущуються, що їх не стає видно і навпаки, лінії другої сім’ї дуже розріджуються. Спроба перейти до ізометричної сітки не увінчалася успіхом.

Висновки

Співфокусні еліпси і гіперболи на площині утворюють ортогональну сітку. Знайдено сферичні аналоги еліпса і гіперболи за принципом їх графічної побудови на площині. Як на площині, так і на сфері потрібно задати відстань між двома фокусами. Другою умовою є стала сума відстаней (для еліпса) або різниця (для гіперболи) від поточної точки кривої до фокусів. Для сфери ці відстані вимірюються кутами. Сферичний аналог еліпса подібний до еліпса на площині, а сферичним аналогом гіперболи є два сферичні еліпси, що відповідають двом віткам гіперболи на площині. Для заданої міжфокусної відстані на сфері сферичний еліпс і сферична гіпербола (а по суті два сферичних еліпси) перетинаються під прямим кутом. Змінюючи величину суми або різниці відстаней при незмінній міжфокусній відстані можна побудувати дві сім’ї сферичних еліпсів і гіпербол (які теж є еліпсами), які за аналогією на площині утворюють ортогональну сітку. Виведено параметричні рівняння сфери одиничного радіуса, віднесеної до ортогональної сітки двох сімей координатних ліній. Цими сім’ями є співфокусні сферичні еліпси.

Список використаної літератури

1. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. Київ: Наукова думка, 2002. 662 с. Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2021/Kinitsky_2002_661.pdf
2. Chiang C.H. (2000). Kinematics of Spherical Mechanisms. Published by Krieger Publishing Company United States, Режим доступу: <https://www.abebooks.com/9781575241555/Kinematics-Spherical-Mechanisms-Chiang-1575241552/plp>
3. Mullineux G Atlas of spherical four-bar mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*, Volume 46, Issue 11, November 2011. Pages 1811–1823. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X11001121>
4. Dooley, J. R., and McCarthy, J. M., 1992, Dynamics of Open and Closed Chain Spherical Mechanisms Using Quaternion Coordinated. Proceedings of the 22nd Biennial Mechanisms Conference, 1992, DE-Vol. 47, pp. 167–172.
5. Пилипака С.Ф., Несвідомін А.В. Формоутворення сферичних епіциклоїд при обкочуванні рухомого конуса по нерухомому. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. № 2 (85). С. 65–70. Режим доступу: https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/243
6. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. Construction of conical axoids on the basis of congruent spherical ellipses. *Archives of Materials Science and Engineering* *this link is disabled*. 2022, 113(1), pp. 13–18. Режим доступу: <https://www.sciencegate.app/document/10.5604/01.3001.0015.6967>
7. Пилипака С. Ф., Грищенко І. Ю., Несвідоміна О. В. Конструювання ізометричних сіток на поверхні кулі. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2018. Вип. 94. С. 82–87. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeoig_2018_94_16

References

1. Kinytskyi, Ya.T. (2002). *Teoriia mekhanizmiv i mashyn* [Theory of mechanisms and machines]. Kyiv: Naukova dumka, 662 (in Ukrainian).
2. Chiang, C.H. (2000). *Kinematics of Spherical Mechanisms*. Published by Krieger Publishing Company United States, Available at: <https://www.abebooks.com/9781575241555/Kinematics-Spherical-Mechanisms-Chiang-1575241552/plp>
3. Mullineux, G (2011). Atlas of spherical four-bar mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*, vol. 46, Issue 11, pp. 1811–1823. .: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X11001121>
4. Dooley, J. R., and McCarthy, J. M. (1992). Dynamics of Open and Closed Chain Spherical Mechanisms Using Quaternion Coordinated. Proceedings of the 22nd Biennial Mechanisms Conference, DE-Vol. 47, pp. 167–172.
5. Pylypaka, S.F., Nesvidomin, A.V. (2023). Formoutvorennia sferychnykh epitsykloid pry obkochuvanni rukhomoho konusa po nerukhomomu [Formation of spherical epicycloids when rolling a moving cone on a stationary one]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu.*, № 2 (85), pp. 65–70. Available at: https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/243
6. Kresan, T., Pylypaka, S., Ruzhylo, Z., Rogovskii, I., Trokhaniak, O. (2022). Construction of conical axoids on the basis of congruent spherical ellipses. *Archives of Materials Science and Engineering* *this link is disabled*, 113(1), pp. 13–18. Available at: <https://www.sciencegate.app/document/10.5604/01.3001.0015.6967>
7. Pylypaka, S. F., Hryshchenko, I. Yu., Nesvidomina, O. V. (2018). Konstruiuvannia izometrychnykh sitok na poverkhni kuli [Construction of isometric grids on the surface of the sphere]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, vyp. 94, pp. 82-87. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeoig_2018_94_16

С. В. НОВИЦЬКИЙ

аспірант

Інститут відновлюваної енергетики

Національної академії наук України

ORCID: 0009-0005-5647-6635

О. В. ЗУР'ЯН

кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник відділу геотермальної енергетики

Інститут відновлюваної енергетики

Національної академії наук України

ORCID: 0000-0002-2391-1611

ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ. ВИДИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ

У статті зроблено аналітичний огляд фотоелектричних перетворювачів, що належать до різних поколінь та технологічних груп, оцінка їх переваг та недоліків, особливостей виробництва, поточних показників ефективності та перспектив розвитку, технологій підвищення їх ефективності. Визначено сучасний стан технологій фотоелектричних перетворювачів та які виклики і можливості постають перед дослідниками і виробниками. Представлено аналіз ефективності фотоелектричних модулів як основних компонентів фотовольтаїки. Систематизовані основні переваги і недоліки фотоелектричних елементів різних типів. Визначено найбільш інноваційні технології, до складу яких відносяться двосторонні фотоелектричні елементи, прозорі фотоелектричні елементи, гнучкі фотоелектричні елементи, системи концентрування випромінювання, технології вдосконалення зняття струму. Виконано патентний пошук по спеціалізованій базі даних "Винаходи (корисні моделі) в Україні" по ключовим словам, що стосуються запиту «сонячні перетворювачі», та зроблено висновок, що 24 відсотки патентів по даному напрямку, зареєстрованих в Україні стосуються процесу виробництва фотоелектричних елементів та модулів, 48 відсотків рішень присвячені конструкції і компонуванню фотоелектричних модулів і систем, 28 відсотків – матеріалам і архітектурі фотоелектричних елементів. Встановлено, що технології фотоелектричних елементів і матеріали, що застосовуються для їх виробництва, постійно удосконалюються. Зусилля виробників та дослідників направлені на пошук нових підходів щодо збільшення ефективності сонячних панелей, підвищення обсягу виробленої енергії з одиниці площі, зниження її собівартості, створення оптимальних можливостей роботи при різних рівнях освітленості та температурних показників, розширення сфер можливого застосування фотоелектричних систем, а також підвищення стійкості до впливу чинників навколишнього середовища.

Ключові слова: фотоелектрика, фотовольтаїка, сонячні елементи, ефективність перетворення енергії.

S. V. NOVYTSKYI

Postgraduate Student

Institute of Renewable Energy

National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0009-0005-5647-6635

O. V. ZURIAN

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Research at the Department of Geothermal Energy

Institute of Renewable Energy

National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0002-2391-1611

PHOTOELECTRIC CONVERTERS. TYPES, EFFICIENCY

The article analyzes the types of photovoltaic cells belonging to different generations and technological groups, evaluates their advantages and disadvantages, production features, current efficiency indicators and development prospects, technologies for increasing their efficiency. The current state of the technologies of photoelectric converters and the challenges and opportunities facing researchers and manufacturers are determined. An analysis of the efficiency of photovoltaic systems as the main components of photovoltaics is presented. The main advantages and disadvantages of photovoltaic cells of various types are systematized. The most innovative technologies have been determined, which include double-sided photovoltaic elements, transparent photovoltaic elements, flexible photovoltaic elements, systems for concentrating radiation, and technologies for improving current removal. A patent search was carried out on the specialized database "Inventions (useful models) in Ukraine"

using keywords related to the request "solar converters", and it was concluded that 24 percent of patents in this direction, registered in Ukraine, relate to the production process of photovoltaic cells and modules, 48 percent of decisions are devoted to the design and composition of photovoltaic modules and systems, 28 percent to the materials and architecture of photovoltaic elements. It has been established that the technologies of photovoltaic cells and the materials used for their production are constantly being improved. The efforts of manufacturers and researchers are aimed at finding new approaches to increasing the efficiency of solar panels, increasing the amount of energy produced per unit area, reducing its cost, creating optimal work opportunities at different levels of illumination and temperature indicators, expanding the scope of possible application of photovoltaic systems, as well as increasing sustainability to the influence of environmental factors.

Key words: photovoltaics, photovoltaics, solar cells, power conversion efficiency.

Постановка проблеми

Глобальні кліматичні зміни, що відбуваються в сучасному світі внаслідок збільшення викидів вуглекислого газу, є критичним викликом для людства і потребують негайних дій для запобігання їх негативним наслідкам – збільшенню кількості стихійних лих, дефіциту прісної води, підвищенню рівня певних груп захворювань, вимушеної міграції. Стратегією розвитку енергетичної сфери більшості країн світу, в тому числі і України, передбачено зменшення рівня викидів і досягнення в подальшому вуглецевої нейтральності. Критичним для нашої Держави в сучасних реаліях є і питання досягнення енергетичної незалежності. Максимізація використання джерел відновлюваної енергії стало актуальною необхідністю часу, оскільки сприяє вирішенню багатьох екологічних, економічних, і соціальних проблем.

Згідно з прогнозами експертів фірми IBM, фотоелектрика відноситься до десятки технологій, що будуть здійснювати найбільш суттєвий вплив на розвиток цивілізації у XXI ст. Серед її переваг слід відзначити: широку географічну доступність, безшумність, широку область застосування, сталість і великий обсяг, що доступний до використання наявними технічними засобами. Водночас використання сонячної енергії сучасними технічними засобами пов'язане з певними недоліками: мінливістю інтенсивності сонячного опромінення в різні пори року, час доби, погодні умови; малою щільністю потужності; застосуванням дорогих і рідкісних компонентів для виробництва фотоперетворювачів; високою вартістю акумулювання електроенергії. Незважаючи на бурхливий розвиток сонячної енергетики, собівартість виробництва електроенергії на сонячних електростанціях залишається однією з найвищих серед альтернативних способів генерації. Зважаючи на це, для масового впровадження сонячної енергетики критично важливими є технологічні рішення, здатні знизити вартість сонячної енергії, зробивши її дешевшою, ніж енергія, що генерується класичними методами, розширити сфери застосування фотоелектричних приладів. Важливим є також мінімізація впливу на навколишнє середовище шляхом зменшення викидів шкідливих речовин, споживання електроенергії та дефіцитних матеріалів в процесі виробництва, що підштовхує вчених до подальших досліджень та вдосконалення матеріалів, архітектури фотоелектричних елементів та модулів, технологій їх виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В науковій літературі значна увага приділена огляду технологій перетворення сонячної енергії та проблемам підвищення їх ефективності. В роботах [1; 2; 3; 4] авторами виконано аналіз історичних передумов розвитку фотовольтаїки у XX столітті. Постійно є актуальними та знаходяться в полі зору дослідників питання підвищення ефективності сонячних перетворювачів [6; 7; 8; 9]. Техніко-економічні питання використання фотоелектричних перетворювачів різних типів висвітлені в роботах [10; 11; 12; 13]. Зростання попиту в останні роки на застосування ФЕС в приватному секторі та промисловості обумовлено зменшенням їх вартості та збільшенням енергоефективності за рахунок впровадження інноваційних розробок, викладених в роботах [14; 15; 16]. Перспективними є дослідження, що стосуються еко-дизайну ФЕС [17; 21] та використанню напівпрозорих сонячних елементів [18; 19; 20]. Враховуючи існуючий широкий спектр технологій фотоелектричного перетворення, актуальними залишаються дослідження, які дозволять отримати цілісну картину стану розвитку сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів та їх ефективності.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є систематизація та аналіз видів фотоелектричних елементів, що належать до різних поколінь та технологічних груп, оцінка їх переваг та недоліків, особливостей виробництва, поточних показників ефективності та перспектив розвитку, технологій підвищення їх ефективності, визначення актуальних проблем для подальших досліджень.

Викладення основного матеріалу дослідження

Історію розвитку технології розпочато у 1839 році відкриттям фотоелектричного ефекту французьким фізиком Едмондом Беккерелем. З того часу інноваційні ідеї, наполегливість дослідників та прийняті ними ризики призвели до прориву в галузі фотоелектричних перетворювачів, таким чином створивши можливість їх промислового використання в якості автономних джерел енергії космічних апаратів, а згодом і в якості відновлюваних джерел енергії для широкомасштабного наземного використання. Виявлення

у 1873 р. вченим Уіллоубі Смітом фотопровідності селену, спостереження фотогальванічного ефекту професором Вільямом Адамсом та його студентом Річардом Деєм у 1876 році стали основою конструкції першого фотоелектричного перетворювача на основі селену, який був створений Чарльзом Фріттцем у 1883 р. Ефективність перетворення сонячної енергії в електричну цим пристроєм складала менше 1%. У 1904 р. Альберт Ейнштейн перший пояснив фізичні процеси, які обумовлюють перетворення сонячної енергії в електричну, а в 1941 р. Раселл Охл запатентував перший фотоелектричний перетворювач на основі кремнію. Низька ефективність фотоелектричних перетворювачів не дозволяла розглядати їх в якості засобів для виробництва електроенергії у великих масштабах. На початку 50-х років XX ст. в Белл лабораторії (США) розпочалися дослідження щодо можливих застосувань кремнію в електроніці. Завдяки роботам Чапіна, Фуллера і Пірсона були отримані зразки фотоелектричних перетворювачів з ефективністю близько 6%. 17 березня 1958 р. був запущений перший супутник Vanguard I, для системи живлення якого були використані фотоелектричні перетворювачі, що продемонстрували безперервну роботу протягом 8 років. З того часу почалося промислове виробництво фотоелектричних перетворювачів для космічного застосування. У 1960 р. ефективність перетворювачів була збільшена до 14%, фотоелектричні пристрої почали розглядатися в якості автономних джерел енергії телефонних станцій, електромобілів, маяків тощо [1].

Проведена у 1973 р. в США конференція «Cherry Hill» вважається відправним пунктом у розвитку наземної фотоелектрики. Під час неї експерти висловили думку, що саме фотоелектрична генерація може відігравати суттєву роль у забезпеченні США електроенергією. Як наслідок, законодавча підтримка та безпрецедентні обсяги фінансування дослідно-конструкторських робіт урядами США і розвинутих країн Європи створили умови для першого етапу розвитку наземного використання фотоелектрики.

Технологами німецької фірми «Wacker» в середині 70-х рр. XX ст. було розроблено інноваційну кристалізацію полікристалічного кремнію для наземних сонячних елементів. Це було революційним кроком у розвитку фотоелектрики для наземного використання. Нині такі кремнієві сонячні елементи займають найбільший сегмент світового ринку фотоелектрики [2].

Упродовж багаторічної історії розвитку фотовольтаїки було розроблено низку різноманітних видів фотоелектричних батарей, які умовно охоплюють 3 покоління технологій. Кремній став першим життєздатним матеріалом для фотоелектричних елементів, створивши основу для технології *першого покоління* фотоелектричних перетворювачів.

Фотоелектричні елементи на основі кремнію (Si-PV) можна розділити на дві широкі категорії, а саме:

1. Сонячні елементи з кристалічного кремнію (c-Si), це найпопулярніший клас фотоелектричних елементів, які були розроблені за технологією кристалічного кремнію на основі пластин, які далі можна розділити на монокристалічні та полікристалічні;

2. Фотоелектричні елементи з аморфного кремнію (a-Si). Фотоелектричні елементи a-Si розроблено за допомогою тонкоплівкової технології, розвиток якої привів до появи вдосконалених фотоелектричних елементів на основі гідрогенізованого аморфного кремнію (a-Si:H) [3].

Як правило, Si-PV елементи мають р-п-перехід на основі кремнієвого напівпровідника як базову одиницю в структурі сонячної батареї, як показано на Рис. 1.

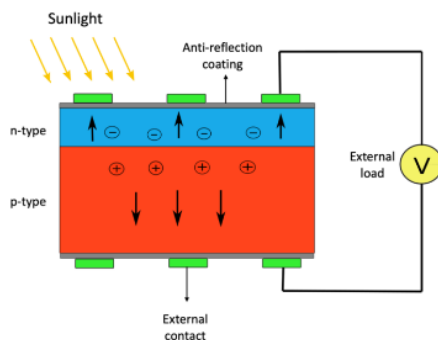


Рис. 1. р-п-перехід на основі кремнієвого напівпровідника [8]

Технології першого покоління залишаються основним рушієм розвитку фотоелектричної галузі. І досі більше 90% нині діючих світових виробництв сучасних фотоелектричних панелей використовують технологію кристалічного кремнію на основі пластин [9].

Однак, незважаючи на високий рівень ефективності технологій першого покоління, можливості для покращення, включають: зниження вартості c-Si модулів; пом'якшення впливу на довкілля шляхом зменшення відходів; зменшення товщини пластини через покращення властивостей матеріалу.

Подальші розробки призвели до створення фотоелектричних батарей *другого покоління*, заснованих на інтеграції багатьох напівпровідникових матеріалів. У результаті виникли два класи фотоелектричних елементів [10]:

- одноперехідні, на основі комбінування елементів III і V групи періодичної таблиці, з використанням технології на основі пластин. Зазначений клас включає GaInP (галій-індій-фосфор) і GaAs (арсенід галію);
- халькогенідні фотоелектричні елементи – розроблені комбінуванням різних халькогенових напівпровідникових елементів, виготовлених за тонкоплівковою технологією. Цей клас включає CdTe (телурид кадмію), CZTS (сульфід міді, цинку, олова) і CIGS (діселенід міді, індія, галію). До технологій другого покоління відносять також [9] тонкоплівкові на основі кремнію: аморфного [a-Si] та мікрморфного [a-Si/c-Si].

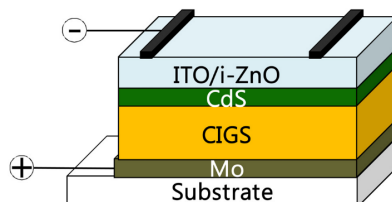


Рис. 2. Схематичне зображення тонкоплівкового ФЕ елемента на основі CIGS [11]

Ці технології можуть бути дешевшими за кремнієві у разі серійного виробництва, але мають суттєво нижчі показники ефективності.

Зрештою, технології *третього покоління* стосуються новітніх розробок в конструкції та матеріалах, що використовуються в фотоелектричних елементах [3]. Вони засновані на технології тонких плівок і дозволили модифікувати традиційну технологію фотоелектричних елементів з метою підвищення ефективності перетворення електроенергії (PCE) і мінімізації вартості виготовлення, а отже, зниження загальної вартості фотоелектричних панелей. До найбільш перспективних технологій, що інтенсивно досліджуються, відносяться наступні:

- пасивація тильного контакту випромінювача (PERC).

Фотоелектричні елементи з технологією PERC є модифікацією типових монокристалічних c-SI елементів, в яких фотони відбиваються назад через кристалічну решітку за допомогою пасиваційного шару, інтегрованого на тильній стороні сонячної панелі. Як подальша модифікація технології алюмінієвої тильної поверхні (Al-BSF), фотоелектричні елементи PERC включають локальні тильні контакти за допомогою процесу лазерної абляції [3]. Пасивуючий шар збільшує загальну ефективність фотоелектричного елемента трьома ключовими способами:

- зменшення рекомбінації носіїв зарядів;
- збільшення поглинання світла;
- забезпечення вищої внутрішньої відбивної здатності.

Приріст ефективності від впровадження архітектури PERC для монокристалічних елементів становить від 0,8% до 1%, в той час як приріст для мультикристалічних елементів трохи нижчий – від 0,4% до 0,8% [12]. Технологія PERC почала лише нещодавно виходити на комерційну арену, але швидко стала новим промисловим стандартом для монокристалічних елементів.

- органічні фотоелектричні елементи (OSC).

Органічні фотоелектричні елементи використовують органічні (на основі вуглецю) матеріали у складі активного напівпровідникового шару. Органічні напівпровідники дають потенціал для виробництва гнучких і легких сонячних панелей. Найбільш привабливою характеристикою OSC є низька вартість їх виготовлення завдяки недорогому матеріалу активного шару та підкладки з поліетилентерефталату (PET) [10]. OSC розроблені для застосування при низькій інтенсивності світла, і, отже, є підходящими для використання в приміщеннях. У порівнянні з традиційними кремнієвими елементами органічні мають вищі показники оцінки життєвого циклу (LCA) завдяки нижчим термінам повернення інвестованої для їх виготовлення електроенергії (Energy Pay-Back Time) та компенсації викидів вуглекислого газу (Carbon Pay-Back Time), що потрапив в атмосферу при виробництві. Найбільшим недоліком органічних елементів є нижча ефективність перетворення енергії та коротший життєвий цикл, що обмежує можливості їх комерціалізації. Проблема утилізації підкладки з PET, що не піддається біологічному розкладанню, ставить перед науковцями завдання пошуку кращого еко-дизайну матеріалу підкладки, який буде нетоксичним, механічно стабільним та забезпечуватиме покращені характеристики оцінки життєвого циклу (LCA).

- сенсibiliзація барвниками (DSSC).

Сенсibiliзовані барвниками фотоелектричні елементи (DSSC) складаються з механічної основи, покритої прозорими провідниковими оксидами (TCO), напівпровідникової плівки (звичай TiO₂), сенсibiliзатора, адсорбованого на поверхні напівпровідника, електроліту, що містить окисно-відновний медіатор, а також протиелектрода, здатного регенерувати окисно-відновний медіатор. Як напівпровідник для фотоелектрода часто використовується діоксид титану, оскільки він є дешевим, широко доступним та нетоксичним, як сенсibiliзатор використовуються комплексні сполуки рутенію, а окисно-відновною парою є трийодид/йод [14]. Їх ефективність

значно нижча в порівнянні з традиційними Si-PV панелями. Однак основним обмеженням DSSC є довговічність, тобто мінімізований термін служби через корозію, витікання та випаровування леткого рідкого електроліту. З цієї причини було докладено багато зусиль для розробки оптимального багатофазного електроліту та навіть застосування квазітвердого електроліту, який продемонстрував оптимальний баланс між терміном служби та ефективністю, і твердогільного електроліту, який виявив оптимальну механічну стабільність, високу безпеку, легке виготовлення та знижену ефективність.

– колоїдні квантові точки (CQSC).

В основі фотоелектричних елементів на основі колоїдних квантових точок (CQSC) лежать колоїдні металохалькогенідні квантові точки (CQD), які є нанокристалічними частинками в дірково-транспортному шарі р-типу (HTL) напівпровідникового матеріалу [15]. Ці нанокристали мають високу квантову світлову ефективність і використовуються в елементі як середовище для поглинання світлового випромінювання. Оскільки вони засновані на наноструктурах, розмір і властивості яких можна легко змінювати, CQSC можна налаштувати для поглинання різних спектрів світла. Основна структура CQSC складається з шару транспортування дірок (HTL), шару халькогенідних квантових точок (CQD), активного шару, шару транспортування електронів (ETL) і задньої поверхні з оксиду індію та олова (ITO). CQSC привернули велику увагу та дослідницький інтерес завдяки своїй здатності поглинати видимий та близький до інфрачервоного спектри випромінювання, дешево виготовленню при низьких температурах, а також гнучкості, що дозволяє регулювати заборонену зону шарів матеріалу в їх структурі [3]. Технологія CQSC робить можливою генерацію одним фотоном множинних екзитонів і дозволяє перевершити межу Шоклі-Квейссера [16]. Завданням подальших досліджень є розробка високостабільного оптимального контролю і налаштування забороненої зони, що значно підвищить продуктивність і ефективність CQSC і сприятиме їх широкомасштабній комерціалізації.

– перовскіти (PSC).

Основою перовскітних фотоелектричних елементів (PSC) є гібридний металогалогенний перовскіт, який є мінералом CaTiO_3 , і серед інших переваг характеризується низькою вартістю та мінімальними втратами на рекомбінацію [3]. Типова структура PSC є наступною: прозора підкладка – формує шар, який покриває прозорий електропровідний оксид (TCO) та дозволяє надходження світла до нього; шар TCO – це тонкий шар TiO_2 , який служить для блокування дірок; електронний транспортний шар (ETL) – це межа розділу між мезопористим шаром і шаром TCO, яка дозволяє транспортувати фотони світла; шар перовскіту – це інфільтраційний шар з перовскітовим розчинним матеріалом; шар матеріалу для транспортування дірок (HTM) – служить матрицею для транспортування дірок в органічних фотоелементах. PSC показали багатообіцяючу тенденцію досягнення майже еквівалентних результатів ефективності перетворення електроенергії порівняно з кремнієвими панелями, які вже виробляються. Основними завданнями подальших досліджень є вирішення проблем внутрішньої токсичності клітинної структури через наявність високотоксичного металу свинцю та його похідних у структурі клітин, а також викидів свинцю під час їх виробництва, безпечної утилізації PSC. До інших недоліків PSC відносять неддовговічність і схильність до руйнування під впливом вологи та ультрафіолетового випромінювання. Саме збільшення надійності та терміну служби стоїть першочерговим завданням перед інженерами за подальших розробок [17]. Іншим викликом для науковців є те, що, хоча вони змогли досягти високих рівнів ефективності з невеликими перовскітами, вони не змогли повторити такий ефект для більших площ елементів. Якщо ці бар'єри будуть подолані, перовскітові клітини мають потенціал змінити динаміку та економіку сонячної енергетики, оскільки вони дешевші у виробництві ніж кремнієві елементи, і можуть вироблятися при відносно низьких температурах, на відміну від кремнієвих.

– багатоперехідні (каскадні) фотоелектричні елементи (MJSC).

Каскадні фотоелектричні елементи (MJSC) включають кілька напівпровідникових матеріалів із різними ширинами забороненої зони для поглинання ширшого діапазону сонячного спектру. MJSC формують шляхом вирощування монокристалічної багатокаскадної монокристалічної структури, або механічного стикування готових елементів. На рис. 3 показано типовий елемент з трьома переходами ($\text{InGaP}/\text{InGaAs}/\text{Ge}$).

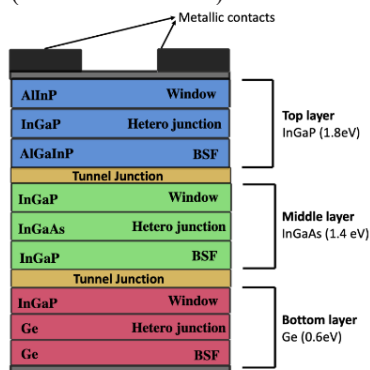


Рис. 3. Схематичне зображення каскадного ФЕ елемента [3]

MJSC, що складається з двох суб-елементів, зазвичай називають тандемом. Технологія укладання шарів з різних матеріалів, кожен з яких здатний поглинати певну частину сонячного світла, дозволяє каскадним фотоелектричним елементам досягти вищої ефективності порівняно з одноперехідними, які мають теоретичний показник ефективності перетворення енергії менше 30%. MJSC є суттєво дорогими у виробництві через високу вартість матеріалів і складний процес виготовлення [10]. Як наслідок, вони не набули широкої комерціалізації, навіть незважаючи на їх високу потенційну ефективність. Індустрія очікує майбутніх досліджень та прориву у відкритті оптимальних альтернативних матеріалів для з'єднань, що забезпечить нижчу собівартість електроенергії (LCOE) і великий потенціал для масштабної комерціалізації MJSC.

В таблиці 1 наведено основні переваги і недоліки фотоелектричних елементів різних типів.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця переваг і недоліків фотоелектричних елементів різних типів

Технологія ФЕ	Переваги	Недоліки
Кремнієві	Висока ефективність, стабільність, високий термін життєвого циклу	Висока вартість та енергоємність виробництва
Тонкоплівкові халькогенідні	Низька вартість при серійному виробництві	Низькі показники ефективності, проблема утилізації токсичних матеріалів
Органічні	Низька вартість матеріалів, можливість застосування при низькій інтенсивності світла	Низька ефективність, низький термін життєвого циклу, проблема утилізації підкладки PET
Сенсибілізовані барвниками	Низька вартість матеріалів	Низька ефективність, низький термін життєвого циклу
Перовскіти	Висока ефективність, низька вартість матеріалів	Проблема зниження внутрішньої токсичності, недовговічність, низька ефективність на модулях великих площ
Багатоперехідні	Висока ефективність	Висока вартість і складність виготовлення

Наведені нижче дані [7] вимірювань ефективності фотоелектричних елементів та модулів з різних типів напівпровідників були отримані сертифікованими тестувальними центрами з дотриманням стандарту global AM1.5 spectrum (1000 W/m²) при 25°C (IEC 60904-3: 2008 або ASTM G-173-03 global). Застосовано критерій мінімальної площі для різних типів пристроїв (1 см² для елементів без використання концентраторів (one-sun cell), 200 см² для «субмодуля» та 800 см² для модуля; для елемента з використанням концентраторів – 0,05 см²).

Серед одноперехідних елементів та субмодулів найвищий показник ефективності в 29,1% зафіксовано в жовтні 2018 року Інститутом систем сонячної енергії Фраунгофера (FhG-ISE) для тонкоплівкового фотоелектричного елемента GaAs. Згідно зі звітами Інституту досліджень сонячної енергії в Хамельні (ISFH) у жовтні 2022 року, компанією LONGi встановлено новий рекорд ефективності 26,81% для кремнієвих фотоелектричних елементів з гетеропереходом за технологією повнорозмірних кремнієвих пластин. Серед халькогенідних фотоелектричних елементів найвищий показник ефективності у 23,35% продемонстровано у листопаді 2018 році елементом CIGS без вмісту кадмію. Для елементів вказаної підгрупи варто відзначити підвищення ефективності до 20,3% для великого (527 см²) субмодуля CuIn_{1-x}Ga_xS_ySe_{2-y} (CIGSSe), виготовленого компанією Avancis та виміряного Національною лабораторією відновлюваної енергії (NREL) США. Іншим новим результатом є ефективність площі апертури 12,1% для елемента Cu₂ZnSnS_ySe_{4-y} (CZTSSe) розміром 1 см², виготовленого Інститутом фізики Академії наук Китаю (IoP/CAS) і виміряного Китайським національним центром вимірювань і випробувань фотоелектричної промисловості (NPVM) у квітні 2023 року. Нове досягнення – ефективність 24,35% для перовскітового фотоелектричного елемента площею 1 см², виготовленого Національним університетом Сінгапуру спільно з Інститутом досліджень сонячної енергії Сінгапуру і виміряного NPVM у квітні 2023 року. Останнє оновлення результату ефективності фотоелектричного елемента, сенсибілізованого барвниками (виробництва компанії Sharp), на рівні 11,9% отримане ще у вересні 2012 року японським Національним інститутом передових промислових наук і технологій (AIST). У січні 2023 року отримано новий результат ефективності 15,7% для органічного фотоелектричного мінімодуля розміром 19 см², виготовленого Університетом Чжецзяна у співпраці з EnrichPV і Microquanta та виміряного Японськими лабораторіями з електробезпеки та екологічних технологій (JET).

Серед каскадних елементів та субмодулів найвищий показник ефективності зафіксовано NREL у липні 2013 року – 38,8% для 5-каскадного (групи III-V) елемента. У квітні 2020 року лабораторією FhG-ISE отримано показник ефективності 35,9% для каскадного елемента GaInP/GaInAsP/Si. Були зафіксовані нові результати ефективності для каскадних елементів з використанням перовскітів. Перший новий результат стосується 2-термінального перовскітно-кремнієвого тандемного елемента розміром 1 см², у травні 2023 року ESTI підтвердила 33,7% ефективності для елемента, виготовленого компанією KAUST. Це вища ефективність, ніж у будь-який іншого тандему із двох елементів. Також у травні FhG-ISE підтвердила ефективність 28,6% для набагато більшого 2-термінального перовскітно-кремнієвого тандемного

елементу площею 258 см², виготовленого Oxford PV. Було звітовано про гарні результати для 4-термінального тандему площею 64 см², виготовленого Kaneka, що складається з 32-елементного перовскітного мінімодуля, механічно укладеного на один кремнієвий елемент. Загальна ефективність 28,4% була виміряна Японським національним інститутом передових промислових наук і технологій (AIST). Два нові результати, стосуються тандемної групи з двох перовскітних елементів різного складу, обидва пристрої виготовлені Нанкінським університетом у співпраці з Renshine Solar (Suzhou) Co. Ltd, і обидва виміряні JET. Перший – це 28,2% ефективності для пристрою з площею 1 см², що свідчить про те, що рубіж у 30% також досягається для цього підходу, а другий – 29,1% для набагато меншого пристрою з площею 0,05 см².

Нові результати ефективності фотоелектричних модулів без використання концентраторів: перший повідомляє про збільшення ефективності до 24,7% для великої площі (1,8 м²), монокристалічного кремнієвого модуля, виготовленого компанією Maxeon і виміряного NREL у квітні 2023 року. Другий повідомляє про підвищення ефективності до 18,6% для меншого (810 см²) перовскітового модуля, виготовленого компанією UtmoLight і виміряного JET у травні 2023 року; тоді як третій повідомляє про значне збільшення ефективності до 13,1% для більшого (1475 см²) органічного модуля, виготовленого Ways Technical Corporation в співпраці з Nanobit і виміряного NREL у травні 2023 року. Останні два результати повідомляють про два високоєфективних 4-термінальних модулів, виготовлених Sharp та виміряних за допомогою AIST у лютому 2023 року, які складаються з тандемного модуля III–V, механічно укладеного на кремнієвий модуль у першому випадку та модуля CIGS у другому випадку. Вони обидва мають характеристики площі трохи нижчі за вимогу у 800 см² для класифікації як модуля. Загальна ефективність становить 33,7% у першому випадку та 31,2% у другому, що свідчить про тип комерційних показників, які галузь може очікувати в майбутньому.

Виготовлені в Німеччині (Fraunhofer ISE/Soitec) чотириохкасадні III-V фотоелектричні елементи досягли ефективності 47,6% при використанні концентратора сонячного випромінювання зі ступенем концентрації 665 ед. Згідно вимірювань, проведених у травні 2022 року, що є одним із найбільш високих досягнутих коефіцієнтів перетворення енергії для фотоелектричних елементів будь-яких типів.

Окрім впровадження нових матеріалів та вдосконалення архітектури фотоелектричних елементів науковцями розроблено широкий ряд методів і технологій для підвищення ефективності фотоелектричних модулів, а також розширення областей їх практичного застосування. Серед найбільш інноваційних технологій, які прогнозовано можуть вийти на новий рівень, відмітимо наступні.

– двосторонні фотоелектричні елементи (BPV).

Двосторонні фотоелектричні елементи використовують антивідблискові покриття як переднього, так і заднього шарів для поглинання сонячного випромінювання з конфігурацією, яка складається з емітерного шару (n-типу), області виснаження та шару підкладки (p-типу), які розташовані між антивідблисковими покриттями [18]. BPV елементи здатні генерувати електроенергію, використовуючи сонячне світло, отримане як через їх фронтальну сторону, так і через зворотну сторону, приймаючи випромінювання, відбите від поверхні. Функціонування у режимі використання двох сторін модуля, драйвером якого є PERC-технологія, забезпечує збільшення ефективності модуля на 5–20% за рахунок збільшення генерації електричної енергії.

– прозорі фотоелектричні елементи (TPV) – це нова технологія, яка базується на прозорому провідному склі та електродах, що створює умови для їх інтеграції в системи «розумних будівель». Останні розробки щодо елементів TPV базуються на технологіях виготовлення матеріалів сонячних елементів, які вже розробляються, наприклад розробка напівпрозорого перовскітного фотоелектричного елемента (ST-PSC) [19], який продемонструвало прозорість для хвиль майже інфрачервоного спектру. Для елемента ST-PSC із прозорим електродом з оксиду індію, легованого церієм, зафіксовано ефективність 20,37%. Іншими розробками є: перовскіт/кремнієвий тандемний фотоелектричний елемент [20] з максимальною ефективністю 19,8% на основі оптимально прозорого електрода та напівпрозорого перовскітного верхнього елемента; а також напівпрозорі органічні фотоелектричні елементи (ST-OSC) [21] з використанням електродів з оксиду індію і олова (ITO). Крім того, архітектура, яка базується на халькогенідних фотоелектричних елементах CIGS з використанням напівпрозорого ультра-тонкого скла, дозволила досягти максимальної ефективності елемента 13,23% [22].

– гнучкі фотоелектричні елементи (FPV).

В основі гнучких фотоелектричних елементів, що можуть служити у складі гнучких, розтяжних, скручуваних механізмів, лежать органічні сонячні елементи із кількома оптимізованими полімерними шарами, що мають гнучку підкладку, пластичний поглинач, а також високопровідний та гнучкий електрод з полімеру PEDOT:PSS. Серед поточних розробок в елементах FPV відзначимо:

– складаний органічний фотоелектричний елемент з ефективністю 14,17%, з використанням оброблених кислотою електродів [23];

– складані перовскітові сонячні батареї з ефективністю 17,03% з використанням надтонкої підкладки з PET [24].

Технологія FPV має унікальні характеристики, такі як поєднання напів- або повної складаності, легкості, механічної стабільності, високої провідності, гнучкості і стійкості з відносно високою ефективністю, і може революціонізувати наступне покоління електроніки з інтегрованими фотоелектричними технологіями.

– системи концентрування випромінювання.

Завдяки концентрації сонячного світла є можливість значно зменшити розміри фотоелектричних модулів без втрати загальної потужності сонячної панелі або збільшити інтенсивність світлового потоку на панель. Найбільше розповсюдження отримали допоміжні дзеркала, концентратори гіперболічного типу та концентратори на базі лінз Френеля. Системи дзеркал створюють додатковий оптичний потік на поверхню панелей, завдяки чому інтенсивність сонячного випромінювання стає більшою стандартних умов (1000–1200 Вт/м²). Недоліками при застосуванні дзеркал є збільшення площі сонячної станції, а також перевищення стандартних умов номінальної інтенсивності, що може призвести до збільшення ефекту деградації та зменшення строку служби панелей. За допомогою лінз Френеля вдалося перевищити 46% ефективності у чотирьохкаскадному елементі на основі напівпровідників групи III–V [7]. Необхідно відзначити, що досліджуються елементи за лабораторних умов освітлення. Самі концентраторні багатокаскадні елементи при використанні в натурних умовах вимагають застосування механічно складних опорних конструкцій, що включають схеми стеження, мають низьку ефективність при освітленні розсіяним світлом і потребують ефективного охолодження структури внаслідок локального нагрівання [6]. Втім, очікується, що в перспективі ця технологія дозволить підвищити ефективність фотоелектричних елементів до 50% за умови високої концентрації сонячного випромінювання. На даний момент концентратори світла загалом не знайшли широкого застосування у комерційному виробництві сонячних панелей через додаткове ускладнення конструкції і відповідно підвищення вартості виробленої електроенергії.

– технології вдосконалення зняття струму.

Кремнієві фотоелектричні елементи оснащені тонкими металевими смужками на фронтальній і зворотній поверхнях, призначеними для передачі постійного струму, що генерується модулем. Сонячні батареї попередніх поколінь зазвичай мали дві струмознімні шини, але з часом з метою підвищення ефективності кількість шин збільшилась до трьох, п'яти (або більше). Збільшення кількості шин покращує ефективність модуля через зниження втрат внутрішнього опору, що пов'язано з меншою відстанню між шинами, крім того, багатоштинна технологія є дуже корисною для двосторонніх (BPV) конструкцій. «Віолончельна технологія» (Cello), що активно впроваджується провідними компаніями, такими як LG, Panasonic, Seraphim Solar, передбачає використання від 12 до 30 струмоз'ємних доріжок замість традиційних 4–5 для зниження нагрівання фотоелемента та кращої передачі струму. Струмоз'ємні доріжки при такій технології є вужчими та мають заокруглену форму для заломлення сонячного променя на активну частину кристала.

Технологія фотомодулів без струмоз'ємних доріжок (busbar-less PV) передбачає формування пластинчастих фотомодулів та комутацію їх за допомогою паяльної пасти. Такі сонячні фотоелементи мають більшу активну площу поглинання за рахунок відсутності закритих струмоз'ємними доріжками секторів та є більш стійкими до часткових затінь [25]. Суттєвий вплив на підвищення ефективності фотоелектричних модулів можуть мати: додаткове охолодження панелей [26], використання антиблікових покриттів, покриттів з функцією самоочищення [27].

Таблиця 2

Показники ефективності фотоелектричних елементів та модулів різних типів [7]

Група	Тип елемента	Ефективність, %	Дата тестування	Центр тестування
Одноперехідні фотоелектричні елементи і субмодулі, без використання концентраторів				
Групи III–V	Тонкоплівковий елемент GaAs	29,1%	10.2018	FhG-ISE
Кремнієві	Si (монокристалічний елемент)	26,8%	10.2022	ISFH
Тонкоплівкові халькогенідні	CIGS-елемент, без вмісту кадмію	23,35%	11.2018	AIST
Перовскітові	Перовскітовий елемент	24,35%	04.2023	NPVM
Барвникові	Барвниковий елемент	11,9%	09.2012	AIST
Органічні	Органічний мінімодуль	15,7%	01.2023	JET
Каскадні фотоелектричні елементи і субмодулі, без використання концентраторів				
Групи III–V	5-каскадний елемент (2.17/1.68/1.40/1.06/1.73 eV)	38,8%	07.2013	NREL
Каскадні перовскіт/кремнієві	Тандемний елемент перовскіт/кремнієвий	33,7%	05.2023	ESTI
Фотоелектричні модулі, без використання концентраторів				
кремнієві (кристалічні)	монокристалічний кремнієвий модуль площею 1,8 м ²	24,7%	04.2023	NREL
Перовскітові	перовскітовий модуль, 810 см ²	18,6%	05.2023	JET
Органічні	органічний модуль, 1475 см ²	13,1%	05.2023	NREL
Фотоелектричні елементи і модулі з використанням концентраторів				
Каскадні	4-каскадний групи III–V фотоелектричний елемент, при концентрації 665 од.	47,6%	05.2022	FhG-ISE

Безумовними лідерами у розвитку фотоелектричних технологій є США та Китай, серед країн, для яких розвиток відновлюваної енергетики також встановлено національним пріоритетом необхідно відзначити Індію, Німеччину, Японію, Великобританію, Італію, Францію. Українськими науковцями у базі даних Scopus за темою «Solar Photovoltaics» в період 1991–2019 рр. опубліковано 1370 робіт. Найбільша кількість публікацій в Україні за темою «Solar Photovoltaics» стосується фотоелектричних матеріалів, головним чином, це високотехнологічні результати, спрямовані на оптимізацію параметрів існуючих матеріалів для фотоелектрики, вдосконалення методів їх виготовлення та дослідження, а також створення нових ефективних та недорогих матеріалів для конкуренції з існуючими. За темою «Фотоелектрика» пріоритетними для українських науковців були прикладні дослідження [28]. Аналіз відкритих даних Базы патентів України показує, що 24 відсотки патентів, зареєстрованих в Україні за період 1991–2019 рр., стосуються процесу виробництва фотоелектричних елементів та модулів, 48 відсотків рішень присвячені конструкції і компонуванню фотоелектричних модулів і систем, 28 відсотків – матеріалам і архітектурі фотоелектричних елементів.

Висновки

1. Технологія на основі кремнієвих пластин досі є домінуючою, забезпечуючи переваги у вигляді стабільності та високих показників ефективності.
2. Новітні фотоелектричні технології, включаючи перовскітні, тандемні та органічні, демонструють суттєве зростання за останні роки та пропонують багатообіцяючі можливості, разом з тим актуальними залишаються питання вирішення проблем щодо підвищення їх ефективності, стабільності та масштабування виробництва.
3. Актуальними залишаються дослідження та розробки технологій з пом'якшення впливу фотоелектричних систем на навколишнє середовище шляхом зменшення використання токсичних матеріалів, енергоємності і токсичності виробничих процесів, переробки панелей, що виходять із вжитку.

Список використаної літератури

1. Хрипунов Г.С. Хрипунова А.А. Историчні передумови та аналіз розвитку фотоелектрики у 50-х роках ХХ століття. (2015). *Сумський історико-архівний журнал*. № 24. С. 75–81.
2. Хрипунова А. Л. (2015). Передумови розвитку наземної фотоелектрики у 70-х рр. ХХ ст. Сторінки історії. *Вісник НТУУ "КПІ"*. № 40. С. 158–167.
3. Geoffrey K. Ontiri, Lilian L. Amuhaya. (2022). A Review of Emerging Photovoltaic Construction Technologies to Increase Efficiencies in Solar as a Renewable Energy Source. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*. Vol. 85, No.1, P 348–369.
4. Durganjali C. S. et al (2020). Recent Developments and Future Advancements in Solar Panels Technology. *Journal of Physics* Vol. 1495. P. 012–018. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1495/1/012018>.
5. L.P.S.S. Panagoda, R.A.H.T. Sandeepa, W.A.V.T. Perera, D.M.I. Sandunika, S.M.G.T. Siriwardhana, M.K.S.D. Alwis, S.H.S. Dilka. (2023). Advancements In Photovoltaic (Pv) Technology for Solar Energy Generation. *Journal of Research Technology & Engineering* 4 (30). 30–72).
6. Goetzberger A. (2003). Photovoltaic materials, history, status and outlook. *Material Science and Engineering*. № 40. pp. 1–46.
7. Martin A. Green, Ewan D. Dunlop, Masahiro Yoshita, Nikos Kopidakis, Karsten Bothe, Gerald Siefer, Xiaojing Hao. (2023). Solar cell efficiency tables. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. DOI:10.1002/pip.3726. onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.3726
8. B. Mahadevan, S. Naghibi, F. Kargar and A. Balandin (2019). "Non-Curing Thermal Interface Materials with Graphene Fillers for Thermal Management of Concentrated Photovoltaic Solar Cells". *Journal of Carbon Research*, vol. 6, no. 1, p. 2.
9. IRENA (2019), Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
10. T. Ibn-Mohammed et al. (2017). Perovskite solar cells: An integrated hybrid lifecycle assessment and review in comparison with other photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 80. pp. —1344.
11. Kyu-Seok Lee et al. (2010). Analysis of the Current-voltage Curves of a Cu(In,Ga) Se₂ Thin-film Solar Cell Measured at Different Irradiation Conditions. *Journal of the Optical Society of Korea* Vol. 14, No. 4. pp. 321–325. DOI: 10.3807/JOSK.2010.14.4.321
12. Ballif, Christophe & Haug, Franz-Josef & Boccard, Mathieu & Verlinden, Pierre & Hahn, Giso. (2022). Status and perspectives of crystalline silicon photovoltaics in research and industry. *Nature Reviews Materials*. DOI: 10.1038/s41578-022-00423-2.
13. Гошовський С. В., Зур'ян А. В. (2015). Методичні засади для оптимальної побудови енергетичних комплексів з використанням відновлюваних джерел енергії. Збірник наукових праць УкрДГПІ. № 4. С. 9–21.
14. Карпчук Г. Л., Будько В. І. (2023). Аналіз технологій фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію. Відновлювана енергетика. № 2(73). С. 32–38. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2\(73\).32-38](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2(73).32-38).

15. M. Biondi et al. (2020). A Chemically Orthogonal Hole Transport Layer for Efficient Colloidal Quantum Dot Solar Cells. *Advanced Materials*, vol. 32, no. 17, pp. 1906–1909.
16. J. Gan and L. Qiao (2020). Colloidal Quantum Dots for Highly Efficient Photovoltaics. *Quantum Dot Optoelectronic Devices*. pp. 49–82.
17. N. Mariotti, M. Bonomo, C. Barolo (2020). Emerging Photovoltaic Technologies and Eco-Design, Criticisms and Potential Improvements. *Reliability and Ecological Aspects of Photovoltaic Modules*. no. 21, pp. 1254–1267.
18. W. Gu, T. Ma, S. Ahmed, Y. Zhang and J. Peng (2020). A comprehensive review and outlook of bifacial photovoltaic (bPV) technology. *Energy Conversion and Management*, vol. 223, p. 1132–1143.
19. H. Park (2021). Transparent Electrode Techniques for Semitransparent and Tandem Perovskite Solar Cells, *Electronic Materials Letters*. vol. 17, no. 1, pp. 18–32.
20. D. Yang et al. (2021). 28.3%-efficiency perovskite/silicon tandem solar cell by optimal transparent electrode for high efficient semitransparent top cell. *Nano Energy*. vol. 84, p. 105934 <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105934>
21. W. Song et al. (2020). Foldable Semitransparent Organic Solar Cells for Photovoltaic and Photosynthesis", *Advanced Energy Materials*, vol. 10, no. 15, p. 2000136
22. D. Kim et al. (2020). Flexible and Semi Transparent Ultra-Thin CIGSe Solar Cells Prepared on Ultra-Thin Glass Substrate: A Key to Flexible Bifacial Photovoltaic Applications. *Advanced Functional Materials*, vol. 30, no. 36, p. 2001775, 2020.
23. W. Song et al. (2020). Over 14% Efficiency Folding-Flexible ITO-free Organic Solar Cells Enabled by Ecofriendly Acid-Processed Electrodes. *iScience*, vol. 23, no. 4, p. 100981.
24. P. Li et al., "Foldable solar cells: Structure design and flexible materials", *Nano Select*, 2021.
25. Park, J.E.; Choi, W.S.; Lim, D.G. (2021). Multi-Wire Interconnection of Busbarless Solar Cells with Embedded Electrode Sheet. *Energies*. 14. 4035. <https://doi.org/10.3390/en14134035>
26. Dwivedi Pushpendu, Sudhakar K., Soni Archana. (2020). Advanced cooling techniques of P.V. modules: A state of art. *Case Studies in Thermal Engineering*. no. 21. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100674>
27. Sarkın, A.S., Ekren, N. and Sağlam, Ş. (2020). A review of anti-reflection and self-cleaning coatings on photovoltaic panels. *Solar Energy*. pp. 63–73. doi:10.1016/j.solener.2020.01.084.
28. Nykyruy L., Yakubiv V., Wisz G., Hryhoruk I., Zapukhlyak Z., Yavorskyi R. (2020). Renewable Energy in Ukraine – Poland Region: Comparison, Critical Analysis and Opportunities. In *Renewable Energy-Resources, Challenges and Applications*. *Intech Open*. <https://www.intechopen.com/chapters/71838>

References

1. Khrypunov G.S., Khrypunova A.L. (2015) Istorychni peredumovy ta analiz rozvytku fotoelektryky u 50-kh rokakh XX stolittia. [Historical background and analysis of photovoltaics in the 50-ies of XX century]. *Sumy historical and archival journal*, No. 24, pp 75–81.
2. Khrypunova A.L. (2015) Peredumovy rozvytku nazemnoyi fotoelektryky u 70-h rokakh XX st. [Prerequisites for the development of terrestrial photovoltaics in the 1970s]. *Storinky istoriyi. Visnyk NTUU "KPI"*, № 40, pp. 158-167.
3. Ontiri G.K., Amuhaya L.L. (2022) A Review of Emerging Photovoltaic Construction Technologies to Increase Efficiencies in Solar as a Renewable Energy Source. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, Vol. 85, No. 1, pp. 348–369.
4. Durganjali C. S. et al. (2020) Recent Developments and Future Advancements in Solar Panels Technology. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1495. pp. 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1495/1/012018>.
5. Panagoda L.P.S.S., Sandeepa R.A.H.T., Perera W.A.V.T., Sandunika D.M.I., Siriwardhana S.M.G.T., Alwis M.K.S.D., Dilka S.H.S. (2023) Advancements In Photovoltaic (Pv) Technology for Solar Energy Generation. *Journal of Research Technology & Engineering*, №4 (3), pp. 30–72.
6. Goetzberger A. (2003). Photovoltaic materials, history, status and outlook. *Science and Engineering*, 40, pp. 1–46.
7. Green M. A., Dunlop E.D., Masahiro Yoshita, Kopidakis N., Bothe K., Siefer G., Xiaoqing Hao. (2023) Solar cell efficiency tables. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. DOI:10.1002/pip.3726. onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.3726
8. Mahadevan B., Naghibi S., Kargar F., Balandin A. (2019) Non-Curing Thermal Interface Materials with Graphene Fillers for Thermal Management of Concentrated Photovoltaic Solar Cells. *Journal of Carbon Research*, vol. 6, no. 1, p. 2.
9. IRENA (2019) Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf
10. Ibn-Mohammed T. et al. (2017) Perovskite solar cells: An integrated hybrid lifecycle assessment and review in comparison with other photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1321–1344.

11. Lee K.S. et al. (2010) Analysis of the Current-voltage Curves of a Cu(In,Ga)Se₂ Thin-film Solar Cell Measured at Different Irradiation Conditions. *Journal of the Optical Society of Korea*, Vol. 14, No. 4, pp. 321–325. DOI: 10.3807/JOSK.2010.14.4.321
12. Ballif, Christophe & Haug, Franz-Josef & Boccard, Mathieu & Verlinden, Pierre & Hahn, Giso. (2022). Status and perspectives of crystalline silicon photovoltaics in research and industry. *Nature Reviews Materials*. DOI: 10.1038/s41578-022-00423-2.
13. Goshovsky S. V., Zurian O. V. (2015) Metodychni zasady dlia optymalnoi pobudovy enerhetychnykh kompleksiv z vykorystanniam vidnovliuvanykh dzherel enerhii [Methodological foundations for optimal construction energy complexes using renewable sources energy]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrSGRI*. No. 4, pp. 9–21.
14. Karpchuk H., Budko V. (2023) Analiz tekhnolohii fotoelektrychnoho peretvorennia soniachnoho vyprominiuvannia na elektrychnu enerhiiu [Overview analysis of technologies of photoelectric conversion of solar radiation energy into electrical]. *Renewable energy*. №. 2(73). pp. 32–38. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2\(73\).32-38](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.2(73).32-38).
15. Biondi M. et al. (2020) A Chemically Orthogonal Hole Transport Layer for Efficient Colloidal Quantum Dot Solar Cells. *Advanced Materials*, vol. 32, no. 17, p. 1906199.
16. Gan J. and Qiao L. (2020) Colloidal Quantum Dots for Highly Efficient Photovoltaics. *Quantum Dot Optoelectronic Devices*, pp. 49–82.
17. Mariotti N., Bonomo M. and Barolo C. (2020) Emerging Photovoltaic Technologies and Eco-Design – Criticisms and Potential Improvements. *Reliability and Ecological Aspects of Photovoltaic Modules*. DOI: 10.5772/intechopen.88327
18. Gu W., Ma T., Ahmed S., Zhang Y. and Peng J. (2020) A comprehensive review and outlook of bifacial photovoltaic (bPV) technology, *Energy Conversion and Management*, vol. 223, p. 113283.
19. Park H. (2021) Transparent Electrode Techniques for Semitransparent and Tandem Perovskite Solar Cells. *Electronic Materials Letters*, vol. 17, no. 1, pp. 18–32.
20. Yang D. et al. (2021) 28.3%-efficiency perovskite/silicon tandem solar cell by optimal transparent electrode for high-efficient semitransparent top cell. *Nano Energy*, vol. 84, p. 105934.
21. Song W. et al. (2020) Foldable Semitransparent Organic Solar Cells for Photovoltaic and Photosynthesis. *Advanced Energy Materials*, vol. 10, no. 15, p. 2000136.
22. Kim D. et al. (2020) Flexible and Semi-Transparent Ultra-Thin CIGSe Solar Cells Prepared on Ultra-Thin Glass Substrate: A Key to Flexible Bifacial Photovoltaic Applications. *Advanced Functional Materials*, vol. 30, no. 36, p. 2001775.
23. Song W. et al. (2020) Over 14% Efficiency Folding-Flexible ITO-free Organic Solar Cells Enabled by Ecofriendly Acid-Processed Electrodes. *iScience*, vol. 23, no. 4, p. 100981.
24. Li P. et al. (2021) Foldable solar cells: Structure design and flexible materials. *Nano Select*.
25. Park J.E.; Choi W.S.; Lim D.G. (2021) Multi-Wire Interconnection of Busbarless Solar Cells with Embedded Electrode Sheet. *Energies* 2021, 14, 4035. <https://doi.org/10.3390/en14134035>
26. Dwivedi Pushpendu, Sudhakar K., Soni Archana (2020). Advanced cooling techniques of P.V. modules: A state of art. *Case Studies in Thermal Engineering*, no. 21.
27. Sarkın, A.S., Ekren, N. and Sağlam, Ş. (2020) A review of anti-reflection and self-cleaning coatings on photovoltaic panels. *Solar Energy*, 199, pp. 63–73. DOI:10.1016/j.solener.2020.01.084.
28. Nykyruy L., Yakubiv V., Wisz G., Hryhoruk I., Zapukhlyak Z., Yavorskyi R. (2020) Renewable Energy in Ukraine – Poland Region: Comparison, Critical Analysis and Opportunities. In *Renewable Energy-Resources, Challenges and Applications*. *IntechOpen*. <https://www.intechopen.com/chapters/71838>

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

O. A. MALINOVSKYI

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

V. A. NIKISHYN

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

S. V. SHELUHIN

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

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. НІКШИН

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 задоволення 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 конструкції 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 колісному 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 рушія по перешкіді застосовано закон зміни механічної енергії, тобто, енергії підведеної до колісного рушія 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 перешкід на шляху та опорної поверхні в певних умовах експлуатації автомобіля. Цінність проведеного дослідження, результати проведеної роботи дозволяють зробити внесок в галузь автомобільного виробництва. Запропонована модель автомобіля придатна для використання з метою підвищення можливостей подолання перешкід транспортними засобами.

Ключові слова: фізико-математична модель, сила, колесо, перешкід, 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).

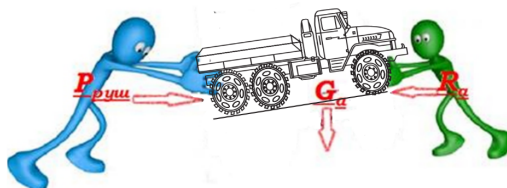


Fig. 1. Scheme of actions of force external loads on a military vehicle

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



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



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

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.

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).

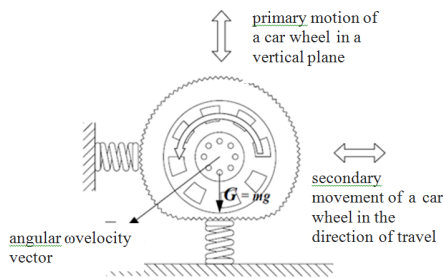


Fig. 5. Scheme of a new approach to determining the movement of an automobile wheel drive

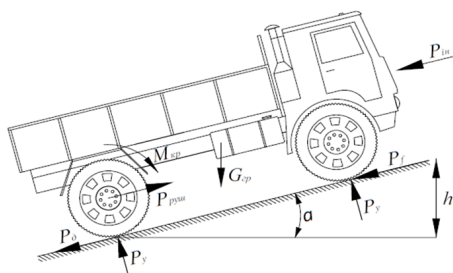


Fig. 6. Power load of a military vehicle

P_{trak} – traction force MEZ; $P_{\text{д}}$ – tangential traction force of the MEZ; P_{f} – force of rolling resistance of the wheel drive MEZ; P_{i} – the lifting resistance force of the MEZ; $P_{\text{ин}}$ – inertia force; $P_{\text{прив}}$ – the driving force of the MEZ; $G_{\text{тр}}$ – 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.

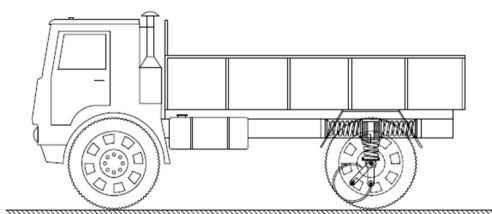


Fig. 7. Military truck with dynamically developed suspension

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.

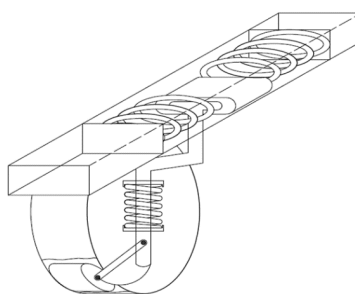


Fig. 8. Axenometric image of a dynamically developed suspension with a wheel drive

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

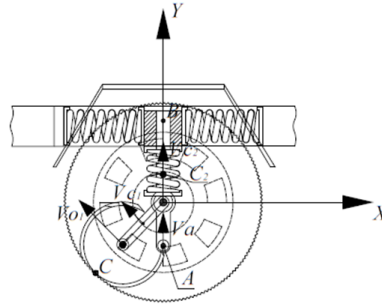


Fig. 9. Physical model of the interaction of a car wheel with a dynamically developed suspension

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:

$$\bar{K} = \frac{P_1}{g} \bar{V}_C + \frac{P_2}{g} \bar{V}_{C_1} + \frac{P_3}{g} \bar{V}_0 \tag{5}$$

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:

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

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

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

де $\varphi = \omega t$ – 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

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

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

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).

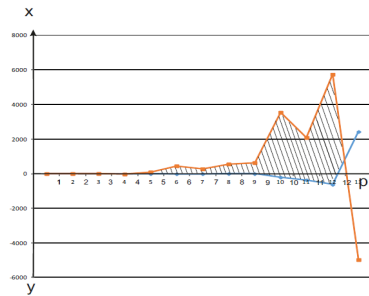


Fig. 10. Display of the operation of a dynamically developed suspension of a military vehicle

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. Лебедев А.Т., Антощенко В.М., Бойко М.Ф. та ін.. Трактори та автомобілі. ч. 3. шасі. навч. посібник за ред. проф. Лебедева 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].

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

YU. M. PETRYK

Senior Lecture at the Department of Automotive Engineering
Military Academy (Odesa)
ORCID: 0000-0003-4589-4282

ELEMENTS OF THE THEORY OF FORCE LOADING BY THE TORQUE MOMENT OF THE VEHICLE WHEEL BY THE JET MAIL IN THE ZONE OF ITS CONTACT WITH THE SUPPORT SURFACE

When the work process is carried out by the wheel mover, it is loaded by the force of gravity, which leads to deformation of the tire. The article deals with research issues of the automobile system in the transmission of which an elastic shock is provided with the use of a resonator nozzle. To develop the elements of the theory, the theorem on the change of kinetic energy in the proposed automobile system, as well as the Lagrange equation of the second kind, was applied.

The purpose of the study is to create a circuit for the transmission of an elastic impulse, which allows the wheel drive to provide rotary motion through the accumulated spring-reactive energy balance, which is a factor in the latest technology of moving the automotive system.

The scientific direction of the article is that the proposed design of the automobile system in which the rotation of the wheel drive uses the energy of an elastic shock without a transmission, which increases the torque on the wheel drive.

The methodology of the study is to establish a theoretical connection between the force created by the "jet thrust" and the increase in the dynamics of the automotive system.

The result of the research is the theoretical creation of a car design with a moving platform using damping elements in the car system, which allows creating "physical discomfort of the support surface". To describe and reveal the concept of "physical discomfort of a support surface", we used the theory of differential equations that confirm the existence of such a surface under certain conditions of car operation.

The value of the presented research material, as well as the results of the work performed, will allow to make a contribution to the automotive industry.

The proposed structural development of the car is suitable for use in order to increase the traction capabilities of the vehicle.

Key words: physical-mathematical model, driver, wheel, wheel-elastic compensator.

Л. М. ПЕТРОВ

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

Ю. М. ПЕТРИК

старший викладач кафедри автомобільної техніки
Військова академія (м. Одеса)
ORCID: 0000-0003-4589-4282

ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ КРУТНИМ МОМЕНТОМ КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ РЕАКТИВНИМ ПОШТОВХОМ В ЗОНІ КОНТАКТУ ЙОГО З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

При виконанні робочого процесу колісним рушієм він навантажується силою ваги, що приводить до деформації шини. В статті розглянуті питання дослідження автомобільної системи в трансмісії якої передбачено пружний поштовх з застосуванням резонаторної насадки. Для розробки елементів теорії було застосовано теорему, щодо зміни кінетичної енергії в запропонованій автомобільній системі, а також рівняння Лагранжа другого роду.

Метою дослідження є створення схеми підведення пружного поштовху трансмісії, що дозволяє колісному рушію забезпечити обертальний рух шляхом накопиченого пружинно-реактивного енергетичного балансу, який є фактором в новітній технології переміщення автомобільної системи.

Науковий напрям статті полягає в тому, що запропонована конструкція автомобільної системи в якій обертання колісного рушія використовує енергію пружного без трансмісійного поштовху, який підвищує крутний момент на колісному рушії.

Методологією дослідження є встановлення теоретичного зв'язку між силою, яку створює «реактивний поштовх», з підвищенням динаміки автомобільної системи.

Результатом дослідження є теоретичне створення конструкції автомобіля з рухливою платформою з використанням елементів демпфування в автомобільній системі, що дозволяє створити «фізичний дискомфорт опорної поверхні». Для опису та розкриття поняття «фізичний дискомфорт опорної поверхні» нами використано теорію диференціальних рівнянь які підтверджують існування такої поверхні в певних умовах експлуатації автомобіля.

Цінність викладеного матеріалу дослідження, а також результати виконаної роботи дозволять зробити внесок в галузь автомобільного виробництва.

Запропонована конструктивна розробка автомобіля придатна для використання з метою підвищення тягових можливостей транспортного засобу.

Ключові слова: фізико-математична модель, рушія, колесо, колісно-пружний компенсатор.

Statement of the problem

One of the directions of development of structurally finished motor vehicles are those consisting of several chains interconnected by various devices. Such chains are parts of specialized rolling stock (SRS), in which a personal trajectory of movement is applied and can be active or passive.

As a direction of SRS development, SRS with active, passive and combined drive can be proposed, which are respectively presented in fig. 1.

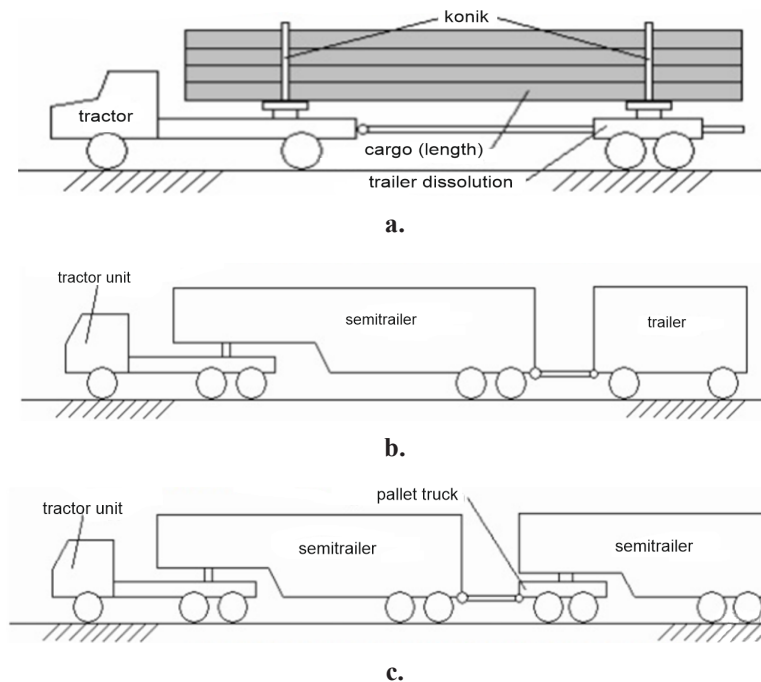


Fig. 1. Schemes of trucks: a – SRS with active drive; b – SRS with passive drive; c – SRS with combined drive

Analysis of recent research and publications

The transmission consists of a clutch, gearbox, driveshaft, final drive and rear wheel drive shafts. To transmit the torque generated by the engine to the drive wheels, all components of the transmission must work in perfect harmony. For this purpose, they are connected to each other by a system of joints, shafts and gears. In a Mercedes mobile vehicle [1], the engine develops sufficient power within a narrow crankshaft speed range. In order for the Mercedes to develop the required tractive force, a gearbox with different magnetic ratios is provided.

Deutz – Fahr tractors feature the new Sense-Shift transmission, which is fitted to the 6 Series tractors – a huge step forward in terms of driving comfort and performance. From the gearbox to the gear lever, the shift system has been redesigned for quick and easy gear changes. But the real breakthrough is that with the Sense-Shift transmission, gear changes adapt to the specifics of the job at hand. For the driver, this is a completely new perception, as he only feels a slight hesitation when shifting to the next gear. In addition, the new Sense Clutch function is added, which enables the driver to smooth the power flow.

To ensure stable operation of the tractor during plowing or transport work, the transmission control has been optimized: electronics control the connection of the four-wheel drive and the differential lock depending on the travel speed and wheel angle.

The P-version tractors are equipped with an automatic transmission, where the electronic control system selects the appropriate gears in each range, optimizing engine performance and reducing fuel consumption.

The Lamborghini tractors of the R8, R7, R6 and R5 series are equipped with the "PowerShift" automatic transmission with automatic shifting. The automatic transmission is controlled by an electronic unit that selects the optimum gear according to the current load and crankshaft speed at a given time. The R8 series automatically shifts under load without interrupting the power flow, allowing the operator to focus on the job at hand.

Formulation of the research objective

To improve the technology of transmitting torque from the engine to the wheeled propulsion by creating a new transmission design for a mobile energy vehicle.

To develop a design and technological design of a traction vehicle with all-terrain wheeled propulsion.

Presentation of the main research material

Fig. 2 shows the Schemes of mobile energy vehicles with energy resonator interbridge nozzle: a – general view of the vehicle with energy resonator interbridge nozzle; b – mobile energy vehicle with energy resonator interbridge nozzle in the absence of movement (discomfort of the bearing surface); c – mobile energy vehicle with energy resonator interbridge nozzle in dynamics (beginning of movement).

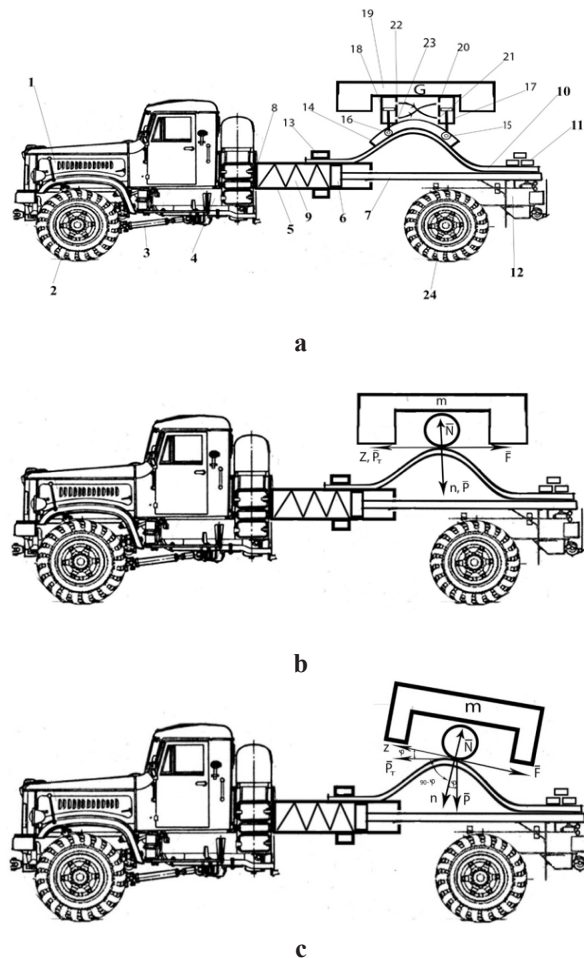


Fig. 2. schemes of mobile energy vehicles with energy resonant inter-bridge attachment: a. – general view of a vehicle with energy resonant inter-bridge attachment; b. – mobile energy vehicle with energy resonant inter-bridge attachment in the absence of movement (discomfort of the bearing surface); c. – mobile energy vehicle with energy resonant inter-bridge attachment in dynamics (beginning of movement)

Description of the design of force loading by the torque of a car wheel with a reactive impulse in the area of its contact with the bearing surface.

In order to increase the efficiency of the vehicle transmission and reduce fuel consumption for moving a loaded vehicle, a method of moving the "Camel" car by L.M. Petrov, which was performed on a modernized transmission, produced by the Ukrainian automobile plant, KrAZ-5233, is proposed.

Fig. 2 shows a drawing of a car with a modernized transmission in a stationary state. The method of moving the vehicle "Camel" includes: engine 1, wheeled propulsion 2, drive 3 to the wheeled propulsion 2. A cylinder 5 is attached to the half-frame 4, in which a piston 6 with a rod 7 is located with the possibility of movement. A compression spring 9 is located in the cylinder 5 between the end wall 8 and the piston 6. The elastic element 10 is fixed to the rod 7 and the subframe 12 at one end with the help of the connecting element 11, and the other end is connected to the cylinder 5 with a clamp 13. A flexible guide 14 is fixed on the elastic element 10. In the guide 14, with the possibility of movement on rollers 15 and 16, there are cylinders 17 and 18, which are fixed on a gravity weight 19. In the cylinder 17 there are holes 20 and 21, and in the cylinder 18 there are holes 22 and 23, wherein hole 20 is connected to hole 23, and hole 21 is connected to hole 22. A wheel 24 is rotatably connected to the subframe 12.

The method of moving the car "Camel" by L. M. Petrov is performed as follows. When the car is moved from the engine 1, the drive 3 supplies torque to the wheel motors 2. The car starts to move. The following operations are performed. The semi-frame 4 together with the cylinder 5 is moved in the direction of movement of the car, and the rod 7 together with the subframe 12 and the wheel 24 with the compression spring 9 slows down the movement of the wheel 24 together with the connecting element 11 fixed on the rod 7 and the subframe 12. The compression spring 9 is stretched, the elastic element 10 is deformed in the opposite direction under the action of the gravitational weight 19. The gravitational weight 19 under the action of the inertial component moves on rollers 15 and 16 along the guide 14 and tracks the movement of the bulge of the elastic element 10 in the opposite direction to the direction of movement of the car. Such a combination of interrelated operations between the wheel movers 2 and the supporting wheels 24 accumulates potential energy [3; 4].

Theoretical studies of the design of force loading by the torque of a car wheel with a jet impulse in the area of its contact with the bearing surface

In order to describe the motion of a vehicle with an energy resonator bridge nozzle, we draw up its equation of motion, Fig. 2. To draw up this equation for a vehicle with an energy resonator bridge head, we replace rollers 15 and 16 with one and assume that the technological weight m will move along the flexible guide 14 [2; 3; 4; 5].

Let us represent the active forces:

P is the weight of the technological platform

P_t is the traction force acting from the rod 7. Let's release the point M from the ties by replacing the action of the ties with a reaction. The link is the roughness of the flexible guide 14. The reaction of the flexible guide is decomposed into two components:

\bar{X} is the normal component and F is the tangential component (friction, sliding force).

Let's connect the coordinate axes to the technological platform. Then the differential equation of motion of the technological platform in the usual form will be as follows:

$$m = \frac{d\theta}{dt} = R_r, \quad m \frac{\theta^c}{r} = R_n \quad (1)$$

In vector form, the equation of motion will look like this:

$$R_r = P_r + F_r + N_r + P_{Tr} \quad (2)$$

$$R_n = P_n + F_n + N_n + P_{Tn} \quad (3)$$

After mathematical transformations, the general solution to the differentiated equation of motion of the technological platform and the car will be as follows:

$$V^2 = e^{-2\varphi+c} + A \cos \varphi + B \sin \varphi \quad (4)$$

To determine the free constant c , we write the initial conditions:

Under the assumed initial conditions: $t = 0; \varphi(0) = 0; V(0) = 0$

After substituting the initial conditions of the car's movement into Equation (4), we obtain:

$$-A = e^c$$

Then the final equation of motion of the car takes the form:

$$V^2 = -A_e^{-2\varphi} + 2fg \cos \varphi + 2g \sin \varphi$$

$$V^2 = -2gfe^{-2\varphi} + 2fg \cos \varphi + 2g \sin \varphi$$

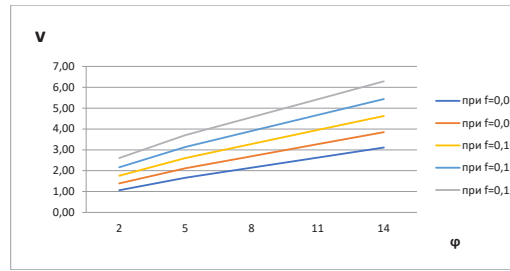


Fig. 3. Graphical display of vehicle movement by the "Camel" method

Conclusions

As a result of the research, a car with modernized wheel propulsion systems was tested:

1. The conducted patent search for directions of improvement of wheel propulsion of the car allowed to identify possible directions of modernization of the wheel propulsion.
2. To modernize the wheeled propulsion system, it is proposed to include a moving weight in the contact and exit zone that acts on the flexible element within its deflection (150–250 mm).
3. For the modernization of the wheeled propulsion system, it is proposed to include a movable weight within the vehicle lifting capacity (10000N–20000N) in the contact patch and exit zone, which acts on the flexible element included in the truck transmission.
4. The experiments carried out at the OF NATI test site revealed the advantage of modernized wheel thrusters in comparison with the existing ones in the force of traction by 15%.
5. According to the results of the experiments, graphical dependencies were built.
6. A model of a car with modernized wheel propulsion systems was developed.

Bibliography

1. Петров Л. М. «Спосіб переміщення мобільного енергетичного засобу». 10.02.2015, Бюл. № 1
2. Петров Л. М. «Спосіб переміщення мобільного засобу» 10.01.2014, Бюл. № 1.
3. Горбай О.З., Зінько Р.В., Керницький І.С. Просторові секційні модулі колісних транспортних засобів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. 2017. № 866. С. 18–25.
4. Вікович І. А., Черевко Ю.М., Зінько Р.В. Зниження динамічних навантажень у вантажних колісних машинах із пружно-демпфувальним зчленуванням: монографія. Львів: Галицька Видавнича Спілка, 2018. 166 с.
5. Кубіч В. І. К88 Особливості конструкції всюдихідних комбінованих колісних рушіїв: навчальний посібник. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 195 с.

References

1. Petrov L. M. (2015) Sposob peremeshcheniya mobil'nogo energeticheskogo avtomobilya [Method of moving a mobile energy vehicle]. Bulletin No. 1 [in Ukrainian].
2. Petrov L.M. (2014) Sposob peremeshcheniya mobil'nogo transportnogo sredstva [Method of moving a mobile vehicle]. Bulletin No. 1 [in Ukrainian].
3. Horbay O.Z., Zinko R.V., Kernitsky I.S. (2017) Prostranstvenno-sektsionnyye moduli kolesnykh transportnykh sredstv. [Spatial sectional modules of wheeled vehicles]. Vestnik natsional'nogo universiteta «L'vovskaya politekhnik», Seriya: Dinamika, prochnost' i proyektirovaniye mashin i ustroystv. № 866. Pp. 18–25.
4. Vikovych I.A., Cherevko Y.M., Zinko R.V. (2018) Dinamicheskikh nagruzok v gruzovykh kolesnykh transportnykh sredstvakh s uprugodempfiruyushchim sharnirom [Reduction of dynamic loads in freight wheeled vehicles with elastic-damping joint]: monografiya. L'vov: Galitskiy izdatel'skiy soyuz p. 166.
5. Kubich V. I. (2020) Osobennosti konstruktsii vezdekhodnykh kombinirovannykh kolesnykh dvizhitel'nykh ustanovok [Features of the design of all-terrain combined wheeled propulsion systems] Metodicheskoye posobiye. Zaporozh'ye: Natsional'nyy universitet «Zaporozhskaya politekhnik» p. 195.

Б. І. ПРИЙМАК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0001-7680-8565

М. М. ЖЕЛІНСЬКИЙ

кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри автоматизації електромеханічних систем
та електроприводу
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0003-4862-1802

В. І. ТЕРЯЄВ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-8634-0895

БЕЗДАВАЧЕВЕ ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ З НЕЧІТКИМ АЛГОРИТМОМ АДАПТАЦІЇ СПОСТЕРІГАЧА ШВИДКОСТІ

Завдяки високій надійності та порівняно низькій вартості асинхронні двигуни (АД) досить широко застосовуються в електромобілях. У сучасних перспективних системах бездавачевого векторного керування АД замість вимірюваної швидкості ротора використовується її оцінка, яка отримується за допомогою спостерігача швидкості (СШ). Перевагами бездавачевого керування є краща завадостійкість, вища надійність та нижча вартість системи автоматичного керування (САК) АД. Важливою особливістю бездавачевої САК АД є те, що для поліпшення її динаміки слід у першу чергу поліпшувати динаміку СШ, яка детермінується алгоритмом роботи механізму адаптації. За використання традиційного пропорційно-інтегрального (ПІ) алгоритму адаптації СШ підвищення швидкодії системи може супроводжуватися небажаним зростанням коливальності перехідних процесів, що призводить до збільшення втрат енергії в АД. Тому задача удосконалення алгоритму адаптації СШ в САК АД електромобіля на сьогодні є важливою та актуальною.

Метою роботи є побудова та дослідження системи векторного керування бездавачевим АД електромобіля із застосуванням нечіткого ПІ алгоритму адаптації СШ.

Для поліпшення властивостей системи бездавачевого векторного керування АД електромобіля запропоновано в блоці адаптації спостерігача швидкості замість традиційного ПІ алгоритму використати його нечітку версію – фазі-ПІ (ФПІ) алгоритм. Синтезовано блок фазі-логіки ФПІ алгоритму із двома вхідними та одною вихідною лінгвістичними змінними. Кожній лінгвістичній змінній відповідали сім термів, серед функцій належності яких n 'ять мали форму трикутника, а дві – форму трапеції.

Результати математичного моделювання показали, що використання ФПІ алгоритму адаптації СШ дозволяє істотно покращити динамічні та енергетичні характеристики САК АД. У перехідних процесах компенсування зміни навантаження двигуна динамічне відхилення швидкості та час регулювання зменшуються відповідно на 12% та 22%. Втрати енергії у перехідних процесах при східчастому завданні швидкості та накиді навантаження знижуються відповідно на 13,3% та 9,8%.

Ключові слова: електромобіль, асинхронний двигун, бездавачевий привод, векторне керування, спостерігач швидкості, нечіткий алгоритм.

B. I. PRYYMAK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automation
of Electromechanical Systems and the Electric Drive
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0001-7680-8565

M. M. ZHELINSKYI

Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Automation
of Electromechanical Systems and the Electric Drive
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0003-4862-1802

V. I. TERIAIEV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automation
of Electromechanical Systems and the Electric Drive
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-8634-0895

SENSORLESS VECTOR CONTROL OF AN ELECTRIC VEHICLE INDUCTION MOTOR WITH A FUZZY ALGORITHM FOR SPEED OBSERVER ADAPTATION

Due to their high reliability and relatively low cost, induction motors (IMs) are widely used in electric vehicles. In modern advanced systems of sensorless vector control of AC motors, instead of the measured rotor speed, its estimate is used, which is obtained with the help of a speed observer (SO). The advantages of sensorless control are better noise immunity, higher reliability, and lower cost of the IM automatic control system (ACS). An important feature of sensorless IM ACS is that in order to improve its dynamics, it is necessary to improve the dynamics of the SB, which is determined by the algorithm of the adaptation mechanism. When using the traditional proportional-integral (PI) algorithm for the adaptation of the SO, an increase in system performance may be accompanied by an undesirable increase in the oscillation of transients, which leads to an increase in energy losses in the IM. Therefore, the task of improving the SO adaptation algorithm in the IM ACS of an electric vehicle is currently important and relevant.

The aim of this work is to build and study a vector control system for sensorless electric vehicle IM using a fuzzy PI algorithm for adaptation of the SO.

In order to improve the properties of the sensorless vector control system for the IM of an electric vehicle, it is proposed to use its fuzzy version, the fuzzy -PI (FPI) algorithm, instead of the traditional PI algorithm, in the speed observer adaptation block. The fuzzy-logic block of the FPI algorithm with two input and one output linguistic variables is synthesized. Each linguistic variable corresponded to seven terms, among which five had the shape of a triangle and two had the shape of a trapezoid.

The results of mathematical modelling have shown that the use of the FPI adaptation algorithm of the SO can significantly improve the dynamic and energy characteristics of the IM ACS. In the transient processes of compensating for changes in motor load, the dynamic speed deviation and control time are reduced by 12% and 22%, respectively. Energy losses in transients during stepwise speed control and load application are reduced by 13.3% and 9.8%, respectively.

Key words: electric vehicle, induction motor, sensorless drive, vector control, speed observer, fuzzy algorithm.

Постановка проблеми

Тягові електроприводи на основі векторно-керованих асинхронних двигунів (АД) є досить перспективними для використання в електромобілях. В таких електроприводах час перехідного процесу повинен складати десятки долі секунди, перевантажувальна здатність в динамічних режимах має бути щонайменше двократною, регулювання швидкості ротора повинно бути від нульової до вдвічі (в деяких випадках втричі) вищої за номінальне значення [1–3].

Наразі одним з перспективних методів керування АД є бездавачеве керування [4; 5]. Цей метод не потребує давача швидкості двигуна, а в системі векторного керування замість вимірюваної дійсної швидкості ротора використовується її оцінка, що визначається за допомогою оцінювача (спостерігача). Бездавачеве керування має низку переваг, включаючи простішу механічну конструкцію, меншу кількість проводів, кращу заводостійкість, вищу надійність, менші витрати на технічне обслуговування та нижчу вартість системи автоматичного керування (САК) АД.

Важливою особливістю бездавачевих систем є те, що динаміка процесів керування швидкістю двигуна не може бути вищою ніж динаміка процесів оцінювання швидкості. Як наслідок, поліпшення динамічних властивостей САК АД тісно пов'язане з поліпшенням динамічних властивостей спостерігача швидкості (СШ). В свою чергу, динаміку СШ, як адаптивної системи, визначає алгоритм адаптації. Традиційний пропорційно-інтегральний (ПІ) алгоритм, що зазвичай використовується в механізмі адаптації СШ, не завжди дозволяє досягти бажаних показників якості перехідних процесів. Зокрема, при його використанні підвищення швидкодії системи може супроводжуватися небажаним зростанням коливальності перехідних процесів. При цьому погіршуються енергетичні характеристики САК АД внаслідок зростання втрат енергії у перехідних режимах.

Тому задача побудови системи векторного керування бездавачевим АД електромобіля із більш досконалим алгоритмом адаптації СШ на сьогодні є важливою та актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Огляд літературних джерел показує, що на сьогодні існує декілька напрямків побудови СШ в системах векторного керування бездавачевим АД. Серед таких напрямків можна відмітити застосування фільтру Калмана [6; 7] та використання штучних нейронних мереж [8; 9]. Також відомий клас спостерігачів, що побудовані у вигляді класичної адаптивної системи з еталонною моделлю (АСЕМ) [10–15]. Спостерігачі на основі АСЕМ спрощують практичну реалізацію бездавачевих систем і є найпоширенішими. В роботі [13] було запропоновано включити модель струму статорного кола АД в спостерігач швидкості зі структурою АСЕМ. Було показано, що таке рішення призводить до більшої стабільності процесів бездавачевого керування швидкістю двигуна.

З використанням такого підходу в [16] побудована САК АД електромобіля і проведено її дослідження в різних технологічних режимах роботи тягового приводу. Було запропоновано модифікувати в ній ПІ алгоритм адаптації СШ шляхом додавання диференційної компоненти. Це дозволило поліпшити динамічні та енергетичні показники системи при компенсуванні змін навантаження двигуна. Для покращення розглянутої в [16] системи виникла потреба дослідити її роботу із новим алгоритмом адаптації СШ, що ґрунтується на фазі-логіці. Результати цього дослідження висвітлюються в даній статті.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є побудова та дослідження системи векторного керування бездавачевим АД електромобіля із застосуванням нечіткого пропорційно-інтегрального алгоритму адаптації спостерігача швидкості.

Викладення основного матеріалу дослідження

В обертових координатах (d, q) , кутова швидкість яких дорівнює ω_0 , асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором можна описати системою диференціальних рівнянь [17].

$$\begin{aligned} U_{sd} &= R_s I_{sd} + d\Psi_{sd}/dt - \omega_0 \Psi_{sq}, \\ U_{sq} &= R_s I_{sq} + d\Psi_{sq}/dt + \omega_0 \Psi_{sd}, \\ 0 &= R_r I_{rd} + d\Psi_{rd}/dt - (\omega_0 - z_p \omega) \Psi_{rq}, \\ 0 &= R_r I_{rq} + d\Psi_{rq}/dt + (\omega_0 - z_p \omega) \Psi_{rd}, \\ M_e - M_L &= J d\omega/dt, \end{aligned} \tag{1}$$

де змінними є проекції на осі координат векторів напруги статора $\bar{U}_s = [U_{sd} \ U_{sq}]$, струму статора $\bar{I}_s = [I_{sd} \ I_{sq}]^T$, струму ротора $\bar{I}_r = [I_{rd} \ I_{rq}]^T$, потокозчеплення статора $\bar{\Psi}_s = [\Psi_{sd} \ \Psi_{sq}]^T$, потокозчеплення ротора $\bar{\Psi}_r = [\Psi_{rd} \ \Psi_{rq}]^T$; $M_e = (3z_p/2)K_r(\Psi_{rd}I_{sq} - \Psi_{rq}I_{sd})$ – електромагнітний момент двигуна; M_L – момент навантаження; z_p – момент інерції привода; z_p – кількість пар полюсів; ω – кутова швидкість ротора двигуна; R_s, R_r – відповідно активні опори фаз статора та ротора, зведеного до статора; $K_r = L_m/L_r$. Потокозчеплення визначаються зі співвідношень:

$$\Psi_{sd} = L_s I_{sd} + L_m I_{rd}; \quad \Psi_{sq} = L_s I_{sq} + L_m I_{rq}; \tag{2}$$

$$\Psi_{rd} = L_r I_{rd} + L_m I_{sd}; \quad \Psi_{rq} = L_r I_{rq} + L_m I_{sq} \tag{3}$$

де L_m – індуктивність намагнічування; $L_s = L_m + L_{s\sigma}$, $L_r = L_m + L_{r\sigma}$ – індуктивності фаз; $L_{r\sigma}, L_{s\sigma}$ – індуктивності від полів розсіювання статора і ротора.

Коли координати (d, q) зорієнтовані за $\bar{\Psi}_r$, що відповідає умовам $\Psi_{rq} = 0$, $d\Psi_{rq}/dt = 0$, $\Psi_{rd} = |\bar{\Psi}_r|$ то швидкість обертання координат дорівнюватиме $\omega_s = z_p \omega + K_r R_r I_q / \Psi_r$, де $\Psi_r \equiv |\bar{\Psi}_r|$, $I_q \equiv I_{sq}$ (далі індекс "s" в позначеннях струмів I_{sd}, I_{sq} не писатимемо). В цьому разі із (1)–(3) отримується опис АД, що є основою для побудови системи векторного керування.

Функціональна схема САК АД електромобіля без давача швидкості наведена на рис. 2. Дана система забезпечує роботу електромобіля в самокерованому режимі (режим автопілота). Наявні у схемі блоки та сигнали мають наступні позначення: ДЖ – джерело живлення; СП – силовий перетворювач; ПК – перетворювач координат; ПФ – перетворювач фаз; БФ – блок фільтрів; СШ – спостерігач швидкості; ФП – функціональний перетворювач; БКЗ – блок компенсування зв'язків; РШ, РП, РС_q, РС_d – відповідно регулятори швидкості ω , модуля вектора потокозчеплення ротора Ψ_r , струмів I_q та I_d (проекцій вектора струму статора на осі d та q обертових координат (d, q) , що зорієнтовані за вектором потокозчеплення ротора $\bar{\Psi}_r$); ω^* – завдання швидкості; $\hat{\omega}$ – оцінка швидкості ротора; e – помилка системи керування; I_d^*, I_q^* – завдання струмів; u_q, u_d – сигнали завдання компонент вектора напруги статора; Ψ_r^* – завдання потокозчеплення ротора; $\hat{\Psi}_r$ – оцінка модуля вектора потокозчеплення ротора; \hat{R}_s, \hat{R}_r – оцінки опорів статора та ротора, які визначаються одним із відомих способів [15; 17] і використовуються для підлаштування системи до теплових варіацій параметрів АД. Пряме компенсування перехресних зв'язків, наявних в моделі АД між каналами формування потокозчеплення та момента, здійснюється за допомогою БКЗ.

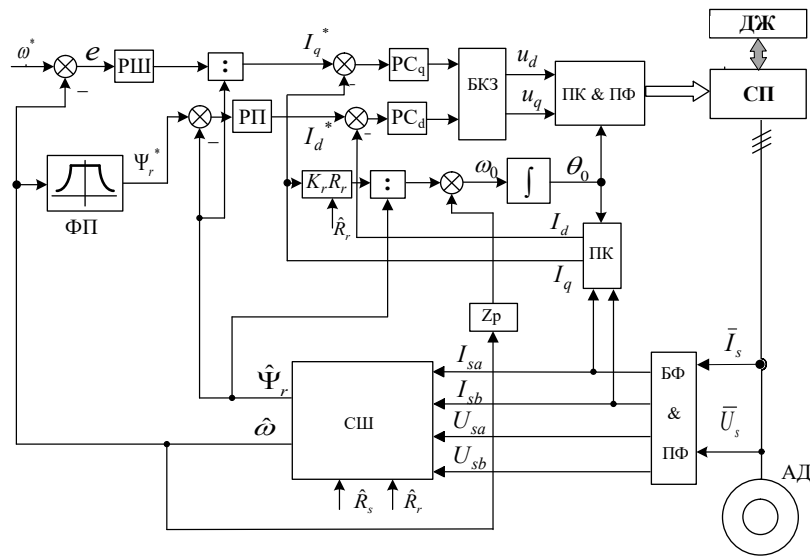


Рис. 1. Функціональна схема системи бездавачевого векторного керування АД електромобіля

Опис АД в нерухомих відносно статора координатах (a, b) можна отримати із (1) при $\omega_0 = 0$. Взявши до уваги вирази (2), (3), дістанемо рівняння (4), (5) для оцінок потокозчеплень $\hat{\Psi}_{ra}, \hat{\Psi}_{rb}$ та рівняння (6), (7) для оцінок струмів $\hat{I}_{sa}, \hat{I}_{sb}$:

$$d\hat{\Psi}_{ra}/dt = L_m T_r^{-1} I_{sa} - T_r^{-1} \hat{\Psi}_{ra} - z_p \hat{\omega} \hat{\Psi}_{rb} \tag{4}$$

$$d\hat{\Psi}_{rb}/dt = L_m T_r^{-1} I_{sb} - T_r^{-1} \hat{\Psi}_{rb} + z_p \hat{\omega} \hat{\Psi}_{ra} \tag{5}$$

$$d\hat{I}_{sa}/dt = AU_{sa} - BI_{sa} + C\hat{\Psi}_{ra} + Dz_p \hat{\omega} \hat{\Psi}_{rb} \tag{6}$$

$$d\hat{I}_{sb}/dt = AU_{sb} - BI_{sb} + C\hat{\Psi}_{rb} - Dz_p\hat{\omega}\hat{\Psi}_{ra}, \tag{7}$$

де $A = \frac{1}{\sigma L_s}$, $B = \frac{R_r L_m^2 + R_s L_r^2}{\sigma L_s L_r^2}$, $C = \frac{R_r L_m}{\sigma L_s L_r^2}$, $D = \frac{L_m}{\sigma L_s L_r}$, $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$, e_o – оцінка швидкості ротора. Рівняння помилки спостерігача швидкості e_o записується як [13]

$$e_o = (I_{sa} - \hat{I}_{sa})\hat{\Psi}_{rb} - (I_{sb} - \hat{I}_{sb})\hat{\Psi}_{ra} \tag{8}$$

Для адаптації СШ зазвичай використовується ПІ алгоритм, який описується виразом

$$\hat{\omega}(t) = k_p e_o(t) + k_i \int_0^t e_o(t) dt. \tag{9}$$

де k_p, k_i – коефіцієнти підсилення пропорційного та інтегрального складників відповідно.

На рис. 2 показано структурну схему СШ ротора двигуна, побудованого на основі (4)–(9). Спостерігач являє собою АСЕМ, де еталонна модель – це АД, модель, що налаштовується, функціонує згідно з рівняннями (4), (5), (6) і (7), а для адаптації застосовується ПІ-алгоритм (9).

Нижче для числових досліджень використано типовий чотириполюсний АД потужністю 30 кВт, дані якого наведені в [16].

Модель САК АД електромобіля побудована у середовищі Matlab/Simulink згідно із зображеною на рис. 1 схемою, де СШ відповідає схемі на рис. 2. У моделі РП, РС_q, РС_d та РШ були пропорційно-інтегральними зі стандартними налаштуваннями. Перші три з них налаштовані модульний оптимум, а останній – на симетричний оптимум [17].

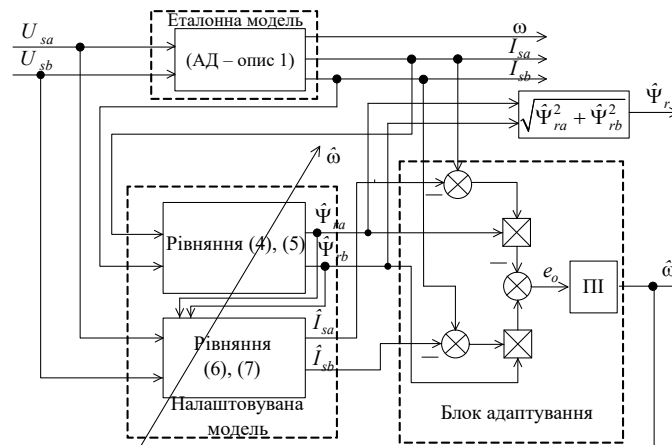


Рис. 2. Структурна схема спостерігача швидкості АД

З метою компенсування нуля передатної функції контуру керування швидкістю і, відповідно, зменшення перерегулювання з 43% до 8%, у колі сигналу завдання швидкості був розташований фільтр у вигляді аперіодичної ланки 1-го порядку (на рис. 1 не показано). Коефіцієнти ПІ алгоритму адаптації СШ були прийняті рівними $k_p = 0,5$, $k_i = 25$. Ці значення отримані шляхом підбору з огляду на забезпечення необхідної якості перехідних процесів швидкості двигуна.

Наведемо результати дослідження розглянутої вище САК АД при її моделюванні за наступним сценарієм (рис. 3) [16]. На початковому інтервалі часу відбувається збудження АД, а при $t = 1$ с здійснюється накид навантаження $M_L = 0,5$ в.о. В межах $t = 2...6,5$ с завдання швидкості змінюється лінійно від нуля до 0,9 в.о., а після цього на інтервалі $t = 6,5...10$ с завдання стає постійним $\omega^* = 0,9$ в.о. При $t = 6,5$ с відбувається скид навантаження двигуна до нуля, а при $t = 8...9$ с накидається навантаження $M_L = -0,5$ в.о. і двигун переходить в режим рекуперативного гальмування.

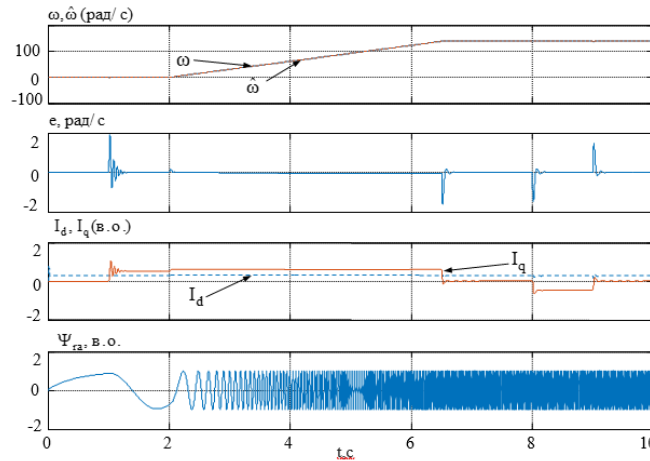


Рис. 3. Процеси керування в САК АД

Аналізуючи наведені на рис. 3 криві, бачимо, що процеси керування стійкі, розходження між сигналами швидкості ω та її оцінки $\hat{\omega}$ невеликі. Поточкова складова струму статора та модуль вектора потокозчеплення ротора Ψ_r підтримуються на номінальному рівні. Максимальна динамічна помилка системи керування $e_{\max} = |e(t)|_{\max} \approx 1,9$ рад/с., що складає 1,4% від номінальної швидкості ω_n . Загалом показники якості САК АД є задовільними, але, як показано нижче, її властивості можна поліпшити за допомогою нечіткої логіки.

Для побудови ФПІ алгоритму адаптації СШ спочатку отримаємо дискретний аналог неперервного ПІ алгоритму. Запишемо (9) у вигляді

$$k_{pi} = k_i, T_{pi} = k_p / k_i, \tag{10}$$

де $k_{pi} = k_i, T_{pi} = k_p / k_i$. Диференціюючи (10), отримаємо

$$\hat{\omega}'(t) = k_{pi} [T_{pi} e_o'(t) + e_o(t)]. \tag{11}$$

Перейшовши в (11) до дискретного часу $t = kT_0$ і замінивши похідні першими різницями, матимемо

$$\frac{\hat{\omega}(k) - \hat{\omega}(k-1)}{T_0} = k_{pi} \left[\frac{T_{pi} \Delta e_o(k) + T_0 e_o(k)}{T_0} \right], \tag{12}$$

де T_0 – період квантування; $k = 0,1,2,\dots$ – номер періоду квантування; $\Delta e_o(k) = e_o(k) - e_o(k-1)$. Із (12) дістанемо рекурентне рівняння дискретного ПІ алгоритму у вигляді

$$\hat{\omega}(k) = k_{pi} [T_{pi} \Delta e_o(k) + T_0 e_o(k)] + \hat{\omega}(k-1). \tag{13}$$

Ядром ФПІ алгоритму є блок фазі-логіки (БФЛ), який здійснює нечітке перетворення інформації. Входами БФЛ будуть змінні x_1 та x_2 , що пропорційні відповідно помилці спостерігача e_o та похідній помилки Δe_o , а виходом блоку буде змінна y , що пропорційна похідній оцінці швидкості. Враховуючи це, за (13) побудована структура ФПІ алгоритму адаптації СШ, що зображена на рис. 4.

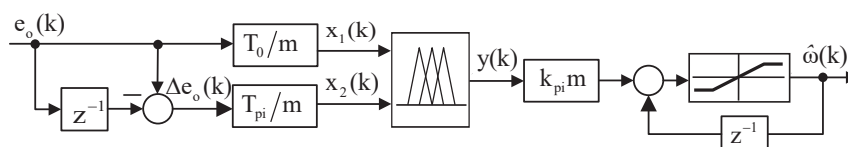


Рис. 4. Структурна схема ФПІ алгоритму адаптації СШ

У цій схемі z – оператор Z -перетворення, m – нормувальний коефіцієнт, БО – блок обмеження вихідної величини.

Проектування БФЛ виконувалось за допомогою інструментарію Fuzzy Logic Designer програмного пакету Matlab. Для проведення фазифікації чітким змінним x_1 , x_2 та y були поставлені у відповідність лінгвістичні змінні «error», «d.error» та «d.estim.speed». Множини значень цих змінних включали наступні лінгвістичні терми: ВВ (від’ємне велике), ВС (від’ємне середнє), ВМ (від’ємне мале), Н (нуль), ДМ (додатне мале), ДС (додатне середнє), ДВ (додатне велике). Для п’ятьох лінгвістичних термів було вибрано функції належності у формі трикутника, а для двох – у формі трапеції. Профілі сформованих за аналогією з [18] функцій належності лінгвістичних змінних показані на рис. 5.

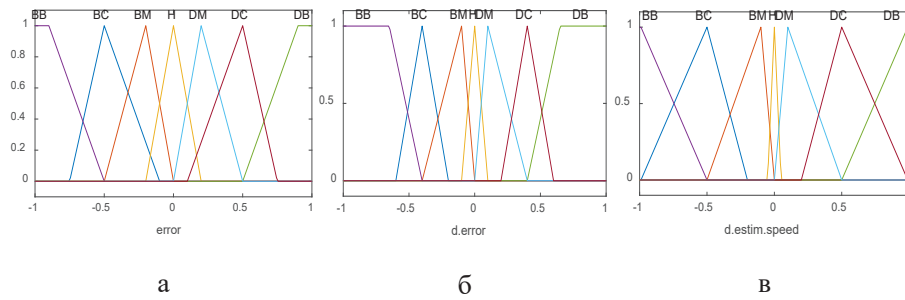


Рис. 5. Функції належності лінгвістичних змінних: а – «error»; б – «d.error»; в – «d.estim.speed»

Для здійснення нечіткого логічного виведення були складені логічні правила наступного вигляду:

Правило 1: ЯКЩО (error є ВВ) ТА (d.error є ДВ) ТО (d.estim.speed є Н);

Правило 2: ЯКЩО (error є ВВ) ТА (d.error є ДС) ТО (d.estim.speed є ВМ);

База складених таким чином усіх $7 \times 7 = 49$ фазі-правил наведена в табл. 1.

Таблиця 1

База фазі-правил БФЛ

		error						
		ВВ	ВС	ВМ	Н	ДМ	ДС	ДВ
d.error	ДВ	Н	ДМ	ДС	ДР	ДВ	ДВ	ДВ
	ДС	ВМ	Н	ДМ	ДС	ДР	ДВ	ДВ
	ДМ	ВС	ВМ	Н	ДМ	ДС	ДР	ДВ
	Н	ВР	ВС	ВМ	Н	ДМ	ДС	ДР
	ВМ	ВВ	ВР	ВС	ВМ	Н	ДМ	ДС
	ВС	ВВ	ВВ	ВР	ВС	ВМ	Н	ДМ
	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВР	ВС	ВМ	Н

Методом дефазифікації для використання в БФЛ був вибраний метод центру ваги (*centroid*).

Загалом властивості БФЛ відображає поверхня відгуку – тривимірний графік функціональної залежності між вихідною та вхідними величинами. Поверхня відгуку спроектованого БФЛ подана на рис. 6.

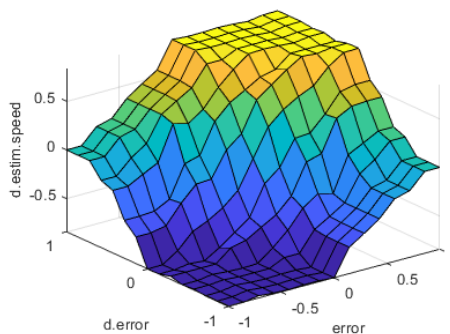


Рис. 6. Поверхня відгуку БФЛ

Для ФПІ алгоритму були використані такі ж самі коефіцієнти підсилення пропорційної та інтегральної складових як і в ПІ алгоритмі – $k_p = 0,5$, $k_i = 25$. Звідси за (10) були отримані значення параметрів $k_{pi} = 25$, $T_{pi} = 0,02$. Період квантування та коефіцієнт нормування мали значення $T_0 = 0,2$ мс, $m = 0,04$.

З метою порівняння властивостей системи бездавачевого векторного керування АД електромобіля з традиційним ПІ алгоритмом та запропонованим ФПІ алгоритмом адаптації СШ було проведено дослідження шляхом математичного моделювання.

На першому етапі дослідження оцінювалися динамічні властивості системи при відпрацюванні стрибкоподібного завдання швидкості. Реакції САК АД на зміну завдання від $\omega^* = 0$ до $\omega^* = 0,1$ в.о. (в.о. – відносні одиниці) в момент часу $t = 3$ с, коли процес збудження двигуна вже завершився, наведені на рис. 7.

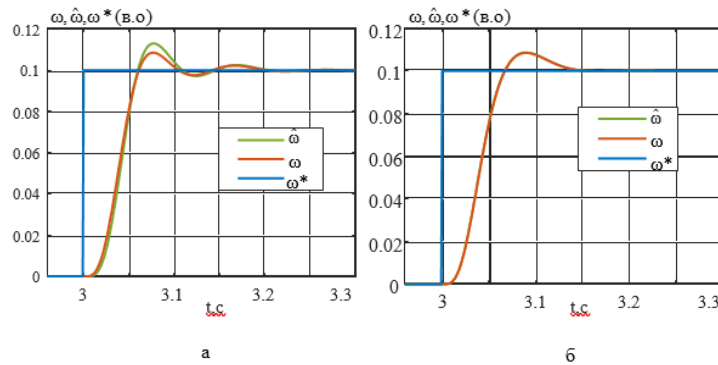


Рис. 7. Перехідні характеристики САК АД із використанням алгоритму адаптації СШ: а – ПІ; б – ФПІ

Аналіз перехідних характеристик показує, що при застосуванні ПІ алгоритму перехідний процес швидкості має коливальний характер, а між кривими швидкості та оцінки швидкості існує певна розбіжність (рис. 7,а). Якщо застосовується ФПІ алгоритм, то коливальність перехідного процесу швидкості зникає, а криві $\omega(t)$ та $\hat{\omega}(t)$ практично співпадають (рис. 7,б). Отже якість перехідного процесу поліпшується в разі використання ФПІ алгоритму адаптації СШ.

Другий етап дослідження полягав у порівнянні енергетичних властивостей системи з розглядуваними алгоритмами. В ідеалізованому АД електричні втрати потужності ΔP_q від компоненти I_q вектора струму статора можна обчислити як

$$\Delta P_q = 1,5 I_q^2 (R_s + K_r^2 R_r) \tag{14}$$

Втрати активної енергії в АД від компоненти I_q за інтервал часу $\Delta t \in (t_1, t_2)$ дорівнюють

$$\Delta E_q = \int_{t_1}^{t_2} \Delta P_q(t) dt \tag{15}$$

Моделювання САК АД здійснювалося при періодичному стрибкоподібному завданні швидкості, що змінювалося в межах від $\omega^* = 0$ до $\omega^* = 0,1$ в.о. з періодом 1 с. Перехідні процеси в системі при відпрацюванні даного завдання зображені на рис. 8.

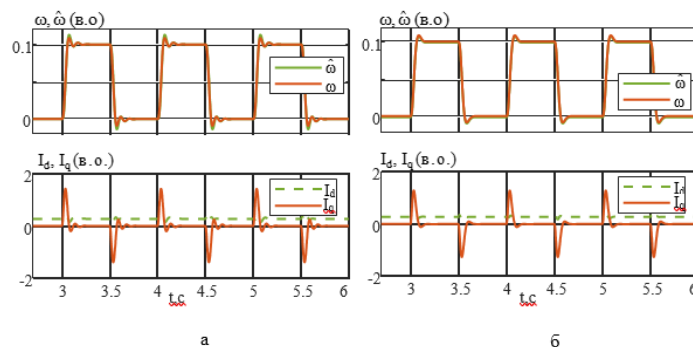


Рис. 8. Перехідні процеси в САК АД при періодичному стрибкоподібному завданні швидкості із алгоритмом адаптації СШ: а – ПІ; б – ФПІ

Втрати енергії в перехідних процесах обчислювалися за (15) та (14) на інтервалі часу від $t_1 = 3 \text{ с}$ до $t_2 = 6 \text{ с}$. Для зображеної на рис. 8,а кривої $I_q(t)$ було отримано $\Delta E_{q,III} = 2286 \text{ Дж}$, а для кривої на рис. 8,б – $\Delta E_{q,ФПІ} = 1982 \text{ Дж}$. Звідси випливає, що зменшення втрат енергії при застосуванні ФПІ алгоритму складає $(1 - \Delta E_{q,ФПІ} / \Delta E_{q,III}) \times 100\% \approx 13,3\%$.

На третьому етапі дослідження ставилося за мету порівняти динамічні та енергетичні властивості системи бездавачевого векторного керування АД електромобіля при нахилі моменту навантаження двигуна. Тут при русі на швидкості $\omega = 0,2 \text{ в.о.в}$ момент часу $t = 3 \text{ с}$ стрибкоподібно змінювалося навантаження двигуна від $M_L = 0$ до $M_L = 1 \text{ в.о.}$ На рис. 9 зображені перехідні процеси компенсування збурення в САК АД при застосуванні для адаптації спостерігача швидкості ПІ алгоритму (рис. 9,а) та ФПІ алгоритму (рис. 9,б).

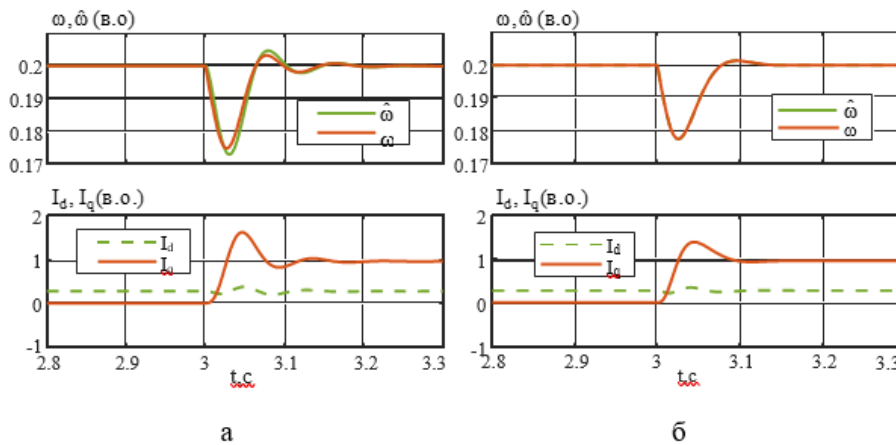


Рис. 9. Перехідні процеси в САК АД при нахилі навантаження із застосуванням алгоритму адаптації СШ: а – ПІ; б – ФПІ

Якість перехідного процесу нижче оцінюється такими показниками як максимальне динамічне відхилення швидкості двигуна $\Delta \omega_{\max} = |\Delta \omega(t)|_{\max}$, де $\Delta \omega(t) = \omega^*(t) - \omega(t)$, та час компенсування збурення t_{κ} , що визначається як інтервал часу від моменту появи збурення до моменту, коли відхилення швидкості остаточно стане меншим за $0,05 \Delta \omega_{\max}$.

Порівнюючи криві швидкості та оцінки швидкості на рис. 9,а та 9,б можна зазначити, що в разі застосування ФПІ алгоритму практично зникає коливальність перехідного процесу, а також розбіжність між $\omega(t)$ та $\hat{\omega}(t)$.

Як видно з рис. 9,а, при застосуванні ПІ алгоритму максимальне динамічне відхилення швидкості двигуна дорівнює $\Delta \omega_{\max,III} = 0,025 \text{ в.о.}$, а час компенсування збурення складає $t_{\kappa,III} = 0,09 \text{ с}$. Якщо для адаптації СШ застосується ФПІ алгоритм, то, згідно з рис. 9,б, $\Delta \omega_{\max,ФПІ} = 0,022 \text{ в.о.}$, а $t_{\kappa,ФПІ} = 0,07 \text{ с}$. В цьому разі показники якості перехідного процесу кращі, $\Delta \omega_{\max}$ та t_{κ} менші відповідно на $(1 - \Delta \omega_{\max,ФПІ} / \Delta \omega_{\max,III}) \times 100\% = 12\%$ та $(1 - t_{\kappa,ФПІ} / t_{\kappa,III}) \times 100\% \approx 22\%$.

Порівняємо втрати енергії в перехідному процесі при нахилі моменту навантаження двигуна. Приймаючи $t_1 = 3 \text{ с}$, $t_2 = 3 \text{ с} + t_{\kappa,III}$, за (15) та (14) для зображеної на рис. 9,а, кривої $I_q(t)$ отримано $\Delta E_{q,III} = 698,7 \text{ Дж}$, а для кривої на рис. 9,б – $\Delta E_{q,ФПІ} = 630 \text{ Дж}$. Отже, в разі застосування ФПІ алгоритму втрати енергії в АД зменшилися на $(1 - \Delta E_{q,ФПІ} / \Delta E_{q,III}) \times 100\% \approx 9,8\%$.

Таким чином, за результатами проведених досліджень можна зазначити, що застосування ФПІ алгоритму адаптації СШ у порівнянні з традиційним ПІ алгоритмом дозволяє істотно поліпшити динамічні та енергетичні властивості системи бездавачевого векторного керування АД електромобіля.

Висновки

1. Розглянуто математичний опис системи бездавачевого векторного керування асинхронним двигуном електромобіля з ПІ алгоритмом адаптації СШ. Для поліпшення властивостей системи запропоновано в блоці адаптації СШ замість традиційного ПІ алгоритму використати його нечітку версію – ФПІ алгоритм.

2. Виконано синтез блоку фазі-логіки ФПІ алгоритму із використанням семи лінгвістичних термів для двох вхідних та однієї вихідної лінгвістичних змінних.

3. Шляхом математичного моделювання проведено порівняльне дослідження САК АД з ПІ алгоритмом та альтернативним ФПІ алгоритмом адаптації СШ.

4. Встановлено, що використання ФПІ алгоритму адаптації СШ дозволяє суттєво покращити динамічні та енергетичні показники системи. У перехідних процесах компенсування змін навантаження двигуна динамічне відхилення швидкості та час компенсування збурення зменшується відповідно на 12% та 22%. Втрати енергії у перехідних процесах при стрибкоподібному завданні швидкості та накиді навантаження знижується відповідно на 13,3% та 9,8%.

Список використаної літератури

1. Bitar, Z., Al Jabi, S. Studying the performances of induction motor used in electric car. *Energy Procedia*. 2014. Vol. 50. P. 342–351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.041>
2. Pryymak B. Induction Motor Control System of Electric Vehicle with Improved Dynamics in Field Weakening Region. Proceedings of the IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). 2019. P. 615–620. DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8880012
3. Pryymak B., Moreno-Eguilaz M. Characteristics of Induction Motor Drives with Torque Maximization in Field Weakening Region. Proceedings of the IEEE 1st Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). 2017. P. 508–513. DOI: 10.1109/ukrcon.2017.8100292
4. Stănică, D. M., Bizon, N., Arva, M. C. A brief review of sensorless AC motors control. Proceedings of the IEEE 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI). 2021. P. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/ECAI52376.2021.9515049>
5. Xu D., Wang B., Zhang G., Wang G., Yu Y. A review of sensorless control methods for AC motor drives. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*. 2018. Vol. 2, No. 1. P. 104–115. DOI: <https://doi.org/10.23919/TEMS.2018.8326456>
6. Zerdali, E., Barut, M. The comparisons of optimized extended Kalman filters for speed-sensorless control of induction motors. *IEEE Transactions on industrial electronics*. 2017. Vol. 64, No. 6. P. 4340–4351. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2674579>
7. Shi K.L., Chan T.F., Wong Y.K., Ho S.L. Speed estimation of an induction motor drive using an optimized extended Kalman filter. *IEEE Transactions on industrial electronics*. 2002. Vol. 49, No. 1. P. 124–133. DOI: <https://doi.org/10.1109/41.982256>
8. Iqbal A., Khan M. R. Sensorless control of a vector controlled three-phase induction motor drive using artificial neural network. Joint International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems. 2010. P. 1–5, DOI: <https://doi.org/10.1109/PEDES.2010.5712474>.
9. Gadoue S.M., Giaouris D., Finch J.W. Sensorless control of induction motor drives at very low and zero speeds using neural network flux observers. *IEEE Transactions on industrial electronics*. 2009. Vol. 56, No. 8. P. 3029–3039. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2024665>
10. Zorgani, Y. A., Koubaa Y., Boussak, M. Sensorless speed control with MRAS for induction motor drive, Proceedings of the XXth International Conference on Electrical Machines, Marseille, France. 2012. P. 2259–2265, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEIMach.2012.6350196>.
11. Kubota H., Matsuse K. Speed sensorless field-oriented control of induction motor with rotor resistance adaptation. *IEEE Transactions on industrial Applications*. 1994. Vol. 30, No 5. P. 1219–1224. DOI: 10.1109/28.315232
12. Xu, Z., Shao, C., Feng, D. A MRAS method for sensorless control of induction motor over a wide speed range. *Journal of Control Theory and Applications*. 2011. Vol. 9, No. 2. P. 203–209. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11768-011-8202-y>
13. Orłowska-Kowalska T., Dybkowski M. Stator-Current-Based MRAS Estimator for a Wide Range Speed-Sensorless Induction Motor Drive. *IEEE Transactions on industrial electronics*. 2010. Vol. 57, No. 4. P. 1296–1308. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2031134>
14. Teja, A. R., Chakraborty, C., Maiti, S., Hori, Y. A new model reference adaptive controller for four quadrant vector controlled induction motor drives. *IEEE transactions on industrial electronics*. 2011. Vol. 59, No. 10. P. 3757–3767. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2164769>
15. Vasic V. Vukosavic S.N., Levi E. A stator resistance estimation scheme for speed sensorless rotor flux oriented induction motor drives. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2003. Vol. 18, No. 4. P. 476–483. DOI: 10.1109/TEC.2003.816595
16. Приймак Б.І., Красношопка Н.Д., Лозада Ф., Долганов О.О. Динамічні властивості системи бездавачевого векторного керування асинхронним приводом електромобіля. *Праці Ін-ту електродинаміки НАН України*. – 2018. – Вип. 49. – С. 51–60. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PIED_2018_49_9
17. Novotny D.W., Lipo T.A. Vector control and dynamics of AC drives. Oxford: Clarendon press, 2005, 440 p.
18. Ibrahim, Z., Levi, E. A comparative analysis of fuzzy logic and PI speed control in high-performance AC drives using experimental approach. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2002. Vol. 38, No. 5. P. 1210–1218. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2002.802993>

References

1. Bitar, Z., Al Jabi, S. (2014). Studying the performances of induction motor used in electric car. *Energy Procedia*, 50, pp. 342–351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.041>
2. Pryymak, B. (2019). Induction Motor Control System of Electric Vehicle with Improved Dynamics in Field Weakening Region. In *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, pp. 615–620. DOI: <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8880012>
3. Pryymak, B., Moreno-Eguilaz, M. (2017). Characteristics of induction motor drives with torque maximization in field weakening region. In *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, pp. 508–513. DOI: [10.1109/ukrcon.2017.8100292](https://doi.org/10.1109/ukrcon.2017.8100292)
4. Stănică, D. M., Bizon, N., Arva, M. C. (2021). A brief review of sensorless AC motors control. In *2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*. pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/ECAI52376.2021.9515049>
5. Xu D., Wang B., Zhang G., Wang G., Yu Y. (2018) A review of sensorless control methods for AC motor drives. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*. 2(1). pp. 104–115. DOI: [10.23919/TEMS.2018.8326456](https://doi.org/10.23919/TEMS.2018.8326456)
6. Zerdali, E., Barut, M. (2017). The comparisons of optimized extended Kalman filters for speed-sensorless control of induction motors. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 64(6), pp. 4340–4351. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2674579>
7. Shi, K. L., Chan, T. F., Wong, Y. K., Ho, S. L. (2002). Speed estimation of an induction motor drive using an optimized extended Kalman filter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 49(1), pp. 124–133. DOI: <https://doi.org/10.1109/41.982256>
8. Iqbal A., Khan M. R. (2010) Sensorless control of a vector controlled three-phase induction motor drive using artificial neural network. In *2010 Joint International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems Power, India*. pp. 1–5, DOI: <https://doi.org/10.1109/PEDES.2010.5712474>.
9. Gadoue, S. M., Giaouris, D., Finch, J. W. (2009). Sensorless control of induction motor drives at very low and zero speeds using neural network flux observers. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(8), pp. 3029–3039. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2024665>
10. Zorgani, Y. A., Koubaa Y., Boussak, M. (2012) Sensorless speed control with MRAS for induction motor drive, XXth International Conference on Electrical Machines, Marseille, France, 2259–2265, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEIMach.2012.6350196>.
11. Kubota, H., Matsuse, K. (1994). Speed sensorless field-oriented control of induction motor with rotor resistance adaptation. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 30(5), 1219–1224. DOI: [10.1109/28.315232](https://doi.org/10.1109/28.315232)
12. Xu, Z., Shao, C., Feng, D. (2011). An MRAS method for sensorless control of induction motor over a wide speed range. *Journal of Control Theory and Applications*, 9(2), pp. 203–209. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11768-011-8202-y>
13. Orłowska-Kowalska, T., Dybkowski, M. (2009). Stator-current-based MRAS estimator for a wide range speed-sensorless induction-motor drive. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 57(4), pp. 1296–1308. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2031134>
14. Teja, A. R., Chakraborty, C., Maiti, S., Hori, Y. (2011). A new model reference adaptive controller for four quadrant vector controlled induction motor drives. *IEEE transactions on industrial electronics*, 59(10), 3757–3767. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2164769>
15. Vasic, V., Vukosavic, S. N., Levi, E. (2003). A stator resistance estimation scheme for speed sensorless rotor flux oriented induction motor drives. *IEEE transactions on Energy Conversion*, 18(4), 476–483. DOI: [10.1109/TEC.2003.816595](https://doi.org/10.1109/TEC.2003.816595)
16. Pryymak, B., Krasnoshapka, N., Lozada, F., Dolganov, O. (2018) Dynamic properties of the sensorless vector control system of induction motor drive of electric vehicle [Dynamichni vlastyvoli systemy bezdavachevoho vektornoho keruvannia asynkhronnym pryvodom elektromobilia]. Pratsi In-tu elektrodynamiky NAN Ukrainy, 49, pp. 51–60. [in Ukrainian]. http://nbuv.gov.ua/UJRN/PIED_2018_49_9
17. Novotny D.W., Lipo T.A. (2005) Vector control and dynamics of AC drives, Oxford: Clarendon press. 440 p.
18. Ibrahim, Z., Levi, E. (2002). A comparative analysis of fuzzy logic and PI speed control in high-performance AC drives using experimental approach. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 38(5), 1210–1218. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2002.802993>

О. В. РАДІОНОВ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри технічного сервісу
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0001-7282-578X

О. І. АЛФЬОРОВ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри проектування технічних систем
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-6304-6925

Н. В. ТАРЕЛЬНИК

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри проектування технічних систем
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-6304-6925

В. В. ПОСТОЛАТІЙ

аспірант кафедри технічного сервісу
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0009-0008-6008-0168

М. А. КУСКОВ

аспірант кафедри надійності та міцності машин і споруд
імені В. Я. Аніловича
Харківський державний біотехнологічний університет
ORCID: 0000-0001-7204-9872

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ МАГНІТОРІДИННИХ ГЕРМЕТИЗАТОРІВ

Підвищення надійності сільськогосподарського обладнання є актуальним завданням. З цих позицій важливо розглянути експлуатацію асинхронних електродвигунів (АД). Дані електродвигуни застосовуються у важких умовах експлуатації та мають досить високий рівень аварійності. Одним із шляхів продовження експлуатаційного циклу є практично повне запобігання потраплянню забруднюючих речовин усередину АД. Забезпечити необхідний рівень герметичності можна застосуванням нового типу ущільнень – магніторідинних герметизаторів.

Метою даної роботи є комп'ютерне моделювання і дослідження просторового розподілу в активній області герметизатора обертового валу магнітного поля, магнітних сил, що діють на магнітні частинки мікронного розміру, а також швидкості магнітофоретичного руху частинок під дією цих сил. У цьому використовується чисельний метод кінцевих елементів, реалізований у пакеті програм Comsol.

У роботі отримано такі основні результати. Виконаний за допомогою програми Comsol кінцево-елементний розрахунок розподілу магнітної індукції в активній зоні герметизатора зі збільшеним зазором (0,8 мм) для двох випадків – 1) коли вал, що обертається, є гладким і 2) за наявності дефекту на валу. Вперше аналітично розглянуто режим, коли в робочу магнітну рідину додатково вводяться магнітні частинки мікронного розміру згідно з патентом України № 10642. Показано розподіл зон, що характеризуються максимальною локальною неоднорідністю цього поля, що визначає величину та напрямок магнітної сили, що діє на мікроскопічні частинки магнітної рідини. Отримано розрахунковим шляхом розподіл магнітної сили, що діє на мікрочастинки різного діаметра (0,1–10 мкм), та швидкості руху цих частинок під дією цієї сили. Показано, що ці частинки концентруються в зонах з неоднорідним полем – у кутових зонах зубців магнітної системи та поблизу дефекту на валу, причому характерний час перебігу перехідного процесу для частинок діаметром 0,1, 1 та 10 мкм становить відповідно 630, 6,3 та 0,063 хв. Додавання мікронних частинок до робочого зазору герметизатора дозволяє збільшити до трьох разів величину даного зазору при збереженні надійності в експлуатації. Виконаний розрахунок показав можливість застосування технології згідно з патентом України № 10642. Використання МРГ з підвищеними проміжками довели адекватність розробленої математичної моделі.

Ключові слова: електродвигун, надійність, вал, працездатність, сільськогосподарське виробництво, ущільнення, магніторідинний герметизатор, наночастинки, мікрочастинки, метод кінцевих елементів, магнітне поле, магнітна індукція, силові лінії.

A. V. RADIONOV

Doctor of Engineering, Professor,
Professor at the Department of Technical Service
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0001-7282-578X

O. I. ALFOROV

Doctor of Engineering, Professor,
Professor at the Department of Technical System Designs
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-6304-6925

N. V. TARELNYK

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Technical System Designs
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-6304-6925

V. V. POSTOLATII

Postgraduate Student at the Department of Technical Service
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0009-0008-6008-0168

M. A. KUSKOV

Postgraduate Student at the Department of Reliability, Strength and Technical Service of Machines named after V. Ya. Anilovich
Kharkiv State Biotechnology University
ORCID: 0000-0001-7204-9872

IMPROVING THE RELIABILITY OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS FOR AGRICULTURAL PRODUCTION BY IMPLEMENTING MAGNETIC SEALING TECHNOLOGIES

Improving the reliability of agricultural equipment is an urgent task. From these positions, it is important to consider the operation of asynchronous motors (AM). These electric motors are used in severe operating conditions and have a fairly high accident rate. One of the ways to extend the operational cycle is to almost prevent the pollutants penetration completely inside the AM. It is possible to ensure the required level of tightness by using a new type of seal – magnetofluid seals.

The purpose of this work is computer modelling and the spatial distribution study in the active region of the rotating shaft seal of the magnetic field, magnetic forces acting on micron-sized magnetic particles, as well as the velocity of magnetophoretic motion of particles under the action of these forces. The numerical finite element method implemented in the Comsol software package is used in this work.

The following main results were obtained in this work. The finite-element calculation of magnetic induction distribution in the active zone of the seal with an increased gap (0.8 mm) for two cases – 1) when the rotating shaft is smooth and 2) in the presence of a defect on the shaft has been performed using the Comsol program. For the first time analytically considered the mode when additional magnetic particles of micron size are added to the working magnetic fluid according to the patent of Ukraine № 10642. The distribution of zones characterized by maximum local inhomogeneity of this field determining the magnitude and direction of the magnetic force acting on microscopic particles in magnetic fluid is shown. The distribution of magnetic force acting on microparticles of different diameters (0.1–10 microns) and the velocity of motion of these particles under the action of this force is obtained by calculation. It is shown that these particles concentrate in zones with inhomogeneous field – in the angular zone of the teeth of the magnetic system and near the defect on the shaft, and the characteristic time of the transient process for particles with diameters of 0.1, 1 and 10 microns is 630, 6.3 and 0.063 min, respectively. The addition of micron particles to the working gap of the seal allows it to increase up to three times the value of this gap while maintaining reliability in operation. The performed calculation showed the possibility of application of the technology according to the patent of Ukraine № 10642. Implementation of MFS with increased gaps proved the adequacy of the developed mathematical model.

Key words: electric motor, reliability, shaft, performance, agricultural production, seal, magnetofluid seal, nanoparticles, microparticles, finite element method, magnetic field, magnetic induction, power lines.

Вступ

Сільськогосподарське виробництво зумовлює широке застосування електроенергії у всіх галузях. Найпоширенішим і енергоємним споживачем електроенергії, яка витрачається на виробничі цілі, на сьогоднішній день є електропривід. Умови експлуатації електроприводу в сільському господарстві суттєво відрізняється від промислових. Це пояснюється децентралізованістю його розташування, використанням електроприводу в приміщеннях з наявністю хімічно активних газів при підвищеній вологості, відсутністю технічних засобів, які забезпечують рівномірність завантаження робочих машин, сезонністю роботи та ін.

Приблизно 95% від усіх використовуваних електроприводів припадає на асинхронні електродвигуни (АД) з короткозамкненим ротором. Проте їхня експлуатаційна надійність залишається ще недостатньою. Щорічний вихід із ладу великий і сягає, за окремими галузями, до 20–25% [1].

Аварійність АД завдає великої шкоди сільськогосподарському виробництву. Цей збиток складається з прямої шкоди (вартість електродвигуна або його капітального ремонту та витрат на його заміну) та технологічного збитку, який завдається виробництву через простої технологічного обладнання або псування продукції внаслідок аварії на АД.

АД є прикладом складної системи, на безвідмовність роботи якої впливає безліч чинників. Ремонт електродвигунів та їх частин є трудомістким процесом, який потребує значного обсягу ручної праці. Також необхідно враховувати, що основну частину АД ремонтують самі споживачі. Як правило, ремонт ведеться за спрощеною технологією, з низькою продуктивністю праці [2].

Тому виявлення причини виходу з ладу, оптимізація технології відновлення та продовження міжремонтного часу для найбільш вузьких місць АД є актуальним завданням.

Постановка проблеми

Продовження міжремонтного циклу експлуатації АД можна досягти шляхом забезпечення практичного повного запобігання потраплянню забруднюючих речовин і вологи всередину електродвигуна.

Незважаючи на значний прогрес у галузі герметології та різноманіття конструктивних рішень, проблема вибору такого ущільнення є досить складною. Це пов'язано з тим, що потенційні можливості традиційних ущільнень значною мірою вичерпали себе та вони не здатні забезпечити абсолютну герметичність [3].

Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є застосування нового типу ущільнень – магніторідинних герметизаторів (МРГ), основною перевагою яких є можливість забезпечення практично повної герметичності.

Серед інших важливих переваг МРГ виділимо наступні: мінімальний знос внаслідок чисто рідинного тертя в зазорі між рухомими та нерухомими елементами; відсутність необхідності в змащенні; низькі втрати потужності та малий момент опору; висока ремонтпридатність; простота обслуговування; працездатність в статичі та динаміці; самовідновлення у разі аварійного прориву ущільненої середі та ін. [4, 5].

Основним недоліком МРГ є проблема експлуатації при підвищених зазорах між валом, що обертається, і корпусом ущільнення. У літературі відсутні дані про можливість експлуатації МРГ при робочих зазорах більше 0,3 мм. У той же час аналіз умов роботи електродвигунів у сільськогосподарському виробництві показує, що цей параметр має бути збільшений щонайменше до 0,5 мм.

Одним із можливих шляхів вирішення проблеми є створення комбінованих ущільнень, які поєднують переваги традиційних та магніторідинних систем герметизації.

Проте, для АД, які серійно випускаються, як правило, не вистачає місця для розміщення комбінованого ущільнення. Тому, цей шлях обмежений у реалізації та застосовується на електродвигунах великої потужності (від 1МВт і вище), які в сільському господарстві застосовуються дуже рідко [6].

Компенсувати різке ослаблення магнітного поля при збільшених робочих зазорах і, як наслідок, погіршення ущільнювальних властивостей МРГ можна шляхом додавання в магнітну рідину перед заправкою мікронних частинок феромагнітного порошку при їх інтенсивному перемішуванні [7].

Це забезпечує їх введення в робочий зазор МРГ і осадження на поверхні концентраторів магнітного потоку в області найбільшої магнітної індукції. Таким чином, можна зменшити величину робочого зазору. Стримує розвиток цього методу не вивченість процесів впливу магнітного поля на магнітні частинки мікронного розміру, а також швидкості магнітофоретичного руху частинок під дією цих сил.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є комп'ютерне моделювання та дослідження просторового розподілу в активній області герметизатора обертового валу магнітного поля, магнітних сил, які діють на магнітні частинки мікронного розміру, а також швидкості магнітофоретичного руху частинок під дією цих сил. При цьому використовується чисельний метод кінцевих елементів, який реалізований у програмному середовищі Comsol [8].

Розрахунок магнітного поля в активній зоні герметизатора. Принцип роботи МРГ заснований на взаємодії магнітної рідини з магнітним полем магнітної системи герметизатора, при якому забезпечується герметизація внутрішньої області пристрою по відношенню до зовнішньої області за наявності обертового валу. Типова конструкція МРГ циліндричного типу показано на рис. 1 і містить магнітну систему з постійним магнітом, який

намагнічений в осьовому напрямку. В середині магнітної системи знаходиться обертовий вал (не показаний на рис. 1, а), в зазорі якого під полюсами, що мають зубчасту структуру для отримання різконеоднорідного магнітного поля, знаходиться магнітна рідина, яка утримується під дією магнітних сил і забезпечує герметизацію внутрішнього середовища за певного перепаду тиску Δp в осьовому напрямі.

Досліджуваний герметизатор характеризується осьовою симетрією, звідси полева задача може вирішуватися у двовимірній постановці в циліндричній системі координат у площині rOz . Розрахункова область для аналізу магнітного поля наведена на рис. 1 б і містить області з магнітними матеріалами трьох типів: постійні магніти, намагнічені в осьовому напрямку, феромагнітний матеріал полюсів магнітної системи і обертового валу, а також область, яка зайнята магнітною рідиною. Характеристики намагнічування цих матеріалів будуть розглянуті далі.

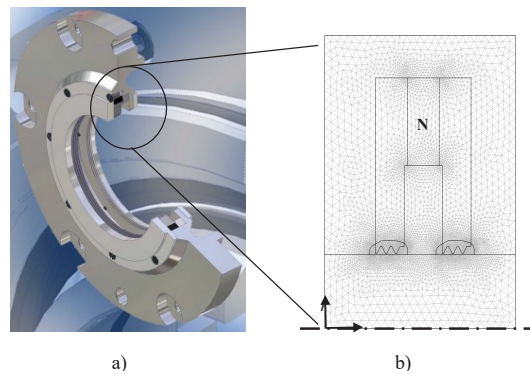


Рис. 1. Загальний вигляд типової конструкції герметизатора:
а) – розрахункова область активної зони МРГ; б) – кінцево-елементна сітка;

Полева задача розглядається як магнітостатична і вирішується в осесиметричній постановці в циліндричній системі координат у площині rOz для векторного магнітного потенціалу \mathbf{A} , який має єдину φ – компоненту, тобто $\mathbf{A} = (0, A_m, 0)$.

Із системи диференціальних рівнянь Максвелла для стаціонарного магнітного поля

$$\nabla \times \mathbf{H} = 0, \quad \mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}, \quad \nabla \cdot \mathbf{A} = 0 \tag{1}$$

та рівняння стану магнітного матеріалу, записаного у загальному випадку як

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} + \mathbf{B}_r \tag{2}$$

отримаємо наступне диференціальне рівняння для векторного потенціалу

$$\nabla \times [(\mu_0 \mu_r)^{-1} \nabla \times \mathbf{A} - (\mu_0 \mu_r)^{-1} \mathbf{B}_r] = 0 \tag{3}$$

де \mathbf{H} – напруженість магнітного поля, \mathbf{B} – магнітна індукція, \mathbf{B}_r – залишкова індукція, яка характеризує постійний магніт і задається в області, яку займає цей магніт, μ_0 – магнітна проникність вакууму, $\mu_r(|\mathbf{B}_r|)$ – відносне значення магнітної проникності (скалярна величина) для магнітного матеріалу, який залежить від модуля вектора магнітної індукції.

Постійний магніт МРГ виконаний з матеріалу NdFeB марки 38SH, який характеризується залишковою індукцією $B_r = 1,26$ Тл і коерцитивною силою $H_s = 950$ кА/м. Звідси для рівняння стану магніту з виразу (2) після підстановки цих значень отримаємо для області постійного магніту $\mu_r = 1,06$.

Для магнітної рідини, яка знаходиться в магнітному полі $H > 200$ кА/м, магнітна проникність приймалася рівною $\mu_r = 2$. Магнітний матеріал полюсів магнітної системи і обертового валу, що обертається, характеризувався нелінійною кривою намагнічування, яка взята з бази даних пакета Comsol.

У якості граничних умов використовувалися – умова симетрії на осі обертового валу та умова магнітної ізоляції $\mathbf{B} \cdot \mathbf{n} = 0$ на бічних та верхній поверхнях. Для чисельного розв'язання диференціального рівняння у часткових похідних (3) із зазначеними граничними умовами використовувався метод кінцевих елементів, який реалізований у пакеті програм Comsol.

Розрахунок величини магнітної сили, що діє на магнітні частки. Розглянемо магнітну суспензію, яка розведена настільки, що присутні в ній магнітні частинки можна вважати не взаємодіючими одна з одною. У неоднорідному постійному в часі магнітному полі \mathbf{B}_0 на кожен магнітну частинку, яка має магнітний момент \mathbf{m} , діє магнітна сила, яка визначається на підставі наступного виразу [9]:

$$\mathbf{F}_m = (\mathbf{m} \cdot \nabla) \mathbf{B}_0 \tag{4}$$

Розрахунок величини магнітного моменту \mathbf{m} залежить від типу магнітних частинок – чи є вони багатодоменні чи однодоменні. Частинки мікронного розміру, які розглядаються в даній статті, виконані з карбонільного заліза, є багатодоменними, магнітний момент яких дорівнює $\mathbf{m} = V_p \mathbf{M}$, де V_p – об'єм частинки; \mathbf{M} – намагніченість матеріалу частинки. Для частинки сферичної форми, матеріал якої характеризується відносним значенням магнітної проникності μ_r , величина намагніченості обчислюється як [9]

$$\mathbf{M} = \frac{3(\mu_r - 1)}{\mu_r + 2} \frac{B_0}{\mu_0}$$

З урахуванням цієї рівності вираз для магнітної сили (4) запишеться у вигляді

$$\mathbf{F}_m = \frac{3(\mu_r - 1)}{\mu_r + 2} V_p \nabla \frac{|B_0|^2}{2\mu_0} \tag{5}$$

Магнітна силова функція.

Вираз (5) для магнітної сили, яка діє на частинки в неоднорідному магнітному полі, перетворюємо на вигляд

$$\mathbf{F}_m = \frac{3(\mu_r - 1)}{\mu_r + 2} V_p \mathbf{G}_B, \tag{6}$$

$$\mathbf{G}_B = \nabla \frac{|B_0|^2}{2\mu_0} \tag{7}$$

де \mathbf{G}_B – векторна величина, що залежить від просторового положення точки поля і визначає ступінь неоднорідності магнітного поля. Назвемо її магнітною силовою функцією магнітного поля [10].

Магнітна силова функція \mathbf{G}_B може розглядатися як характеристика магнітної системи (герметизатора), яка створює неоднорідне магнітне поле в її активній зоні. Знаючи в кожній точці значення та напрямок векторної функції \mathbf{G}_B , можна, використовуючи вираз (6), розрахувати величину магнітної сили, яка діє на магнітні частки.

При аналізі швидкості руху частинок використовуються наступні припущення: 1) частинки мають сферичну форму і 2) рух частинок відбувається в режимі, під дією тільки магнітних сил \mathbf{F}_m розподілених у просторі. У цьому випадку рух частинок підпорядковується закону Стокса і величина їх швидкості може бути визначена з наступного виразу [11]:

$$\mathbf{V} = \mu_p \mathbf{F}_m, \tag{8}$$

де $\mu_p = 1/(3\pi\eta d_p)$ – рухливість частинки, η – динамічна в'язкість рідини, d_p – діаметр сферичної частки.

Аналіз результатів розрахунку

Розрахунки проводилися за наступних вихідних даних: діаметр валу – 100 мм, величина зазору в герметизаторі – 0,8 мм, діаметр магнітних частинок, які додаються в робочу магнітну рідину, $d_p = 0,1; 1; 10$ мкм, $\eta = 43,3$ Па·с, магнітна проникність частинок $\mu_r = 100$, магнітна проникність магнітної рідини приймалася $\mu = 2$. Розрахунки виконувались для двох випадків – за відсутності та за наявності дефекту на поверхні валу.

Розподіл силових ліній магнітного поля (ізолінії $A_{\phi r}$), та магнітної індукції (у кольорі) в активній зоні герметизатора показано на рис. 2 а.

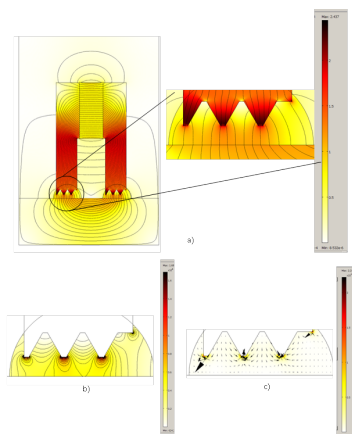


Рис. 2. Розподіл поля в активній зоні герметизатора при відсутності дефекту на валу:

а) – розподіл магнітного поля; б) – розподіл значення $|B_0|^2/(2\mu_0)$;

с) – розподіл вектора магнітної силової функції \mathbf{G}_B

На рис. 2 також показано розподіл значення $|B_0|^2/(2\mu_0)$: (рис. 2б) та вектора силової функції \mathbf{G}_B (рис. 2 с) за відсутності дефекту на валу. Як видно з цих малюнків, наявність зубцевої структури на поверхні

полюсів створює різконеоднорідне поле і, відповідно, розподіл сили в активній зоні.

В якості дефекту на валу задавалася канавка розміром $0,5 \times 0,5$ мм, яка розташована по всій поверхні валу. Розподіл магнітного поля та магнітної сили за наявності такого дефекту показано на рис. 3. Видно, що поблизу дефекту магнітне поле є неоднорідним, що призводить до виникнення магнітної сили F_m , яка діє на мікрочастинки.

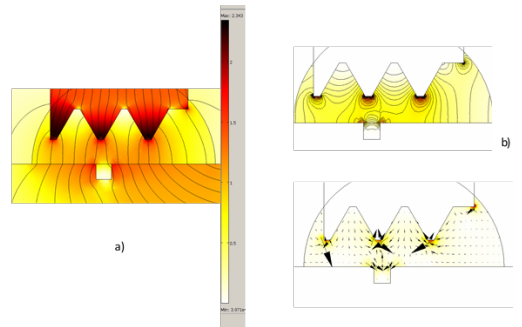


Рис. 3. Розподіл поля в активній зоні герметизатора з дефектом на валу:
 а) – магнітного поля; б) – значення $|B_0|^2 / (2\mu_0)$; с) – вектора силової функції G_B

На рис. 4 показано розподіл швидкості руху мікроскопічних частинок різних розмірів в активному хоні герметизатора без дефекту на валу, а на рис. 5 – за наявності дефекту. З аналізу цих даних можна зробити висновок, що частинки після закінчення деякого характерного часу протікання перехідного процесу будуть концентруватися в областях з різко неоднорідним магнітним полем, тобто будуть концентруватися в кутових зонах зубців магнітопроводу та в зоні розташування дефекту.

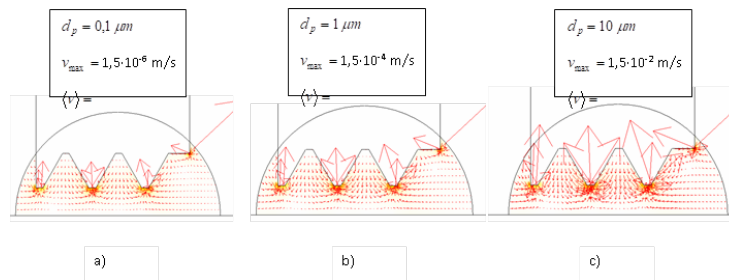


Рис. 4. Розподіл в активній зоні герметизатора вектора швидкості руху магнітних частинок різного діаметра:
 а) $d_p = 0,1$ мкм; б) $d_p = 1$ мкм; с) $d_p = 10$ мкм

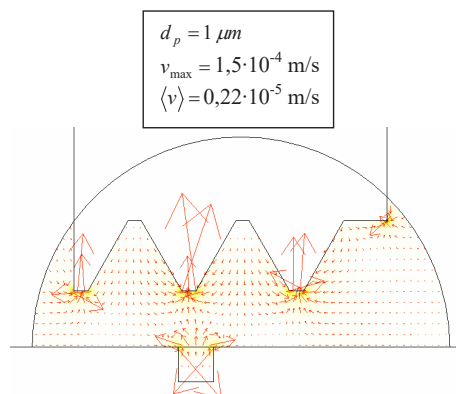


Рис. 5. Розподіл в активній зоні герметизатора вектора швидкості руху магнітних частинок діаметру $d_p = 1$ мкм при наявності дефекту на валу

Для оцінки величини цього характерного часу використали поняття середньої швидкості частинок $\langle V \rangle$ – середнє по області магнітної рідини значення модуля швидкості (8). При цьому оціночне значення характерного часу перехідного процесу складе $\tau = \delta / \langle V \rangle$, де $\delta = 0,8$ мм – величина зазору.

Для часток різного діаметра $d_p = 0,1, 1$ і 10 мкм значення цього часу буде відповідно рівне $\tau = 630, 6,3$ та $0,063$ хв відповідно. Таким чином, частинки розміром 1 мкм за час, який дорівнює приблизно 1 хвилині, будуть локалізовані в зонах неоднорідності, які показані на рис. 2 та 3. Цей результат був підтверджений експериментально [12].

Висновки

Виконаний за допомогою програмного середовища Comsol кінцево-елементний розрахунок розподіл магнітної індукції в активній зоні герметизатора зі збільшеним зазором ($0,8$ мм) для двох випадків – 1) коли обертовий вал є гладким і 2) за наявності дефекту на валу. Вперше аналітично розглянуто режим, коли в робочу магнітну рідину додатково вводяться магнітні частинки мікронного розміру згідно з патентом України № 10642. Показано розподіл зон, які характеризуються максимально локальною неоднорідністю цього поля, що визначає величину та напрямок магнітної сили, що діє на мікроскопічні частинки в магнітній рідині.

Отримано розрахунковим шляхом розподіл магнітної сили, яка діє на мікрочастинки різного діаметра ($0,1$ – 10 мкм), та швидкості руху цих частинок під дією цієї сили. Показано, що ці частинки концентруються в зонах з неоднорідним полем – у кутових зонах зубців магнітної системи та поблизу дефекту на валу, причому характерний час перебігу перехідного процесу для частинок діаметром $d_p = 0,1, 1$ та 10 мкм становить відповідно $630, 6,3$ та $0,063$ хв. Додавання мікронних частинок до робочого зазору герметизатора дозволяє збільшити до трьох разів величину даного зазору при збереженні надійності в експлуатації.

Виконаний розрахунок показав можливість застосування технології згідно з патентом України № 10642. Впровадження МРГ з підвищеними зазорами довели адекватність розробленої математичної моделі.

Список використаної літератури

1. Радіонов А.В. Вплив режимів роботи асинхронних електродвигунів з їхньої працездатність. *Вісник СНАУ*, Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вип. 10/1 (29). 2016. С. 156–161.
2. Рисбаєва Г.Б., Умурзакова А.Д. Огляд інтелектуальних методів контролю стану та діагностики несправностей асинхронних машин сільськогосподарського призначення. *Наука XXI століття – епоха трансформації*. Т. 1, 4. IV. 2022. С. 172–175.
3. Радіонов А.В. Модернізація технологічного устаткування шлях підвищення техногенної безпеки небезпечних виробництв. Проблеми екологічної безпеки: матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції. Кременчук: *КрНУ*, 2018. С. 78–79.
4. Pislary-Danescu L., Morega A.M., Telipan G. and others. Magnetic Nanofluid Applications in Electrical Engineering. *IEEE Transactions on Magnetics*. Vol. 49, No. 11. 2013. P. 5489–5498.
5. Ravaut R., Lemarquand G. Mechanical properties of a ferrofluid seal: three-dimensional analytical study based on the coulombian model. *Progress in Electromagnetics Research B*. Vol. 13. 2009. P. 385–407.
6. Радіонов А.В., Виноградов О.М. Комбіновані магніторідинні герметизатори – ефективна альтернатива безконтактним ущільненням підшипникових вузлів з рідким мастилом. Збагачення корисних копалин: *Наук. техн. зб.* Вип. 35 (76). 2008. С. 148–155.
7. Патент на винахід 106420 UA, МПК H01F7/00, H01F7//28 (2006.01). Магніторідинне ущільнення з автоматичною корекцією робочого зазору / Радіонов О.В., Виноградов О.М.: заявл. 08.11.2012; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16. 7 с.
8. Comsol multiphysics modeling i simulation software.[Електронний ресурс]. URL: <http://www.comsol.com/>
9. Jackson, John D. Classical Electrodynamics (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons. 1999. p.832.
10. Подольцев А.Д., Кучерява І.М. Багатомасштабне моделювання в електротехніці. Київ: *Інститут електродинаміки НАНУ*, 2011. 256 с.
11. Moon F.C. Magneto-Solid Mechanics. *Wiley*, 1984, 436 p.
12. Pshenichnikov A.F., Lebedev A.V., Radionov A.V., and Efremov D.V., A Magnetic Fluid for Operation in Strong Gradient Fields, *Colloid Journal*, Vol. 77, No. 2. 2015. P. 196–201.

References

1. Radionov A.V. (2016). Vplyv rezhymiv roboty asynkhronnykh elektrodvyhuniv z yikhnoi pratsezdatsnist. *Visnyk SNAU*, 10/1 (29), 156–161.
2. Rysbaieva H.B. & Umurzakova A.D. (2022). *Ohliad intelektualnykh metodiv kontroliu stanu ta diahnostryky nespravnostei asynkhronnykh mashyn silskohospodarskoho pryznachennia*. Nauka KhKhI stolittia – epokha transformatsii. T. 1, 4. IV, 172–175.
3. Radionov A.V. (2018). Modernizatsiia tekhnolohichnoho ustatkuvannia shliakh pidvyshchennia tekhnohennoi bezpeky nebezpechnykh vyrobnytstv. *Problemy ekolohichnoi bezpeky: materialy XVI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. Kremenchuk: KrNU, 78–79.

4. Pislaru-Danescu L., Morega A. M., Telipan G., Morega M., Dumitru J. B., & Marinescu V. (2013). Magnetic Nanofluid Applications in Electrical Engineering. *IEEE Transactions on Magnetics*, 49 (11), 5489–5498.
5. Ravaut R. & Lemarquand G. (2009). Mechanical properties of a ferrofluid seal: three-dimensional analytical study based on the coulombian model. *Progress in Electromagnetics Research B.*, 13, 385–407.
6. Radionov A.V. (2008). Vynohradov O.M. Kombinovani mahntoridynni hermetyzatory – efektyvna alternatyva bezkontaktnym ushchilnenniam pidshypnykovykh vuzliv z ridkym mastylom. Zbahachennia korysnykh kopalyn: *Nauk. tekhn. zb.*, 35 (76), 148–155.
7. Patent na vynakhid 106420 UA, MPK H01F7/00, H01F7//28 (2006.01). Mahntoridynne ushchilnennia z avtomatychnoiu korektsiieiu robochoho zazoru / Radionov O.V., Vynohradov O.M.: zaiavl. 08.11.2012; opubl. 26.08.2014, Biul. № 16. 7 p.
8. Comsol multiphysics modeling i simulation software. [Electronic resource]. URL: <http://www.comsol.com/>
9. Jackson John D. (1999). *Classical Electrodynamics* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons, 832.
10. Podoltsev A.D. & Kucheriava I.M. (2011). *Bahatomasshtabne modeliuвання v elektrotekhnitsi*. Kyiv: Instytut elektrodynamiky NANU, 256.
11. Moon F.C. (1984). *Magneto-Solid Mechanics*. Wiley, 436.
12. Pshenichnikov A.F., Lebedev A.V., Radionov A.V., & Efremov D.V., (2015). A Magnetic Fluid for Operation in Strong Gradient Fields, *Colloid Journal*, 77 (2), 196–201.

Л. А. ФРОЛОВА

доктор технічних наук,
професор кафедри технології неорганічних речовин і екології
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
ORCID: 0000-0001-7970-2264

О. С. БАСКЕВИЧ

кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник кафедри технології
неорганічних речовин і екології
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
ORCID: 0000-0002-3227-5637

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СИНТЕЗУ НА ВЛАСТИВОСТІ КОБАЛЬТ-НІКЕЛЕВОГО ФЕРИТУ

В останні роки область використання феритів кобальту розширюється. Перш за все це обумовлюється його специфічними властивостями, такими як високі значення коерцитивної сили, хімічна стабільність, значна магнітокристалічна анізотропія. Фізико-хімічні властивості нанодисперсних феритів кобальту залежать від багатьох факторів (технологія отримання, умови синтезу, природа вихідних речовин). Наразі актуальним є розробка і використання новітніх технологій синтезу феритів, що забезпечують отримання нанодисперсного продукту. Крім того, на властивості фериту кобальту впливає наявність додаткових катіонів металів. Змішані ферити дуже перспективні у зв'язку з можливістю варіювання їх властивостей. У роботі розглядалася можливість використання методу планування експерименту щодо вибору оптимальних режимів феритизації при синтезі кобальт-нікелевого фериту.

Фазовий склад феритів визначали рентгенофазовим аналізом. Магнітні властивості визначалися за допомогою вібраційного магнітометру. Залишкову намагніченість, коерцитивну силу визначали за побудованими петлями гістерезису.

На основі численних експериментів, були обрані як основні технологічні параметри, що впливають на магнітні характеристики, вихідне рН розчину, час обробки, температура проведення процесу. У роботі розглянуто вплив умов синтезу на залишкову намагніченість, коерцитивну силу та константу анізотропії нікель-кобальтових феритів, отриманих плазмовим методом. Для побудови експериментально-статистичних моделей було використано повний трифакторний експеримент. Встановлено, що основними впливовими факторами є початкове рН розчину, температура обробки. Представлені математичні моделі адекватно описують отримані залежності. Результати показали, що рН реакційної середовища є параметром, який збільшує значення залишкової намагніченості, коерцитивної сили та константи анізотропії.

Ключові слова: феритизація, повний факторний експеримент, залишкова намагніченість, коерцитивна сила, константа анізотропії.

L. A. FROLOVA

Doctor of Engineering,
Professor at the Department of Technology
of Inorganic Substances and Ecology
Ukrainian State University of Chemistry and Technology
ORCID: 0000-0001-7970-2264

O. S. BASKEVICH

Candidate of physical and Mathematical Sciences,
Senior Researcher at the Department of Technology
of Inorganic Substances and Ecology
Ukrainian State University of Chemistry and Technology
ORCID: 0000-0002-3227-5637

STUDY OF THE INFLUENCE OF SYNTHESIS PARAMETERS ON THE PROPERTIES OF COBALT-NICKEL FERRIT

In recent years, the field of use of cobalt ferrites has been expanding, primarily due to its specific properties, such as high values of coercive force, chemical stability, significant magnetocrystalline anisotropy. Physico-chemical properties

of nanodispersed cobalt ferrites depend on many factors (production technology, synthesis conditions, 1'and nature of starting substances). Currently, the development and use of the latest technologies for the synthesis of ferrites, which will ensure the production of a nanodispersed product, is relevant. In addition, the properties of cobalt ferrite are affected by the presence of additional metal cations. Mixed ferrites are very promising due to the possibility of varying their properties. The paper considered the possibility of using the method of planning the experiment to select the optimal modes of ferritization in the synthesis of cobalt-nickel ferrite.

The phase composition of ferrites was determined by X-ray phase analysis. Magnetic properties were determined using a vibrating magnetometer. The residual magnetization and coercive force were determined by the constructed hysteresis loops.

On the basis of numerous experiments, the initial pH of the solution, the processing time, and the temperature of the process were selected as the main technological parameters affecting the magnetic characteristics. The paper examines the effect of synthesis conditions on residual magnetization, coercive force, and anisotropy coefficient of nickel-cobalt ferrites obtained by the plasma method. A complete three-factor experiment was used to construct experimental-statistical models. It was established that the main influencing factors are the initial pH of the solution and the processing temperature. The presented mathematical models adequately describe the obtained dependencies. The results showed that the pH of the reaction medium is a parameter that increases the values of residual magnetization, coercive force, and anisotropy constant.

Key words: ferritization, complete factorial experiment, remanent magnetization, coercive force, anisotropy constant.

Постановка проблеми

Широка область використання феритів кобальту, а саме: мікрохвильові пристрої, записуючі пристрої, частотні сердечники, носії інформації, магнітні рідини, медичні препарати, природоохоронні технології, обумовлюється його специфічними властивостями, такими як високі значення коерцитивної сили, хімічна стабільність, значна магнітокристалічна анізотропія [1].

Фізико-хімічні властивості нанодисперсних феритів кобальту залежать від багатьох факторів, таких як технологія отримання, умови синтезу, природа вихідних речовин. Ферит кобальту відноситься до магнітожорстких феритів і має структуру оберненої шпінелі, де іони Co^{2+} займають переважно октаедричні позиції в той час як іони Fe^{3+} розподіляються порівну між тетраедричними і октаедричними позиціями [2–4].

Для синтезу дисперсного CoFe_2O_4 традиційно використовують термічне розкладання, керамічний та механохімічний синтез, більшість з цих технологій пов'язані з відпалом за високої температури, що ускладнює отримання нанодисперсного та монодисперсного продукту [5–7]. У зв'язку з цим розробка нових технологій синтезу та вдосконалення традиційних технологій отримання фериту кобальту привертає значну увагу дослідників [8; 9].

Одним із способів вирішення проблеми отримання феритів із заданими властивостями є заміна традиційних високотемпературних технологій на сольвотермальні [10; 11]. Відомі також «зелені технології», комбіноване співосадження гідроксидів, електроліз водних розчинів солей, використання зворотніх емульсій, співосадження солей.

Перспективними, але маловивченими методами інтенсифікації технологічних процесів є ультразвукова обробка, тліючий розряд, НВЧ обробка. Значне зменшення часу та температури обробки надає певний поштовх використанню контактної нерівноважної плазми (КНП) для синтезу оксидних систем [12; 13]. В залежності від параметрів КНП можна змінити швидкість процесів, що перебігають між декількома неоднорідними середовищами, і таким чином змінювати фазовий та морфологічний склад продуктів, що отримуються. Крім того, на властивості фериту кобальту впливає наявність додаткових катіонів металів. Змішані ферити дуже перспективні у зв'язку з можливістю варіювання їх властивостей.

У даній роботі розглядалася можливість використання методу планування експерименту щодо вибору оптимальних режимів феритизації при синтезі кобальт-нікелевого фериту.

Методика проведення експерименту

Отримання спільно осаджених сполук здійснювалося шляхом зливання при безперервному перемішуванні відповідної суміші 0,5М розчинів сульфатів з необхідним співвідношенням катіонів, як у фериті, та концентрованого розчину NaOH , з подальшою обробкою КНП. Опис установки та методики докладно наведено у роботі [14].

Концентрація Co^{2+} та Ni^{2+} в отриманих зразках визначалася комплексонометрично, катіонів заліза – перманганатним методом. Для контролю ходу реакції реактор був забезпечений електродною системою, що включає скляний електрод ЕСЛ 43-07 для вимірювання рН, платиновий електрод для вимірювання окислювального потенціалу і електрод порівняння ЭВЛ-1МЗ.

Усі осади промивалися до негативної реакції на сульфат-іон. Після осадження суспензію залишали на 48 годин у маточному розчині. Після витримки осад відокремлювали шляхом магнітної сепарації. Відмиті та відфільтровані осади сушили при 180°C. Відносні магнітні властивості визначалися вібраційним магнітометром. Залишкову намагніченість і коерцитивну силу визначали за побудованим петлям гістерезису. Коефіцієнт анізотропії визначали за формулою:

$$K_{aniz} = H_c M_s / 0,96 \tag{1}$$

де M_s – намагніченість насичення, А м²/кг

H_c – коерцитивна сила, Ерстед.

Фазовий склад висушених порошків визначався методом рентгенофазового аналізу (ДРОН-2.0, Си-Ка-випромінювання). На основі численних експериментів, були обрані як основні технологічні параметри, що впливають на магнітні характеристики, вихідне рН розчину, час обробки КНП, температура проведення процесу. Граничні умови впливових чинників наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Фактичні значення впливових факторів

Фактор	Назва	Одиниці вимірювання	Рівень	
			Максимальний	Мінімальний
X1	температура	°C	40	20
X2	час	хвилини	20	5
X3	pH		12,0	8,0

Також був створений трифакторний план проведення експерименту типу 2³ для вивчення впливу параметрів синтезу на магнітні характеристики складного фериту кобальту-нік елю, отриманого за допомогою КНП (табл. 2). У таблиці 2 (-1), (+1) представляють собою закодовані значення коефіцієнтів для мінімального та максимального рівнів відповідно. На основі даних статистичного аналізу отримували математичні моделі, що описують процес для вибраних рівнів.

Для повного 3-факторного експерименту математичне рівняння має вид:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3, \tag{2}$$

де y_i – залежна змінна (y_1 -залишкова намагніченість, y_2 -коерцитивна сила, y_3 -константа анізотропії),

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ – коефіцієнти, що відповідають незалежним змінним,

$\beta_{12}, \beta_{23}, \beta_{13}$ – коефіцієнти при парних взаємодіях незалежних змінних,

β_{123} – коефіцієнт при потрійній взаємодії незалежних змінних.

Побудування моделей виконано за допомогою програми STATSGRAPHICS 10.0. Для отриманих моделей проводили перевірку адекватності за критерієм Фішера, аналіз дисперсії, аналіз діаграм Парето.

Результати та обговорення

У таблиці 2 показана матриця для проведення повного факторного експерименту, що використовується для вивчення впливу КНП та значення функцій відгуку (коерцитивна сила (H_c), залишкова намагніченість (M_r), константа анізотропії (K_{aniz})), отримані для закодованих умов, прийнятих у кожному досліді, та порядковий номер зразків. Магнітні характеристики зразків, отриманих дією КНП поєднують високі значення коерцитивної сили та намагніченості насичення.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту 2³ та отримані результати

t, °C	t	pH	Hc, Ерстед,	Mr, А м ² /кг	Kaniz	Фазовий склад
1	1	1	750	17,62	37632	Co0.5Ni0.5Fe2O4
-1	1	1	720	13,85	26910	Co0.5Ni0.5Fe2O4
1	-1	1	650	33,92	63043	Co0.5Ni0.5Fe2O4
-1	-1	1	650	10,75	19229	Co0.5Ni0.5Fe2O4, FeOOH
1	1	-1	90	2,95	2730	Co0.5Ni0.5Fe2O4, FeOOH
-1	1	-1	130	0,43	446	Co0.5Ni0.5Fe2O4, FeOOH, Fe2O3*H2O
1	-1	-1	80	2,5	1739	Co0.5Ni0.5Fe2O4, CoOOH
-1	-1	-1	70	0	3354	Ni0.5Co0.5Fe2O4

Залежність значення M_r від перерахованих вище факторів при обробці КНП адекватно описується рівнянням:

$$M_r = 10.25 + 3.99t - 1.54\tau + 8.78pH + 2.74t * pH - 2.42\tau t - 1.76pH * \tau \tag{3}$$

Всі обрані фактори впливають на залишкову намагніченість. Такі індивідуальні фактори як рН і температура надають протилежний вплив на залишкову намагніченість. Найбільш впливовим фактором є вихідне значення рН. У разі потрійного ефекту взаємодії між рН, часом обробки та температурою негативно впливають на значення M_r .

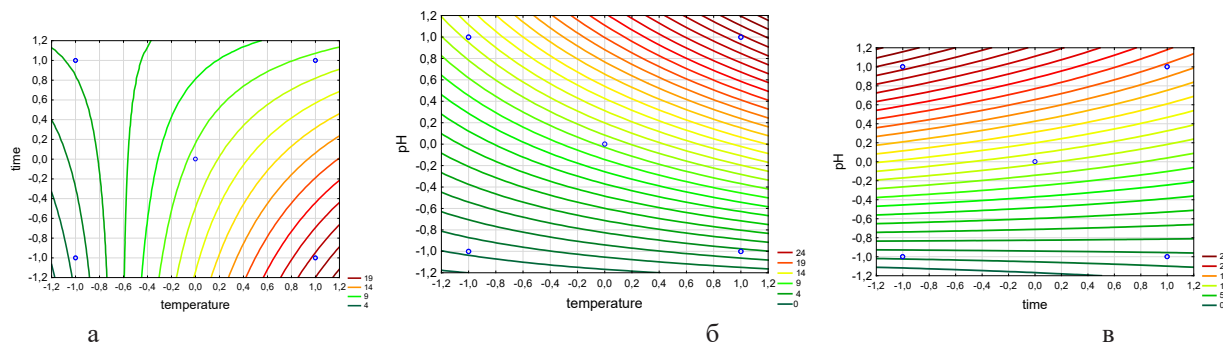


Рис. 1. Ізолії залежностей Mg від впливових факторів
а – $Mg=f(\tau,t)$, б– $Mg=f(pH,t)$, в– $Mg=f(pH, \tau)$

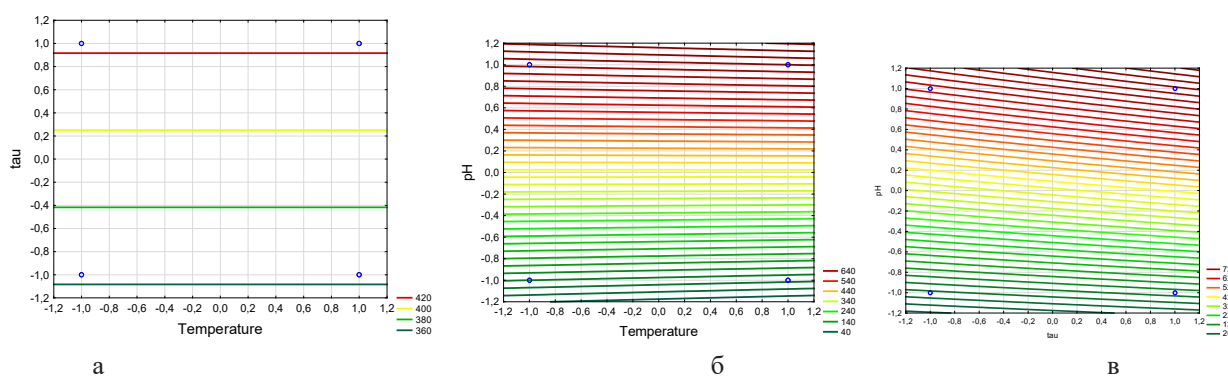


Рис. 2. Ізолії залежностей Hc від впливових факторів
а – $Hc=f(\tau,t)$, б– $Hc=f(pH,t)$, в– $Hc=f(pH, \tau)$

Аналіз рівняння, отриманого для коерцитивної сили, показує, що воно лінійне, основними факторами, що впливають, є рН і час обробки. Зі збільшенням рН та часу обробки H_c збільшується.

Залежність коерцитивної сили від перерахованих вище факторів при обробці КНП адекватно описується рівнянням:

$$H_c = 392.5 + 300pH + 31.2\tau \tag{4}$$

Аналізуючи рівняння (4), можна сказати, що найбільший вплив на значення H_c має вихідне рН розчину, причому зі збільшенням рН магнітні властивості посилюються. Так само діє і збільшення часу обробки.

Взаємодія між рН і температурою показує, що у всьому діапазоні рН ізолії паралельні осі x, тобто. коерцитивна сила залежить від температури (Рис. 2). За $pH < 10$ коерцитивна сила змінюється від 30–350 Ерстед, при $pH > 10$ значення H_c збільшується. Відповідно аналіз ізолій показує, що збільшення рН реакційного середовища від рівня -1 до +1 і зменшення часу обробки КНП від рівня +1 до -1 призводить до утворення продукту з покращеними магнітними характеристиками.

Взаємодія між рН і температурою показує, що у всьому діапазоні рН ізолії паралельні осі x, тобто. коерцитивна сила залежить від температури (Рис. 2). За $pH < 10$ коерцитивна сила змінюється від 30–350 Ерстед, при $pH > 10$ значення H_c збільшується. Відповідно аналіз ізолій показує, що збільшення рН реакційного середовища від рівня -1 до +1 і зменшення часу обробки КНП від рівня +1 до -1 призводить до утворення продукту з покращеними магнітними характеристиками.

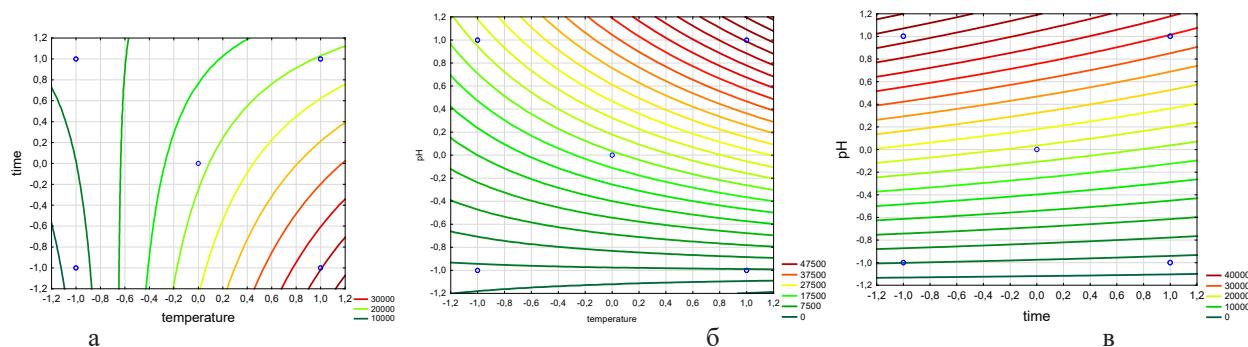


Рис. 3. Ізолії залежностей K_{aniz} від впливових факторів
 а – $K_{\text{aniz}}=f(\tau, t)$, б – $K_{\text{aniz}}=f(\text{pH}, t)$, в – $K_{\text{aniz}}=f(\text{pH}, \tau)$

На рис. 3 представлена залежність константи анізотропії від рН, температури та часу обробки. Ізолії функції відгуку мають значну кривизну, що вказує на нелінійну взаємодію між змінними (температурою і рН). Крім того, високі значення K_{aniz} відповідають поєднанням рН 12 і температури 40 °С.

Висновки

Досліджено вплив таких параметрів синтезу як температура, рН, час обробки на магнітні характеристики кобальт-нікелевого фериту за допомогою методу планування експерименту. Аналіз результатів проведених експериментальних досліджень показав, що магнітні характеристики більшою мірою залежать від рН проведення обробки.

Значення коерцитивної сили слабо залежить від температури проведення синтезу, а основним впливовим чинником є рН. Аналіз всіх отриманих моделей показав, що головним фактором впливу є саме вихідне рН оброблюваної суспензії.

Максимум H_C 750 Ерстед відповідає зразку, отриманому за температури 40 °С, рН 12. Значення константи анізотропії також більшою мірою визначаються рН розчину.

Список використаної літератури

1. Ortiz-Quiñonez J. L., Pal U., Villanueva M. S. Structural, magnetic, and catalytic evaluation of spinel Co, Ni, and Co–Ni ferrite nanoparticles fabricated by low-temperature solution combustion process. *ACS omega*, 3(11), 2018. P. 14986–15001.
2. Jeevanantham B., Song Y., Choe H., Shobana M. K. Structural and optical characteristics of cobalt ferrite nanoparticles. *Materials Letters: X*. 12. 2021. P. 100105.
3. Ahn Y., Choi E. J., Kim S. Crystallographic and Magnetic Properties of Nanocrystalline Cobalt Ferrite Particles. *The Korean Journal of Ceramics*, 5(3). 1999. P. 303–305.
4. Bouet L., Presmanes L., Tailhades P., Rousset A., Legros R. Rapid Thermal Annealing of Certain Fe-Co Spinel Oxides: Structural Modification and Magneto-Optical Properties. *Journal of the Magnetism Society of Japan*, 20(S_1_MORIS_96). S1_1996. P. 329–332.
5. Drogenik M., Lisjak D., Makovec D. (2005, May). The synthesis and properties of magnetic nanoparticles. In *Materials Science Forum* (Vol. 494, pp. 129–136). Trans Tech Publications Ltd.
6. Gabal M. A. Non-isothermal decomposition of $\text{NiC}_2\text{O}_4\text{--FeC}_2\text{O}_4$ mixture aiming at the production of NiFe_2O_4 . *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 64(8). 2003. P. 1375–1385.
7. Rana K., Thakur P., Sharma P., Tomar M., Gupta V., Thakur A. Improved structural and magnetic properties of cobalt nanoferrites: influence of sintering temperature. *Ceramics International*, 41(3). 2015. P. 4492–4497.
8. Sharifianjazi F., Moradi M., Parvin N., Nemati A., Rad A. J., Sheysi N., Asl M. S. Magnetic CoFe_2O_4 nanoparticles doped with metal ions: a review. *Ceramics International*, 46(11). 2020. P. 18391–18412.
9. de Medeiros F., Madigou V., Lopes-Moriyama A. L., de Souza C. P., Leroux C. Synthesis of CoFe_2O_4 nanocubes. *Nano-Structures & Nano-Objects*. 21. 2020. P. 100422.
10. Zhao L. J., Jiang Q. Solvothermal synthesis of Co/ CoFe_2O_4 nanobelts. *Materials Letters*. 64(6). 2010. P. 677–679.
11. Duong H. D. T., Nguyen D. T., Kim K. S. Effects of process variables on properties of CoFe_2O_4 nanoparticles prepared by solvothermal process. *Nanomaterials*. 11(11). 2021. P. 3056.
12. Ageba R., Kadota Y., Maeda T., Takiguchi N., Morita T., Ishikawa M., Hemsell T. Ultrasonically assisted hydrothermal method for ferroelectric material synthesis. *J. Korean Phys. Soc.* 57(4). 2010. P. 918–923.
13. Sergeyeva O., Pivovarov A. “ Factors affecting the character of plasma discharge with electrolytic cathode at a fixed pressure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3(6). 2015. P. 31–35.

14. Frolova L. A., Pivovarov A. A., Tsepich E., “Non-equilibrium plasma-assisted hydrophase ferritization in Fe^{2+} – Ni^{2+} – SO_4^{2-} – OH^- System”, *Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies and Applications Springe*, Cham, pp. 213–220, 2016.
15. Ortiz-Quiñonez, J. L., Pal, U., & Villanueva, M. S. (2018). Structural, magnetic, and catalytic evaluation of spinel Co, Ni, and Co–Ni ferrite nanoparticles fabricated by low-temperature solution combustion process. *ACS omega*, 3(11), 14986–15001.
16. Jeevanantham, B., Song, Y., Choe, H., & Shobana, M. K. (2021). Structural and optical characteristics of cobalt ferrite nanoparticles. *Materials Letters: X*, 12, 100105.
17. Ahn, Y., Choi, E. J., & Kim, S. (1999). Crystallographic and Magnetic Properties of Nanocrystalline Cobalt Ferrite Particles. *The Korean Journal of Ceramics*, 5(3), 303–305.
18. Bouet, L., Presmanes, L., TAILHADES, P., ROUSSET, A., & Legros, R. (1996). Rapid Thermal Annealing of Certain Fe-Co Spinel Oxides: Structural Modification and Magneto-Optical Properties. *Journal of the Magnetism Society of Japan*, 20(S_1_MORIS_96).S1_329–332.
19. Drogenik M., Lisjak D., Makovec D. (2005, May). The synthesis and properties of magnetic nanoparticles. In *Materials Science Forum* (Vol. 494, pp. 129–136). Trans Tech Publications Ltd.
20. Gabal, M. A. Non-isothermal decomposition of NiC_2O_4 – FeC_2O_4 mixture aiming at the production of NiFe_2O_4 . *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 64(8), 2003. 1375–1385.
21. K. Rana, P. Thakur, P. Sharma, M. Tomar, V. Gupta, A. Thakur, “Improved structural and magnetic properties of cobalt nanoferrites: influence of sintering temperature”, *Ceramics International*, vol. 41, no. 3, pp. 4492–4497, 2015.
22. Sharifianjazi, F., Moradi, M., Parvin, N., Nemat, A., Rad, A. J., Sheysi, N., ... & Asl, M. S. (2020). Magnetic CoFe_2O_4 nanoparticles doped with metal ions: a review. *Ceramics International*, 46(11), 18391–18412.
23. de Medeiros, F., Madigou, V., Lopes-Moriyama, A. L., de Souza, C. P., & Leroux, C. (2020). Synthesis of CoFe_2O_4 nanocubes. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 21, 100422.
24. Zhao, L. J., & Jiang, Q. (2010). Solvothermal synthesis of $\text{Co}/\text{CoFe}_2\text{O}_4$ nanobelts. *Materials Letters*, 64(6), 677–679.
25. Duong, H. D. T., Nguyen, D. T., & Kim, K. S. (2021). Effects of process variables on properties of CoFe_2O_4 nanoparticles prepared by solvothermal process. *Nanomaterials*, 11(11), 3056.
26. R. Ageba, Y. Kadota, T. Maeda, N. Takiguchi, T. Morita, M. Ishikawa, “Ultrasonically-assisted hydrothermal method for ferroelectric material synthesis”, *Journal of Korean Physic Society*, vol. 57, no. 4, pp. 918–923, 2010.
27. O. Sergeeva, A. Pivovarov, “Factors affecting the character of plasma discharge with electrolytic cathode at a fixed pressure”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, no. 6, p. 75, 2015.
28. L. A. Frolova, A. A. Pivovarov, E. Tsepich, “Non-equilibrium plasma-assisted hydrophase ferritization in Fe^{2+} – Ni^{2+} – SO_4^{2-} – OH^- System”, *Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies and Applications Springe*, Cham, pp. 213–220, 2016.

О. Г. ШИБАЄВ

доктор технічних наук,
професор кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»
Одеський національний морський університет
ORCID: 0000-0002-4793-6338

Г. М. СІЛЬВАНСЬКА

кандидат економічних наук,
доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень»
Одеський національний морський університет
ORCID: 0000-0002-1272-8029

С. В. КРУЧЕК

студентка
Одеський національний морський університет
ORCID: 0009-0008-4142-7330

МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ПАСАЖИРООБІГ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ КРУЇЗНИХ ЛІНІЙ

Круїзи це один з найшвидше зростаючих секторів туристичної індустрії. Швидке зростання попиту було створено зрештою, завдяки попиту з боку Північної Америки, нещодавно Європи, і, зрештою, решти світу, Китаю та Австралія зокрема. Одна з головних причин стрімкого розвитку та зростання популярності круїзів полягає в тому, що круїзні компанії успішно адаптувалися до нових туристичних тенденцій, доставляючи круїзні судна з зручностями і досвід, адаптований до потреб мандрівників з усіх сегментів ринку. Очікується, що до 2024 року світовий ринок круїзів принесе дохід у розмірі 30,11 мільярда доларів США. Дохід щорічно зростатиме на 5,05% (CAGR 2024–2028), що призведе до прогнозованого обсягу ринку в 36,67 млрд доларів США до 2028 року. Крім того, прогнозується, що до 2028 року кількість круїзерів на цьому ринку зросте до 33,43 млн.чол. Авторами була поставлена мета виявити фактори впливу на зростання круїзного ринку. Ефективне управління та оперування є ключовими для зростання ринку круїзних суден. Круїзні компанії прагнуть покращити свої послуги. Круїзна індустрія розширюється завдяки зручності, розкоші та розвагам. Круїзні компанії надають пріоритет безпеці, протоколам охорони здоров'я, щоб забезпечити позитивний досвід споживачам. Технологічний прогрес сприяє зростанню та інноваціям круїзного ринку. Представлений аналіз використовується для визначення того, які фактори впливають на операційні та маркетингові стратегії формування обсягу пасажирів, для чіткого визначення пасажирського туристичного кластеру, що веде до визначення цінової політики компанії. Стаття спрямована на аналіз факторів та виявлення їх впливу на круїзний попит на провідних світових ринках.

Маркетингові стратегії допомагають утримувати основну аудиторію, сприяючи розширенню індустрії круїзних суден. Дослідження ринку круїзів містить аналіз ключових тенденцій, які залежать від поведінки споживачів – адаптацію продуктів відповідно до вимог нових вихідних ринків і різних сегментів ринку, збільшення круїзної потужності у нових регіонах та розвитку національних круїзних брендів.

Ключові слова: морський туризм, фактори, Pax/nigth, пасажиромісткість, комфортабельність, сервіс.

O. G. SHIBAEV

Ph.D., Professor at the Department “Operation of the Fleet and Technology of Sea Transportation”
Odesa National Maritime University
ORCID: 0000-0002-4793-6338

H. M. SILVANSKAYA

PhD in Economics,
Associate Professor at the Department “Operation of the Fleet and Technology of Sea Transportation”
Odesa National Maritime University
ORCID: 0000-0002-1272-8029

S. V. KRUCHEK

Student
Odesa National Maritime University
ORCID: 0009-0008-4142-7330

METHOD OF DETECTING INFLUENCE FACTORS PASSENGER CIRCULATION IN DESIGNING CRUISE LINES

Cruises are one of the fastest growing sectors of the travel industry. The rapid growth in demand was ultimately created by demand from North America, more recently Europe, and eventually the rest of the world, China and Australia in particular. One of the main reasons for the rapid development and growing popularity of cruises is that cruise companies have successfully adapted to new travel trends, delivering cruise ships with amenities and experiences tailored to the needs of travelers from all market segments. The global cruise market is expected to generate revenue of USD 30.11 billion by 2024. Revenue will grow at a CAGR of 5.05% annually (CAGR 2024–2028), leading to a projected market size of USD 36.67 billion by 2028. Furthermore, by 2028, the number of cruisers in this market is projected to grow to 33, 43 million people. The authors set a goal to identify factors influencing the growth of the cruise market. Effective management and operations are key to the growth of the cruise ship market. Cruise lines are looking to improve their services. The cruise industry is expanding with convenience, luxury and entertainment. Cruise lines prioritize safety and health protocols to ensure a positive experience for consumers. Technological progress is driving the growth and innovation of the cruise market. The presented analysis is used to determine which factors influence the operational and marketing strategies of passenger volume formation, to clearly define the passenger tourist cluster, which leads to the determination of the company's pricing policy. The article is aimed at analyzing factors and identifying their impact on cruise demand in leading world markets.

Marketing strategies help retain the core audience, contributing to the expansion of the cruise ship industry. Cruise market research includes analysis of key trends that depend on consumer behavior – adapting products to the requirements of new source markets and different market segments, increasing cruise capacity in new regions, and developing national cruise lines brands

Key words: sea tourism, factors, Pax/nigth, passenger capacity, comfort, service.

Постановка проблеми

Метою статті є необхідність виявлення факторів впливу та формалізації моделей розгортання при плануванні маршрутів за рахунок розгортання круїзних суден на кількох світових ринках. Виявлено які фактори являються самими інформативними та ефективними для формування маршрутів перевезень. Розвиток операцій і суднобудування допомогли круїзам зробити значний економічний внесок. Високий попит і прогноз щодо кількості пасажирів сприяють майбутньому економічному внеску від круїзу. Заглядаючи вперед, очікується, що круїзний сектор наблизиться до рівня 2019 року в 2023 році з пасажирськими прогнозований обсяг досягне 27–33 мільйонів крейсерів у всьому світі.

Основні тенденції [1; 2; 13]:

1. Молоде покоління – це майбутнє круїзів 88% міленіумів і 86% мандрівників покоління X. Планують здійснити круїз знову.
2. Щоб залучити більше круїзерів, які вперше зайшли, і задовольнити потреби на повторні круїзи, круїзні лінії пропонують як коротші, так і більш тривалі круїзні маршрути. У підсумку поки середній круїз довжина якого становити близько 7 днів, але діапазон варіантів для круїзу за тривалістю розширився.
3. Зростають індивідуальні круїзні подорожі. Круїзні компанії збільшують дохід за рахунок збільшення кількості одномісних кают на нових суднах і модернізація старих суден, щоб включити додаткові каюти, призначені для тих, хто подорожує сам.

4. Прихильність круїзних мандрівників і потенційних нових мандрівників до спостереження навколишнього середовища, зросли на 50%.

5. Очікується, що флот круїзних суден членів CLIA у 2024 р. вперше перевищить 300 океанських суден. За прогнозом CLIA, круїзний туризм, ймовірно, буде досягти 106% пасажиропотоку в порівнянні з 2019 рік – у 2023 році [3; 4].

6. Кількість експедиційних круїзних подорожей до Антарктиди зросла на 51% у 2022 році, порівняно з 2019 роком. Протягом 2022 року на експедиційних суднах здійснили подорожу 137 тис. круїзних мандрівників. У 2022 році кількість пасажирів у експедиційних круїзах була майже на 70% більше, ніж у 2016 р. Заглядаючи вперед, очікується, що круїзний сектор наблизиться до рівня 2019 року. У 2023 році з пасажирськими прогнозований обсяг досягне 27–33 мільйонів крейсерів у всьому світі (рис. 1) [3; 12; 11].

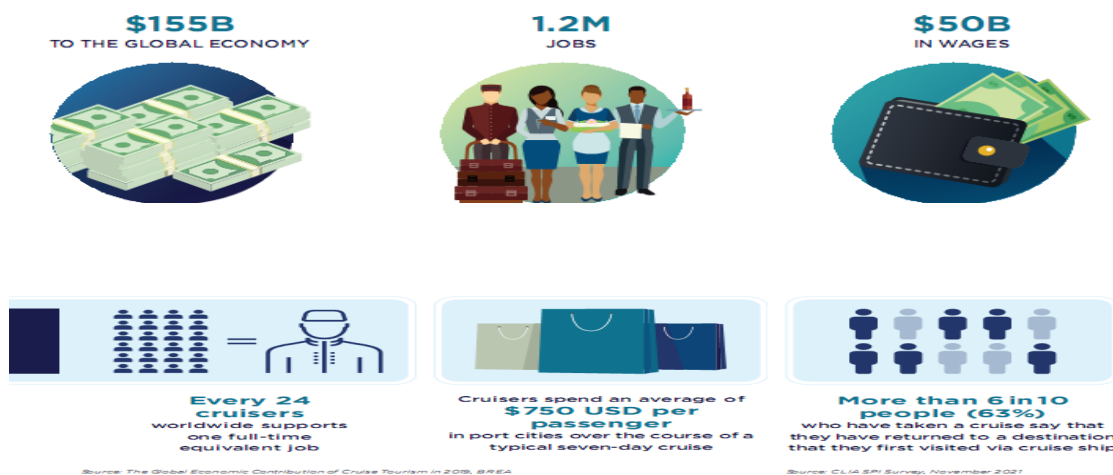


Рис. 1. Прямий вклад в економіку круїзного бізнесу. Аналіз основних джерел та публікацій [12; 13; 12]

Прогноз CLIA (січень 2023 року) свідчить, що кількість міжнародних морських туристів у 2023 році становитиме від 80% до 95%, порівняно з рівня 2019 року (рис. 2) Прогноз по кількості пасажирів (розрахунки автора на даних CLIA) [13].

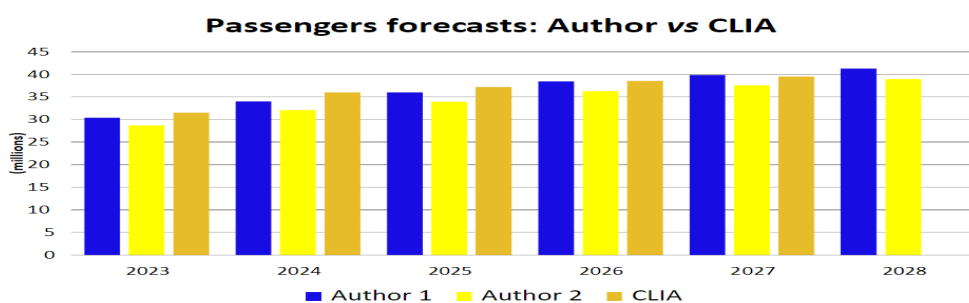


Рис. 2. Прогнозні дані по перевезеним пасажиром

На рис. 3–4 представлено авторський прогноз зростання рівня доходів на період 2023–2024 рр.

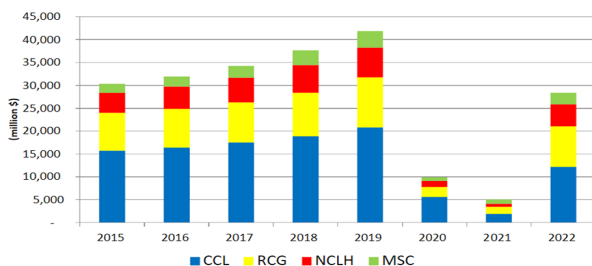


Рис. 3. Доходи 4 основних круїзних корпорацій (млн. дол.)

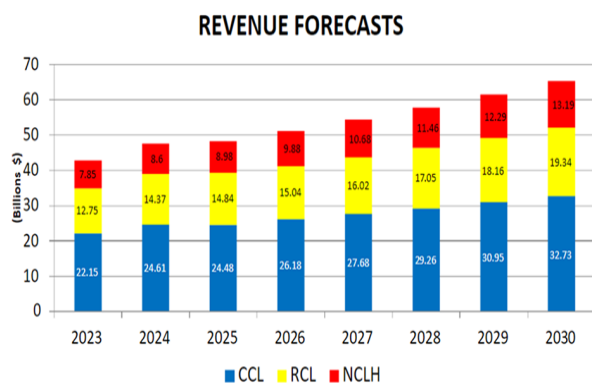


Рис. 4. Прогноз рівня доходів

Авторами проведено аналіз роботи пасажирських суден 4-х корпорацій. У статті розглядаються сучасний потенціал регіональних ринків морських круїзів, динаміка розвитку європейського ринку морських круїзів. Зазначається, що інтенсивність розвитку глобального круїзного ринку потребує пошуку ефективного механізму функціонування круїзного туризму в приморських регіонах Росії та України. Досліджено потенціал регіональних ринків морських круїзів європейських. Зроблено висновок про те, що розвиток потенціалу ринку круїзного туризму сприятиме залученню інвестицій у портову інфраструктуру, суміжні сектори економіки [8; 9]. На рис. 6 наведено дохід основних коорпорацій.

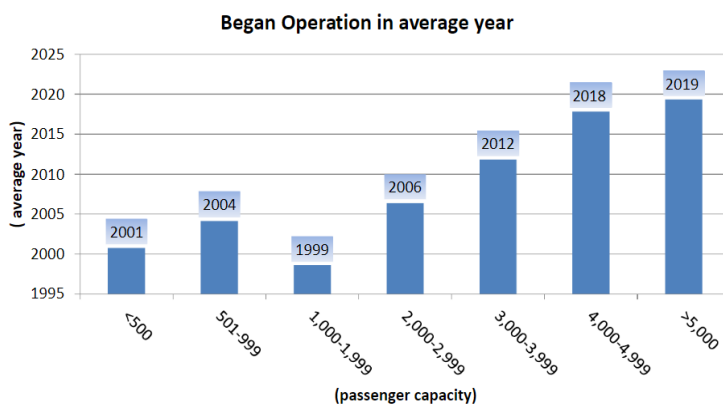


Рис. 5. Пасажиромісткість суден

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ 4 ОСНОВНИХ ГРУП КОМПАНІЙ (млн грн)

	2022	2021	...	2019
Доходи				
Пасажирський квиток	17,750	2,877		29,167
Бортові послуги та інші доходи	10,619	2,144		12,691
	28,369	5,021		41,858
Операційні витрати				
Комісії та перевезення	-4,373	-738		-6,096
Бортові та інші витрати	-2,720	-568		-3,451
Нарахування заробітної плати	-5,092	-2,973		-4,729
Паливо	-4,381	-1,160		-2,942
Харчування	-1,953	466		-2,055
Суднові та інші пошкодження	-440	976		-26
Інші операційні витрати	-6,057	-3,073		-5,555
	-25,016	-9,956		-24,855
Маркетинг, продажі та адміністрування				
Амортизація	-5,995	-4,507		-5,453
Збиток від знецінення	-4,824	-4,683		-4,404
Збиток від знецінення	-1	-308		0
Частка прибутку асоційованих підприємств	10	-5		1
	-35,825	-19,458		-34,712
Операційний прибуток				
	-7,456	-14,437		7,146

Рис. 6. Результати оперування чотирьох корпорацій за період 2019–2022 рр.

Формулювання мети дослідження

Надано інструментарій реалізації ефективного управління роботою круїзного та лінійного судноплавства – інформаційна система проведення статистичного аналізу використовувалася програма SPSS (Statistics Powerful Statistical Software platform), версії 19. Розвиток ринку та посилення конкуренції в економіці змушує судноплавні підприємства шукати конкурентні переваги. Такі переваги може забезпечити або внутрішня виробнича ефективність, або найкраща проти конкурентами орієнтація ринку. Наголосимо, що виробнича ефективність забезпечується системами управління SPSS. Треба обрати найбільш впливові фактори на пасажирообіг. Зроблено висновок, що формалізація процесу прийняття рішень за допомогою аналітичних моделей, спрямованих на надання набору інформаційних та технологічних можливостей для розвитку потенціалу ринку круїзного судноплавства. Що сприятиме ефективному розвитку економіки регіону [9; 10; 12].

Викладання основного матеріалу дослідження

Розглядає ринок круїзів за різними показниками. За допомогою бази даних круїзних суден, розробленої автором, та характеристики цих суден, були проаналізовані частки різних компаній (груп) на ринку та підтверджено олігополію цієї галузі станом на 2023 рік. Були розглянуті фінансові, економічні та статистичні дані за 2022 рік основних 4 груп компаній на ринку [10; 12; 13].

Також проведено аналіз часток компаній на ринку до 2028 року (враховуючи відомі наразі замовлення на побудову круїзних суден). В решт, були представлені прогнози щодо кількості пасажирів на круїзах в найближчі роки (2023–2028) та фінансових показників «Великої четвірки» (2023–2030 рр.) [6; 7].

Авторами створено Базу даних (БД), яка містить 445 круїзних суден (включаючи ті, що будуть випущені в 2023 році) місткістю >39 пасажирів з показниками діяльності круїзних суден у різних регіонах. Треба обрати найбільш впливові фактори на пасажирообіг [12; 11].

Система SPSS пропонує досліднику широкий набір моделей для аналізу та виявлення головних показників впливу на обраний показник. З методів кластеризації, нами був обраний **Метод виділення та Метод головних компонент**, при угрупованні об'єктів. Використовується методи **дисперсійного аналізу**. **Який уключає аналіз головних компонент** для оцінки відстаней між змінними величинами, мінімізуючи суму квадратів для будь-яких двох (гіпотетичних) кластерів, які можуть бути сформовані на кожному кроці агломерації. Нижче представлені показники, що впливають на пасажиропотік регіону. Справжній коефіцієнт детермінації моделі залежності випадкової величини у від факторів x визначається так:

$$R^2 = 1 - \frac{D[y|x]}{D[y]} = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_y^2}, \tag{1}$$

де $D[y] = \sigma_y^2$ – дисперсія випадкових величини y , (2)

а $D[y|x] = \sigma^2$ – умовна (за факторами x) дисперсія залежною змінною (дисперсія помилки моделі) [10; 11]. (3)

У цьому визначенні використовуються справжні параметри, що характеризують розподіл випадкових величин. Якщо використати вибіркочну оцінку значень відповідних дисперсій, то отримаємо формулу для вибіркового коефіцієнта детермінації (який зазвичай мається на увазі під коефіцієнтом детермінації):

$$R^2 = 1 - \frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\sigma}_y^2} = 1 - \frac{SS_{res}/n}{SS_{tot}/n} = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}, \tag{4}$$

$$SS_{res} = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{5}$$

де \sum – сума квадратів остатків регресії

y_i, \hat{y}_i – фактичні та розрахункові данні пояснювальної змінної

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = n\hat{\sigma}_y^2 \tag{6}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \tag{7}$$

y = загальна сума квадратів кореляції.

Пошаговий алгоритм:

1. Відбір спостережень для факторного аналізу надано на (рис. 2).
2. Описові статистики факторного аналізу надано на (рис. 3).
3. Обертання факторів для факторного аналізу (табл. 1).
4. Значення факторів у процедурі факторного аналізу (рис. 3).



Рис. 7. Пошаговий алгоритм виділення впливових факторів

Виділення основних компонентів. В основному процедура виділення головних компонент подібна до обертання, що максимізує дисперсію (варімакс) вихідного простору змінних. Наприклад, на діаграмі розсіювання ви можете розглядати лінію регресії як вісь X, повернувши її так, що вона збігається із прямою регресією. Цей тип обертання називається обертанням, максимізуючим дисперсію, так як критерій (мета) обертання полягає в максимізації дисперсії (мінливості) – нової змінної фактора (стовпець перший) і в другому стовпці (Власні значення) таблиці 2, ви можете знайти дисперсію нового, щойно виділеного фактора. У третьому стовпці для кожного фактора наводиться відсоток загальної дисперсії для кожного фактора. Як бачимо, перший чинник (значення 1) пояснює % (59,037) відсоток загальної дисперсії, фактор 2 (значення 17,553) – % відсотків, тощо. Четвертий стовпець містить накопичену чи кумулятивну дисперсію. Дисперсії, які виділяються факторами, названі власними значеннями. Ця назва походить з використаного способу обчислення [10; 11; 12].

Таблиця 1

Класи круїзів

Признаки/Класи круїзів	Mainstream	Premium	UltraPremium	River	LUXERY
Рах/nighth	50–150	150–250	250–500	400–500	500м1000
Пасажиromісткість	2500–3600	1500–2500	500–1000	100–250	200–500
Комфортабельність /коэф.комфорту	3–4	4–5	5	5	5+
Сервис/обслуга/ чол.	1/2	1/2	2/1	2/1	3/1
Регіон плавання	Каріби, Середземноморья, Азия	Каріби, Середземноморья, Азия, Аляска	Світові круїзи	Маленькі порти, нові маршрути	Екзотика, Аляска

Рис. 8. Структура Базы данных

При повторних ітераціях ви виділяєте фактори з дедалі меншою та меншою дисперсією. Для простоти викладу вважаємо, зазвичай робота починається з матриці, у якій дисперсії всіх змінних дорівнюють 1.0. Тому загальна дисперсія дорівнює числу змінних.

Основні фактори впливаючі на формування пасажирообігу круїзів (потребительський сегмент) (табл. 1). Структура Базы данных на якій проводилось дослідження представлена на рис. 8.

У Таблиця 3 надано повну поясненна дисперсія-початкові власні значення, початкові власні значення, суми квадратів навантажень обертання, % дисперсії, кумулятивний %.

Рис. 9. Фрагмент данных для статистики

Таблиця 2

Описові дані статистики

Назва факторів впливу	Середнє	Стд. відхилення	Анализ N
Тарифна ставка	331,03	176,480	29
Пасажиrhoбiг	4715,3448	12000,59403	29
Комфорт	4,24	,786	29
Тонаж	155720,45	192621,870	29
Сезонність	2,72	1,533	29
Region	2,21	1,177	29

Таблиця 3

Повна поясненна дисперсія

Компонента	Початкові власні значення Начальні власні значення			Суми квадратів навантажень обертання		
	Разом	% Дисперсії	Кумулятивний %	Разом	% Дисперсії	Кумулятивний %
1	3,542	59,037	59,037	3,007	50,118	50,118
2	1,053	17,553	76,589	1,153	19,220	69,338
3	,715	11,912	88,502	1,150	19,164	88,502
4	,307	5,110	93,612			
5	,271	4,510	98,123			
6	,113	1,877	100,000			

Метод виділення: Аналіз головних компонент (табл. 4).

Таблиця 4

Метод виділення: Аналіз методом главных компонент

Компонента	1	2	3
1	,892	-,239	,383
2	,348	,905	-,246
3	-,288	,353	,890

Метод обертання: Варімакс з нормалізації Кайзера (рис. 10).



Рис. 10. Виділенні фактори впливу

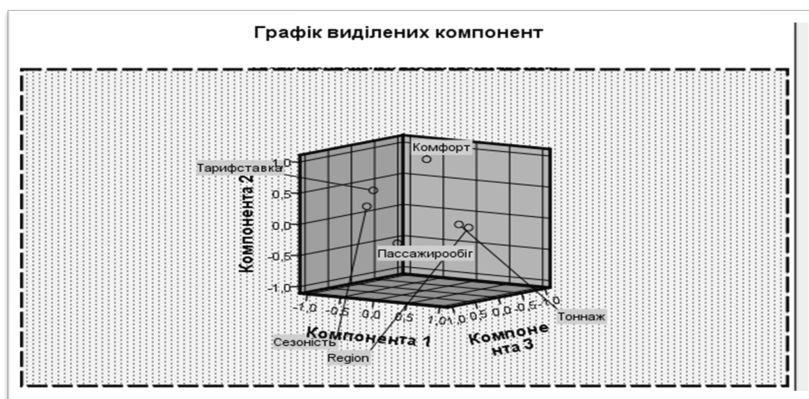


Рис. 11. Виділенні фактори впливу по компонентах

Нами було представлено набір головних показників впливу на пасажиро обіг – це Тарифна ставка, комфортабельність (коефіцієнт), тоннаж судна. Регіон оперування, сезонність. Методом виділення у дисперсійному аналізі, методом головних компонент, були встановлені слідкуючі фактори впливу на показник:

- Тарифна ставка, яка характеризує клас круїзу (50,118%).
- Тоннаж судна (19,220%).
- Сезонність (19,164%). Поблизу розташовується регіон оперування.

Комутативність – сама велика у другого фактора. Тобто його інформативність найбільша. Найбільш інформаційно впливовий показник (рис. 11).

Використовуючи дисперсію як змінну, що характеризує поведінку процесу, можна побудувати математичну модель, яка описує динаміку дисперсії. Така модель дає можливість прогнозувати значення дисперсії на задане число кроків і приймати рішення на основі цього прогнозу.

Дисперсію також використовують у системах статистичного аналізу якості продукції. невід’ємна складова сучасного виробництва, оскільки вона забезпечує неперервний контроль та підвищення якості послуг.

Висновки

Надано прогноз моделей розгортання та складне планування маршрутів за рахунок розгортання круїзних суден на кількох світових ринках.

Виявлено які фактори являються самими інформативними для формування маршрутів перевезень.

По-перше, круїзні компанії пропонують маршрути, в яких ціле значно більше, ніж сума його частин. Конкретний регіональний та культурний досвід пропонується завдяки поєднанню часу плавання та вибору портів заходу.

По-друге, вони адаптуються до сезонних та фундаментальних змін попиту, змінюючи становище своїх суден (сезонно) та змінюючи конфігурацію заходів у порти (фундаментально). Основна стратегія деяких круїзних компаній полягає не в тому, щоб пропонувати фіксовані маршрути в залежності від сезону, а в тому, щоб регулярно переміщати свої круїзні судна з одного регіону до іншого у певні періоди календарного року.

Разом з тим, успішний розвиток індустрії туризму безпосередньо залежить від вироблення ефективної регіональної політики у сфері пасажирських перевезень, виважених стратегічних планів та вивіренних за термінами та ресурсами цільових програм розвитку туризму. Таким чином, створено ефективний інструмент прогнозу. Надано прогноз моделей розгортання та складне планування маршрутів за рахунок розгортання круїзних суден на кількох світових ринках.

Ці результати мають першочергове значення для формування цінової політики компанії та послуг в індустрії круїзних ліній, які базуються на формалізації поняття «клас круїзу». Наведено алгоритм за допомогою якого проходить виявлення і розрахунок тарифної ставки яка являється Базовим показником «класу перевезення». Стаття покликана продемонструвати можливість проектування круїзних ліній за допомогою методів – **Метод виділення** та **Метод головних компонент**, при угрупованні об’єктів, аналізу. Разом з тим, успішний розвиток індустрії туризму безпосередньо залежить від вироблення ефективної регіональної політики у сфері пасажирських перевезень, виважених стратегічних планів та вивіренних за термінами та ресурсами цільових програм розвитку туризму. Таким чином, створено ефективний інструмент прогнозу обсягу круїзних перевезень.

Список використаної літератури

1. Мельник І.Л. Інноваційні зміни на ринку круїзного туризму / І. Л. Мельник // Бізнес Інформ. 2014. No 12. С. 313–319.
2. Лесник А.С. Управление портом в условиях конкуренции // Судостроение. 2000. No 9 С. 31–32.
3. Boeche D. M., & Cruz L. B. Corporate social responsibility, product differentiation strategy and export performance. *Journal of Business Ethics*, 91, 325-346. <http://dx.doi.org/10.1007/s10551-010-0613-z>. 2010.
4. Krugman P. R. Scale economies, product differentiation and the pattern of trade. *American Economic Review*, 70, 950–959. 2012.
5. Holcombe R. G.. Product Differentiation and Economic Progress. *The Quarterly Journal of Austrian Economics*, 12(1), 17–35. 2009.
6. Шибяев А. Г., Сильванская Г. Н. Пассажирские перевозки: учеб. пособие / А. Г. Шибяев, Г. Н. Сильванская : под ред. д.т.н., проф. А. Г. Шибяев. Одесса: Феникс, 2013. С. 336. УДК656.614.2(076.8)ББК 39.48я73 . ISBN 978-966-438-593-7.
7. Gulliksen V. The cruise industry. *Society*, 45, 342–344. <http://dx.doi.org/10.1007/s12115-008-9103-7>. 2008.
8. Head K., & Reis J. Increasing returns versus national product differentiation as an explanation for the pattern of U.S. Canada trade. *American Economic Review*, 91(4), 858–876. <http://dx.doi.org/10.1257/aer.91.4.858>. 2001.
9. Farakhutdinov Sh. F., Bushuyev A.S. Processing and Analysis of Sociological Research Data in the SPSS 17.0 Package. Course of lectures : tutorial / Sh. F. Farakhutdinov, A. S. Bushuyev. – Tyumen : TyumSOGU, – 220 p. ISBN 978-5-9961-0414-7. 2011.
10. Устінова Г. М. Інформацій системи менеджменту. Основні аналітичні технології у системі підтримки прийняття рішень. Москва: DIASOFT, 2000. С. 364. SBN: 5-93772-001-6.
11. Сильванська Г.Н., Карп Г.В. Кластерний аналіз як інструмент сегментації круїзних ліній. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.И Вернадського. Київ. 2021р Серія Технічні Науки .Том 32(71) N 6 .С. 239.
12. STATE OF THE CRUISE INDUSTRY https://cruising.org/-/media/clia-media/research/2023/clia_state-of-the-cruise-industry-report-sept-2023-update/

References

1. Mel'nik I.L. (2014) Innovatsiyni zmini na rinku kružnogo turizmu / I. L. Mel'nik // *Biznes Inform.* № 12. S. 313–319 [in Ukrainian].
2. Lesnik A.S. (2000) *Upravlenie portom v usloviyakh konkurentsii* // *Sudokhodstvo.* № 9 pp. 31–32 [in Ukrainian].
3. Boehe D. M., & Cruz L. B. (2010) Corporate social responsibility, product differentiation strategy and export performance. *Journal of Business Ethics* № 91, pp. 325–346. <http://dx.doi.org/10.1007/s10551-010-0613-z>.
4. Krugman P. R. (2012) Scale economies, product differentiation and the pattern of trade. *American Economic Review* № 70, pp. 950–959. 2012.
5. Holcombe R. G. (2009) Product Differentiation and Economic Progress. *The Quarterly Journal of Austrian Economics*, 12(1), pp. 17–35.
6. Shibaev A. G., Sil'vanskaya G. N. (2013) *Passazhirskie perezovzki: ucheb. posobie* / A. G. Shibaev, G. N. Sil'vanskaya : pod red. d.t.n., prof. A. G. Shibaev. Odessa: Feniks, pp. 336. UDK656.614.2(076.8)BBK 39.48ya73 . ISBN 978-966-438-593-7 [in Ukrainian].
7. Gulliksen V. (2008) The cruise industry. *Society*, 45, 342–344. <http://dx.doi.org/10.1007/s12115-008-9103-7>.2008.
8. Head K., & Reis J. (2001) Increasing returns versus national product differentiation as an explanation for the pattern of U.S. Canada trade. *American Economic Review*, 91(4), 858-876. <http://dx.doi.org/10.1257/aer.91.4.858>.
9. Farakhutdinov Sh. F., Bushuyev A.S. (2011) *Processing and Analysis of Sociological Research Data in the SPSS 17.0 Package. Course of lectures : tutorial* / Sh. F. Farakhutdinov, A. S. Bushuyev. – Tyumen : TyumSOGU, pp-220. ISBN 978-5-9961-0414-7.
10. Ustinova G. M. (2000) *Informatsionnye sistemy menedzhmenta. Osnovnye analiticheskie tekhnologii v podderzhke prinyatiya resheniy.* Moskva: DIASOFT, pp. 364. SBN: 5-93772-001-6.
11. Sil'vans'ka G.N., Karp G.V. (2021) *Klasterniy analiz yak instrument segmentatsii kružnikh liniy. Vcheni zapiski Tavriys'kogo natsional'nogo universitetam imeni V.I Vernads'kogo.* Kiiv. 2021r Seriya Tekhnichni Nauki . Tom 32(71) № 6. pp. 239 [in Ukrainian].
12. STATE OF THE CRUISE INDUSTRY (2023) https://cruising.org/-/media/clia-media/research/2023/clia_state-of-the-cruise-industry-report-sept-2023-update/

О. Ю. ЮРЧЕНКОаспірант
Сумський державний університет
ORCID: 0000-0002-3047-6654**В. І. СКЛАБІНСЬКИЙ**доктор технічних наук, професор
Сумський державний університет
ORCID: 0000-0001-9388-5861**О. Г. ГУСАК**кандидат технічних наук, професор
Сумський державний університет
ORCID: 0000-0003-4372-5776

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКЕЛУ РОЗПИЛУ НА ВИХОДІ З КОРЗИНИ ОБЕРТОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГРАНУЛЯТОРА

Обертання корзини вібраційного гранулятора мінеральних добрив веде за собою певні характерні особливості в проведенні експериментального дослідження. Це пов'язано, в першу чергу, з дослідженням внутрішньої гідродинаміки такої установки. Крім того, основний процес, що спостерігають, – факел розпику речовини певного структурованого складу залежить від тих особливостей, дослідження впливу яких може бути проблематичним. У даній роботі представлено структуру експериментального стенду вібраційного обертового гранулятора та методологію проведення експерименту. Встановлено, що мінімально необхідний структурний набір елементів як в конструкції стенду, так і з точки зору інструментів дає можливість чіткого визначення залежності зміни факелу розпику від частоти накладених вібрацій, кількості обертів корзини гранулятора та витрати рідини. Практична значимість приведеної методики проведення експерименту дає можливість отримання графіків залежності кожної зі змінних з метою аналізу закономірностей зміни стану продукту. Водночас, отримані результати можуть бути використаними для розрахунку нового грануляційного обладнання, а також при вивченні відповідних дисциплін. Зміна, наприклад, швидкості обертання корзини гранулятора несе за собою зміну факелу розпику на її виході. Аналогічним чином, зміна частоти вібрації або рівня стовпа рідини несуть відповідний вплив. Особливо важливо це при визначенні розміру гранул при отриманні готового продукту. Тому, представлений в роботі стенд з набором відповідних функцій та структурних елементів при виконанні операцій гранулювання вимагає окремого етапу вивчення з метою отримання відповідних залежностей кінцевого продукту від перебігу основних процесів.

Ключові слова: гранулятор, стенд, експериментальне дослідження, методика, рівень стовпа рідини, частота вібрацій, швидкість обертання, гранули, корзина, витрата рідини, сигналізація.

O. YU. YURCHENKOPostgraduate Student
Sumy State University
ORCID: 0000-0002-3047-6654**V. I. SKLABINSKYI**Doctor of Technical Sciences, Professor
Sumy State University
ORCID: 0000-0001-9388-5861**O. G. GUSAK**Candidate of Technical Sciences, Professor
Sumy State University
ORCID: 0000-0003-4372-5776

METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL STUDY OF THE SPRAY TORCH AT THE EXIT OF THE BASKET OF A ROTARY VIBRATING GRANULATOR

The rotation of the basket of the vibrating granulator of mineral fertilizers entails certain characteristic features in the conduct of experimental research. This is primarily related to the study of the internal hydrodynamics of such an installation. In addition, the main process that is being observed – the torch atomization of a substance of a certain

structured composition depends on those features, the study of the impact of which can be problematic. This paper presents the structure of the experimental stand of the vibrating rotary granulator and the methodology of conducting the experiment. It was established that the minimally necessary structural set of elements, both in the design of the stand and from the point of view of the tools, makes it possible to clearly determine the dependence of the change of the spray torch on the frequency of the imposed vibrations, the number of revolutions of the granulator basket and the flow of liquid. The practical significance of the given method of conducting the experiment makes it possible to obtain graphs of the dependence of each of the variables in order to analyze the patterns of changes in the state of the product. At the same time, the obtained results can be used for the calculation of new granulation equipment, as well as in the study of relevant disciplines. A change, for example, in the speed of rotation of the granulator basket entails a change in the spray torch at its exit. Similarly, changes in the frequency of vibration or the level of the liquid column have a corresponding effect. This is especially important when determining the size of the granules when obtaining the finished product. Therefore, the stand presented in the work with a set of relevant functions and structural elements during the performance of granulation operations requires a separate stage of study in order to obtain the appropriate dependences of the final product on the course of the main processes.

Key words: granulator, stand, experimental study, technique, liquid column level, vibration frequency, rotation speed, granules, basket, liquid flow, signaling.

Постановка проблеми

При розрахунках та випробуваннях грануляційного обладнання важливе місце має правильний розподіл методів та засобів проведення експериментів. Для прикладу, розроблені в роботі [1] рекомендації щодо необхідності врахування перелічені фактори для гідродинамічних розрахунків процесів, які протікають як у кошику гранулятора, так і при руху гранул в робочому просторі грануляційної башти, використано з метою розробки методу розрахунку траєкторії руху гранул для використання в реальних промислових умовах із метою рівномірного розподілу гранул по перетину башти, чим буде забезпечено однакові умови контакту гранул з повітрям, що охолоджує гранули і впливає на якість гранульованого продукту.

Проведення будь-якого експериментального дослідження базується на певному теоретичному та практичному досвіді, набутому під час опрацювання певних джерел інформації. Якісно налаштований стенд є одним із ключових інструментів при проведенні експерименту. Говорячи про обертовий вібраційний гранулятор мінеральних добрив, слід указати, що дана конструкція установки не є новою. Цим характеризується стандартна обертова система, що підлягає накладенню вимушених коливань з одночасною можливістю регулювання витрати рідини, що вимірюється в м³/год, та регулювання частоти обертання корзини гранулятора. Водночас, доповнений експериментальний стенд має у своєму складі лопатеву систему.

В результаті, чіткий аналіз факелу розпилу на виході з корзини обертового вібраційного гранулятора є можливим за зняття замірів з одночасним регулюванням кількох параметрів, що і є змінними. До таких параметрів відносяться:

- частота вібрацій, Гц;
- кількість обертів корзини гранулятора, об/хв;
- витрата рідини м³/год.

Слід врахувати, що останнім характеризується такий показник, як рівень стовпа рідини в грануляторі, що підлягає регулюванню за допомогою напірного крану при подачі речовини до грануляційної башти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Великі оберти корзини є необхідною умовою для створення великого факелу розпилу плаву аби рівномірно розподілити краплі по усьому перетину башти. При цьому, великі оберти корзини призводитимуть до збільшення відносних швидкостей у струменів плаву і повітря у башті, а це приведе до додаткового вторинного дроблення крапель. Крім того, відбудеться поява так званих «супутників» і погіршиться гранулометричний склад продукту. Згодом, можна вважати, що додатковий тиск в забезпеченні широкого факелу розпорощення плаву можливо створити при лопатевій системі [2].

Основою для високоякісної роботи ОВГ є процес розпорощення струменів плаву, що витікають із отворів кошику та поділяються на краплі. Обов'язковою умовою, при цьому, є наявність якомога ближчого до монодисперсного грануляційного складу. У подальшому такі краплі взаємодіють з холодним потоком повітря і це призводить до їхньої кристалізації, охолодження. На даному етапі велике значення має вірна організація гідродинаміки повітряного потоку, який впливає як на процеси теплообміну між гранулами та повітрям, так і на швидкість руху гранул та на напрямок цього руху [3]. В черговий раз підкреслено, що додатковий тиск в забезпеченні широкого факелу розпилу плаву створюють за допомогою лопатевої системи у внутрішньому просторі корзини ОВГ [4].

В роботі [5] указано, що діаметр та розміщення отворів у корзині гранулятора із додатковим фактором, таким як швидкість обертання кошику гранулятора, впливають на діаметр факелу розпилу плаву. Підкреслено, що це є важливим тоді, коли башта матиме форму прямокутника і завширшки буде малою. Приведені деякі аспекти в роботі [6] теоретичних досліджень є основою подальших робіт по вдосконаленню методів з розрахунку діаметру

струменя рідини, а також зміни радіуса струменя уздовж його осі з виходом на створення методик з прогнозування форми струменю до його розпаду на краплі. Дослідження [7] містить розрахунки, що представляють актуальність при аналізі роботи вібраційних грануляторів для промислових масштабів з метою оцінки їх грануляційного складу продукту.

Взявши до уваги вище сказане, є підтвердження необхідності опису методики проведення експерименту при дослідженні факелу розпилу на виході з корзини гранулятора.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є опис експериментального стенду та набору необхідних пристроїв для вимірювання факелу розпилу в залежності від кількості обертів корзини гранулятора, частоти накладених вібрацій та витрати рідини.

Викладення основного матеріалу дослідження

Стандартно відома схема обертового вібраційного гранулятора мінеральних добрив, що представлення і джерелах літературного огляду, містить такі основні структурні елементи:

- вібраційний пристрій;
- підшипники;
- патрубок для входу плаву;
- корпус;
- перфоровану корзину;
- розподільник;
- додаткові лопатки.

Однак, з метою проведення саме вимірювань, а, отже, опису в даній роботі методики проведення експериментальних досліджень, доцільно показати загальну систему обертаючої установки та набору структурних елементів вимірювання та необхідного забезпечення (рис. 1).



Рис. 1. Схема експериментального дослідження: 1 – експериментальний стенд обертового вібраційного гранулятора; 2 – пост керування стендом; 3 – пост керування накладеною частотою вібрацій; 4 – мірна лінійка; 5 – стробоскоп

Пост керування експериментальним стендом включає в себе кнопкові пости, засоби сигнальної арматури (світлова сигналізація) та датчики. На рис. 2 представлено пост керування, де одразу позначено світлову сигналізацію про подачу електричної енергії до силового кола (позначення 1) та подачу електричної енергії до кола керування (позначення 2). При цьому слід зазначити, що вмикання і вимикання кола керування відбувається з одночасною сигналізацією. Аналогічним чином працюють позначені цифрами 3 та 4 кнопкові пости з відповідною світловою сигналізацією про вмикання та вимикання насоса для накачування рідини та електродвигуна приводу обертання корзини гранулятора. Цифрою 5 позначено пост регулювання швидкості обертання корзини гранулятора з відповідним відображенням дійсних показників на табло. Показник витрати рідини відображається на пості керування стендом під цифрою 6, а цифрою 7 позначено індикацію рівня стовпа рідини в грануляторі.



Рис. 2. Пост керування експериментальним стендом: 1 – світлова індикація про подачу напруги до силового кола; 2, 3, 4 – кнопкові пости зі світловою індикацією про вмикання/роботу/вимикання відповідно стенду, насосу, обертання корзини; 5 – регулювання обертів корзини; 6 – показник витрат рідини; 7 – рівень стовпа рідини

Як показано на рис. 1, основними об'єктами при виконанні експерименту є безпосередньо процес грануляції мінеральних добрив та паралельні заміри факелу розпилу. З метою регулювання швидкості обертання корзини гранулятора використано ручне керування на посту стенду (рис. 3, А). Регулювання частоти накладених вібрацій відбувається шляхом використання поста-випромінювача частот (рис. 3, Б).

Основна функція при виконанні експерименту полягає в знятті показників факелу розпилу з одночасними поступовими змінами в регулюванні частоти та швидкості обертання. Відповідним чином, останні дві змінні фіксуються як упродовж усього експерименту відповідним виконавцем, так і відображаються кожен на відповідному табло. Водночас, показник витрат рідини, що вимірюється в $\text{м}^3/\text{год}$, відображається на табло поста керування експериментальним стендом (рис. 4, А). Зміна даного показника призводить до зміни рівня стовпа рідини (рис. 4, Б). Внаслідок послідовного циклу експериментів є можливість вистроїти залежність факелу розпилу на виході з корзини гранулятора від указаних показників.



Рис. 3. Регулювання параметрів експериментальної установки:
А – обертання корзини гранулятора, об/хв; Б – частота вібрацій, Гц



Рис. 4. Контрольовані параметри системи:
А – витрата рідини $\text{м}^3/\text{год}$; Б – рівень стовпа рідини в грануляційній башті

Варто відмітити, що зі зміною хоча б однієї з указаних характеристик відбувається зміна довжини суцільного струменю на виході з корзини. Відповідним чином, методика проведення експерименту базується на послідовному повторі експерименту після дослідження факелу розпилу або з одночасним визначенням як факелу розпилу, так і довжини суцільного струменю.

Головним завданням в досліджуваній установці є отримання монодисперсних гранул. В такий спосіб завдання експериментального дослідження включає в себе третій (після факелу розпилу та довжини суцільного струменю)

експеримент по визначенню розміру гранули. Можливим є, як і в дослідженні довжини суцільного струменю, визначення одразу трьох даних показників при зміні кількості обертів, частоти вібрації і витрат речовини.

Визначення розміру гранули здійснюється за рахунок використання мірної лінійки, яка використовується з метою також визначення факелу розпилу, а також стробоскопу. За рахунок останнього є можливість наочної фіксації проходження струменю рідини на виході з корзини гранулятора і визначення розміру гранули з відповідною фотофіксацією. Подібний експеримент виконується при зміні вище перерахованих показників з метою отримання статистичних даних та побудування відповідних графіків залежності розміру гранули від, наприклад, частоти накладених вібрацій.

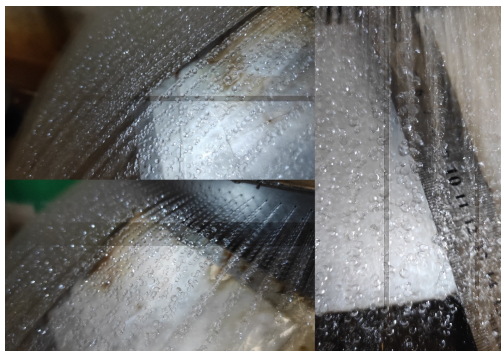


Рис. 5. Експериментальне визначення розміру гранул

Висновки

В роботі представлено методику проведення експериментального дослідження стенду гранулювання. Розглянуто структуру технологічної установки та відповідного забезпечення. Визначено послідовність проведення експериментального дослідження шляхом зміни трьох основних параметрів – швидкості обертання корзини гранулятора, частоти вібрацій та рівня стовпа рідини. Отримані залежності факелу розпилу, розміру гранули та довжини суцільного струменю слугуватимуть для будування відповідних діаграм як у двовимірному, так і в тривимірному просторі.

Список використаної літератури

1. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Вплив гідродинамічних та механічних чинників на формування гранул у грануляційній башті використанням обертового вібраційного гранулятора. *Праці ТДАТУ*, 2023. Вип. 23. Том 1. 2023. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-96-103
2. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Основні принципи корегування процесів у обертовому вібраційному грануляторі мінеральних добрив. *Modern Movement of Science: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Internet Conference*, October 19–20, 2023. FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine, 602–603 с.
3. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Моделювання дії гідродинамічних та механічних чинників на формування гранул у грануляційній башті обертового вібраційного гранулятора. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Запоріжжя, 01–24 листопада 2023 р. 16–18 с.
4. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Теоретичний аналіз дії механічних та гідродинамічних чинників на утворення крапель у вібраційному грануляторі. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Запоріжжя, 01–24 листопада 2023 р. 22–24 с.
5. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Вплив форми днища вібраційного гранулятора мінеральних добрив на основні параметрів технологічного процесу. *XXIII Міжнародна науково-технічна конференція АС ППГ «Промислова гідравліка і пневматика»*. Київ, 15–16 грудня 2022 р. : м-ли конф. «Глобус-Прес», 2023. – 164–166 с.
6. Юрченко О.Ю., Скиданенко М.С., Гусак О.Г., Склабінський В.І., Вплив гідродинаміки внутрішніх течій у корзині вібраційного гранулятора на струмені плаву. *IX Всеукраїнська науково-технічна конференція*. Суми, 19–22 квітня 2022 р. СумДУ. 2022. 170–171 с.
7. Yurchenko, O.Y., Ostroha, R.O., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G., Bocko, J. Formation of Liquid Droplets at the Prilling Bucket Outlet Under Free Oscillations of the Liquid Jet. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2_18

References

1. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). Influence of hydrodynamic and mechanical factors on the formation of granules in a granulation tower using a rotating vibrating granulator. *Proceedings of TDATU*, Vol. 23. Volume 1. 2023. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-96-103
2. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). The main principles of adjusting processes in the rotating vibrating granulator of mineral fertilizers. *Modern Movement of Science: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Internet Conference*, October 19-20, 2023. FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine, pp. 602–603.
3. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). Modeling of the effect of hydrodynamic and mechanical factors on the formation of granules in the granulation tower of a rotating vibrating granulator. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the V International. science and practice Internet conferences* (Zaporizhia, November 1–24, 2023). pp. 16–18.
4. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). Theoretical analysis of the effect of mechanical and hydrodynamic factors on the formation of droplets in a vibrating granulator. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the V International. science and practice Internet conferences* (Zaporizhia, November 1–24, 2023). pp. 22–24.
5. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). The influence of the shape of the bottom of the vibrating granulator of mineral fertilizers on the main parameters of the technological process. *XXIII International scientific and technical conference of AS PGP "Industrial hydraulics and pneumatics"*. Kyiv, December 15–16, 2022: M-ly Conf. "Globus-Press". pp. 164–166.
6. Yurchenko, O.Y., Skydanenko M.S., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2022). The influence of the hydrodynamics of internal currents in the basket of a vibrating granulator on the water jet. *IX All-Ukrainian Scientific and Technical Conference*. Sumy (April, 19–22). Sumy State University. pp. 170–171.
7. Yurchenko, O., Ostroha, R., Sklabinskyi, V., Gusak, O., Bocko, J. (2023). Formation of Liquid Droplets at the Prilling Bucket Outlet Under Free Oscillations of the Liquid Jet. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2_18

Ю. В. ЮРЧЕНКО

інженер-технолог I категорії
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0001-9253-009X

О. М. СУЧЕК

провідний інженер
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0002-8961-3887

В. А. КУРИЛО

завідувач групи
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0003-0790-9404

О. В. СІОРА

науковий співробітник
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0003-1927-790X

М. В. СОКОЛОВСЬКИЙ

провідний інженер
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0003-3243-5060

А. В. БЕРНАЦЬКИЙ

кандидат технічних наук, старший дослідник,
завідувач відділу
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
Національної академії наук України
ORCID: 0000-0002-8050-5580

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛАСКИХ ТА ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗРАЗКІВ З ТОНКОЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО ЗВАРЮВАННЯ

Технології лазерного зварювання тонколистових матеріалів широко використовуються у багатьох галузях промисловості, таких як атомна, автомобілебудівна, космічна, авіаційна, суднобудівна та інші. Ця різноманітність використання технології лазерного зварювання вимагає стандартизації під час виготовлення контрольних зварних з'єднань. Однак результати проведених досліджень дуже відрізняються та не піддаються систематизації. Раніше приділялося мало уваги до проблеми виготовлення спеціалізованого технологічного обладнання для створення контрольних зварних з'єднань. Згідно із ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 «Технічні умови й атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 11. Електронно-променеве та лазерно-променеве зварювання», перед атестацією технології лазерного зварювання необхідно створити контрольні зразки зварних з'єднань заданих форм та розмірів. Це ставить перед нами виклик у розробці, виготовленні та апробації необхідного технологічного обладнання. Метою роботи стало створення уніфікованого технологічного обладнання для підготовки контрольних зварних з'єднань тонколистових матеріалів для подальшої атестації технології лазерного зварювання. Розроблено конструкторську документацію (ескізний проєкт) для цього технологічного обладнання, спрямованого на виготовлення контрольних зразків. Представлена в цій статті струбуцина розроблена спеціально для того, щоб зварювати деталі з тонколистового матеріалу як плоскої, так і циліндричної форми. Вона забезпечує стабільний тепловідвід від зони зварювання завдяки використанню притискового мідного холодильника, що в свою чергу запобігає утворенню дефектів шва, таких як про-

різи та непровари. Також завдяки вузькому пазу газоподачі на планці тепловідводу можливе максимально близьке розташування притискачів до кромки листа, що забезпечує його рівномірне притискання на всій довжині.

Ключові слова: лазерне зварювання, тонколистові матеріали, атестація процедури лазерного зварювання, технологічне обладнання.

YU. V. YURCHENKO

Engineer-Technologist 1st Category
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0001-9253-009X

O. M. SUCHEK

Lead Engineer
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0002-8961-3887

V. A. KURYLO

Group Leader
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0003-0790-9404

O. V. SIORA

Researcher
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0003-1927-790X

M. V. SOKOLOVSKIYI

Lead Engineer
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0003-3243-5060

A. V. BERNATSKIYI

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Department Head
E. O. Paton Electric Welding Institute
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0002-8050-5580

DEVELOPMENT OF LABORATORY EQUIPMENT FOR MANUFACTURE OF FLAT AND CYLINDRICAL SAMPLES FROM THIN SHEET MATERIAL USING LASER WELDING TECHNOLOGY

Laser welding technologies for thin-sheet materials are widely used in many industries, such as nuclear, automotive, space, aviation, shipbuilding, and others. This diversity of laser welding applications requires standardization in the production of test welds. However, the results of the studies conducted are very different and cannot be systematized. Previously, little attention was paid to the problem of manufacturing specialized technological equipment for creating test welded joints. According to DSTU EN ISO 15614-11:2015 "Technical specifications and certification of welding technology for metal materials. Testing of welding processes. Part 11. Electron Beam and Laser Beam Welding", before the certification of laser welding technology, it is necessary to create control samples of welded joints of specified shapes and sizes. This poses a challenge to us in the development, manufacture and testing of the necessary technological equipment. The aim of the work was to create unified technological equipment for the preparation of test welded joints of thin-sheet materials for further certification of laser welding technology. The design documentation (preliminary design) for this technological equipment aimed at manufacturing test samples was developed. The clamp presented in this article is designed specifically for welding parts made of thin sheet material, both flat and cylindrical. It ensures stable heat removal from the welding zone due to the use of a pressure copper cooler, which in turn prevents the formation of weld defects such as gaps and underwelds. Also, thanks to the narrow gas supply groove on the heat sink bar, it is possible to position the clamps as close as possible to the edges of the sheet, which ensures its uniform pressing along the entire length.

Key words: laser welding, thin-sheet materials, certification of the laser welding procedure, technological equipment.

Постановка проблеми

Перед впровадженням технології лазерного зварювання необхідно пройти атестацію згідно з чинним стандартом ДСТУ EN ISO 15607:2019 «Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Загальні правила». Зазначений стандарт передбачає кілька способів атестації технології лазерного зварювання, зокрема: атестація на основі випробування технології зварювання, атестація на основі досвіду у зварюванні, атестація на основі стандартної технології зварювання та атестація на основі зварювального випробування до виробництва. Результати атестації фіксуються у відповідному протоколі, на основі якого виробник або експертний орган розробляє технологічну інструкцію лазерного зварювання для конкретного типу продукції.

Найбільш поширений метод атестації технології лазерного зварювання базується на випробуванні. Стандарт ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 «Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 11. Електронно-променеве та лазерно-променеве зварювання» визначає процедуру цього типу атестації. Специфікації включають в себе вимоги до кваліфікаційних випробувань, форми та розмірів контрольних зварних з'єднань, обсягів та видів контролю, а також місця та розмірів дослідних зразків. Згідно з цим стандартом, необхідно виготовляти зразки певної форми та з розмірами, що визначені мінімальними. Це створює проблему для розробки та виготовлення необхідного технологічного обладнання та підготовки контрольних зварних з'єднань у процесі атестації технології лазерного зварювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В економіках найбільш розвинених країн важливою тенденцією технічного прогресу є широке використання та постійне вдосконалення нових передових технологій. До цього спектру інновацій належать і лазерні методи обробки тонколистових матеріалів, зокрема, технології лазерного зварювання [1–2]. Застосування лазерних технологій у зварюванні відіграє ключову роль у підвищенні ефективності праці та конкурентоспроможності в різних галузях промисловості [3–5]. Застосування лазерів у виробництві визначається високою якістю продукції, високою продуктивністю процесів, раціональним використанням людських і матеріальних ресурсів, а також екологічна безпека. Застосування технологій лазерного зварювання тонколистових матеріалів є широко поширеним в атомній, автомобілебудівній, космічній, авіаційній, суднобудівній та інших галузях промисловості. Використання цієї технології в таких різноманітних сферах виробництва вимагає стандартизації при виробництві контрольних зварних з'єднань. На жаль, результати проведених досліджень різняться і не можуть бути узагальнені. Раніше проблемі виготовлення спеціалізованого технологічного обладнання для створення контрольних зварних з'єднань приділялося мало уваги. Є проблеми при зварюванні тонколистових матеріалів які потрібно вирішити, а саме: необхідно забезпечити достатній газовий захист зварної ванни; точна підгонки стику перед лазерним зварюванням та відведення тепла від зони зварювання. При недостатньому стикуванні зварюваних поверхонь можливе утворення зазорів, які можуть слугувати утворенню несплавень, що є недопустимим дефектом при зварюванні тонколистових матеріалів. Також відведення тепла від зони зварювання грає велику роль, тому, що під час лазерного зварювання тонколистових матеріалів, зварюваний метал може деформуватися через дію надлишкового тепла.

Постановка завдання

Для проведення експериментальних досліджень лазерного зварювання тонколистових сталей і сплавів авторам роботи було необхідно розробити та виготовити спеціалізоване технологічне обладнання, яке повинно було бути уніфікованим і використовуватиметься для підготовки контрольних стикових зварних з'єднань передбачених ДСТУ з метою подальшої атестації технології лазерного зварювання.

Виклад основного матеріалу дослідження

За вимогами стандарту ДСТУ EN ISO 15614-11:2015 про виготовлення контрольних зварних з'єднань, було розроблено ескізний проект лабораторного устаткування для виготовлення плоских та циліндричних зразків з тонколистового матеріалу з використанням технологій лазерної обробки. На Рис. 1 представлено 3D-модель розробленого технологічного устаткування.

Відповідно до ескізного проекту було виготовлено струбцину для створення контрольних зварних з'єднань за допомогою механічної обробки, такої як фрезерування, шліфування, свердління, а також шляхом проведення зварювальних робіт.

Струбцина для зварювання плоских і циліндричних зразків складається з декількох частин та має габарити 650×170×675 мм (рис. 2). Рама 1 призначена для монтажу на ній елементів пристрою. Вона являє собою зварну конструкцію з квадратної профільної труби 25×25. З двох сторін протилежних граней приварені пластина основи 7 та пластина кріплення гвинта 8 приводу рухомого притискача 4. Для зменшення ваги конструкції рами була вибрана профільна труба. Пластини основи та пластина кріплення гвинта оброблені і мають паралельні грані. Розмір рами – 650×170×186 мм.

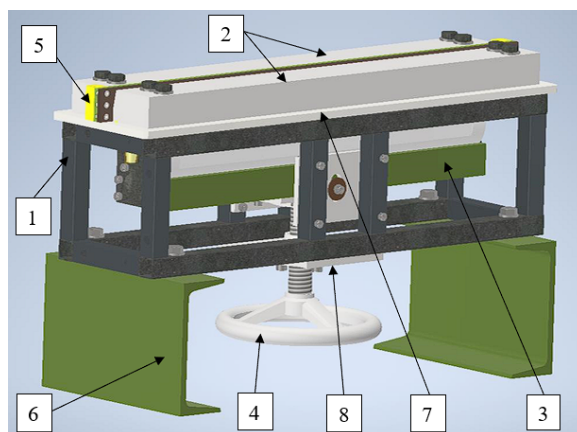


Рис. 1. 3D-модель струбцини для виготовлення плоских та циліндричних зразків з тонколистового матеріалу: 1 – рама; 2 – притискні планки; 3 – притискач внутрішній (рухомий); 4 – привід рухомого притискача; 5 – пристрій орієнтації зварного стику; 6 – опорні елементи; 7 – пластина основи; 8 – пластина кріплення гвинта

Рама 1 встановлюється на двох опорних елементах 6 зі швелера № 16, які кріпляться на монтажно-зварювальному столі. Для рівномірного прилягання зразка та уникнення його деформування під час зварювання, використовуються притискні планки 2, виготовлені зі Сталі 20 розміром 660×68×20 мм. На пластину основи встановлюються дві нерухомі притискні планки зі скосами в сторону зварного шва для безперешкодного проходження пристрою газового захисту.



Рис. 2. Струбцини для зварювання плоских та циліндричних зразків з тонколистового матеріалу

Рухомий притискач 3 являє собою циліндричний елемент виготовлений з алюмінієвого сплаву Д16Т та з нижньої сторони струбцини фіксується за допомогою гвинта. Діаметр корпусу може змінюватися в залежності від діаметра зварюваної заготовки. В корпусі прижиму наявна система газового захисту зворотної частини зварного шва, що являє собою канал подачі захисного газу та охолоджуючий елемент зварного шва. Вона забезпечує надійний захист рідкого та гарячого (з температурою понад 500°C) металу від навколишньої атмосфери. Для вставки планки газоподачі виготовлено паз та канал подачі захисного газу. В планці газової подачі виготовлено 49 отворів діаметром 2 мм для проходження захисного газу зі зворотньої сторони зварного шва. Марки захисного газу вибираються в залежності від хімічного складу зварюваних матеріалів. Захисний газ подається на внутрішню поверхню зварюваних зразків та на пляму ванни розплавленого металу лазерного променя та на зварений шов (довжина захисту шва до 90 мм). Система газової подачі обладнана штуцером під шланг діаметром 10 мм (через який подається газ). Витрати газу 4–30 л/хв, за тиском 0,01–0,25 МПа. Щоб зменшити опір при зніманні звареної циліндричної заготовки(деталі) з двох боків корпусу зроблені лиски. Габарити корпусу складають в довжину 500 мм, діаметр 81 мм та має вагу 6 кг.

В конструкцію струбцини також входять дві планки охолодження, які виготовлені з міді та мають паз 4×2 мм для подачі газу в кореневий шов заготовки(деталі) довжиною 500 мм. Отвори Ø1.5 мм для виходу захисного газу в планці газової подачі виконані спільно з отворами в планках охолодження. Планка газоподачі та охолоджуюча

планка з'єднані між собою в одну деталь. В залежності від профілю зварюваної заготовки(деталі) (пласкої чи циліндричної) планки змінюються в корпусі притискача.

Пристрій орієнтування зварного стику призначений для того, щоб виставити гарантований проміжок між стиком крайок заготовки (деталі) перед остаточним стисненням та орієнтування стику крайок вздовж осі струбцини в системі координат маніпулятора. Пристрій орієнтування виставляється в паз між нерухомими притискними планками за допомогою штирів встановлених на рамі. Між опорною планкою і притискною розташована лінійка орієнтування – сталева смуга 27×500 мм товщиною 0.15–0.35 мм, виготовлена зі сталі 65Г. Вона фіксується зусиллям стиснення між опорною і притискною планками.

Представлена в цій статті струбцина розроблена спеціально для того, щоб зварювати деталі з тонколистового матеріалу як пласкої, так і циліндричної форми. Вона забезпечує стабільний тепловідвід від зони зварювання завдяки використанню притискного мідного холодильника, що в свою чергу запобігає утворенню дефектів шва, таких як прорізи та непровари. Також завдяки вузькому пазу газоподачі на планці тепловідводу можливе максимально близьке розташування притискачів до кромки листа, що забезпечує його рівномірне притискання на всій довжині.

Висновки

Створене технологічне обладнання у вигляді спеціалізованої струбцини, яка дозволяє отримувати зразки з тонколистового матеріалу пласкої і циліндричної форми, які відповідають вимогам ДСТУ EN ISO 15614-11:2015, зі сталей і сплавів в широкому діапазоні технологічних параметрів, що робить його рекомендованим для використання під час атестації технологій лазерного зварювання для різноманітних матеріалів у різних галузях промисловості. Струбцини для зварювання, що використовувалися нами раніше, через широкий паз газоподачі не забезпечували рівномірного притискання листа та стабільного тепловідводу від зони зварювання. Це в свою чергу призводило до утворення прорізів та непроварів. Тому для усунення цих недоліків була розроблена нова струбцина для зварювання тонколистового матеріалу.

Список використаної літератури

1. Pankaj, P., Tiwari, A., Bhadra, R., & Biswas, P. Experimental investigation on CO₂ laser butt welding of AISI 304 stainless steel and mild steel thin sheets. *Optics & Laser Technology*. 2019. Vol. 119. P. 105633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.1056>.
2. Krivtsun, I.V., Haskin, V.Yu., Korzhik, V.M., Klochkov, I.M., Kvasnytskyi, V.V., Babich, O.A. et al. Hybrid laser-microplasma welding of Ti-Al-V titanium alloy. *The Paton Welding Journal*. 2019. № 10. P. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.10.01>
3. Shelyagin, V.D., Lukashenko, A.G., Khaskin, V.Yu., Lukashenko, D.A. & Lukashenko, V.A. Development of technology and equipment of the automated laser welding for manufacturing heat exchanger details of marine engines. *Science and Innovation*. 2014. Vol. 10, Issue 5. P. 34–39. DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/scin10.05.034>.
4. Riofrío, P., Capela, C., Ferreira, J. & Ramalho, A. Interactions of the process parameters and mechanical properties of laser butt welds in thin high strength low alloy steel plates. *The Journal of Materials: Design and Applications*. 2020. Vol. 234, Issue 5. P. 665–680. DOI: <https://doi.org/10.1177/1464420720910442>.
5. Markashova, L., Berdnikova, O., Alekseienco, T., Bernatskyi, A., & Sydorets, V. Nanostructures in welded joints and their interconnection with operation properties. *Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings*. 2019. P. 119–128. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_12.

References

1. Pankaj, P., Tiwari, A., Bhadra, R., & Biswas, P. (2019). Experimental investigation on CO₂ laser butt welding of AISI 304 stainless steel and mild steel thin sheets. *Optics & Laser Technology*, 119, 105633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.1056>.
2. Krivtsun, I.V., Haskin, V.Yu., Korzhik, V.M., Klochkov, I.M., Kvasnytskyi, V.V., Babich, O.A. et al. (2019). Hybrid laser-microplasma welding of Ti-Al-V titanium alloy. *The Paton Welding Journal*, (10), 12–16. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.10.01>
3. Shelyagin, V.D., Lukashenko, A.G., Khaskin, V.Yu., Lukashenko, D.A. & Lukashenko, V.A. (2014). Development of technology and equipment of the automated laser welding for manufacturing heat exchanger details of marine engines. *Science and Innovation*, 10(5), 34–39. DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/scin10.05.034>.
4. Riofrío, P., Capela, C., Ferreira, J. & Ramalho, A. (2020). Interactions of the process parameters and mechanical properties of laser butt welds in thin high strength low alloy steel plates. *The Journal of Materials: Design and Applications*, 234(5), 665–680. DOI: <https://doi.org/10.1177/1464420720910442>.
5. Markashova, L., Berdnikova, O., Alekseienco, T., Bernatskyi, A., & Sydorets, V. (2019). Nanostructures in welded joints and their interconnection with operation properties. *Advances in Thin Films, Nanostructured Materials, and Coatings*, 119–128. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-6133-3_12.

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.661.2:005.591.6

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.21>

Л. В. БАЛДИЧ

заступник директора з навчальної роботи
ВСП «Рівненський фаховий коледж
Національного університету біоресурсів і природокористування України»
ORCID: 0009-0000-6187-1537

І. М. МАРТИНОВА

завідувач економічного відділення
ВСП «Рівненський фаховий коледж
Національного університету біоресурсів і природокористування України»
ORCID: 0009-0005-1393-398X

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАМОРОЖУВАННЯ ПЛОДІВ І ЯГІД У ПРОЦЕСІ ПЕРЕРОБКИ

У статті розглянуто питання підвищення якісних показників процесу заморожування фруктів та ягід, за рахунок використання сучасних і прогресивних методів та засобів заморожування. Проаналізовано виробництво плодово-ягідної продукції в Україні та інших країнах, показано географічні напрямки експорту заморожених плодів та ягід, а також структура експорту заморожених плодів та ягід з України. Зазначено проблеми і перспективи розвитку ягідної галузі України. Відзначено заморожування фруктів і ягід як високорентабельний бізнес, який передбачає технологію довготривалого зберігання плодів та реалізацію об'єктів зберігання на прилавках магазинів. Визначено якісні характеристики різних методів заморожування, які засновані: на прямому контакті харчового продукту з холодоагентом; використанні холодоносія, який охолоджується холодоагентом в спеціальних теплообмінниках; контакті продукту з холодоагентом через металеву поверхню; комбінований. Охарактеризовано найбільш поширені способи заморожування харчових продуктів базуються на технологіях використання повітря, рідини, холодоагентів. Досліджено особливості «шокового» замороження як ефективного способу підготовки ягід, фруктів та овочів до довгострокового зберігання без втрати їх органолептичних характеристик, смакових якостей та харчової цінності. Весь процес якого складається з трьох основних етапів: підготовка сировини (охолодження); заморожування; доморожування. Проведено аналіз устаткування для заморожування за основними показниками: технологічними, економічними та екологічними. Найбільш поширеними та ефективними видами морозильних агрегатів є спіральні морозильні апарати; флюїдизаційні апарати тунельного типу; камери шокової заморозки, плиткові морозильні агрегати. Окупність обладнання повністю залежить від обсягів продукції, сезону та впливу конкурентів з інших країн на ціноутворення кінцевого продукту. Визначено одну із екологічних вимог до всіх типів обладнання для шокового заморожування – це використання екологічно чистих холодоагентів CO₂. Ці системи передбачають значну економію енергії, деяких випадках досягаючи зниження енергоспоживання на 25–40%.

Ключові слова: плодово-ягідна продукція, експорт, якість, заморожування, технологічне обладнання, стандарти.

L. V. BALDYCH

Deputy Director for Educational Work

Rivne Professional College

of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

ORCID: 0009-0000-6187-1537

I. M. MARTYNOVA

Head of the Economic Department

Rivne Professional College

of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

ORCID: 0009-0005-1393-398X

OVERVIEW OF METHODS AND MEANS OF FREEZING BERRIES IN THE PROCESS OF RECYCLING

The article deals with the issue of improving the quality indicators of the freezing fruits and berries process, due to the use of modern and progressive methods and means of freezing. Fruit and berry production in Ukraine and other countries is analyzed, the geographical directions of the export of frozen fruits and berries, as well as the structure of the export of frozen fruits and berries from Ukraine are shown. The problems and prospects of the berry industry development of Ukraine are indicated. The freezing of fruits and berries is mentioned as a highly profitable business, which involves the technology of long-term storage of fruits and the implementation of storage facilities on store counters. The quality characteristics of various freezing methods are determined, and based on: direct contact of the food product with the refrigerant; using a coolant that is cooled by a refrigerant in special heat exchangers; contact of the product with the refrigerant through a metal surface; combined. The most common methods of freezing food products based on the technologies of using air, liquid, and refrigerants are characterized. The peculiarities of "shock" freezing as an effective method of preparing berries, fruits and vegetables for long-term storage without losing their organoleptic characteristics, taste qualities and nutritional value have been studied. The whole process consists of three main stages: preparation of raw materials (cooling); freezing and post-freezing. An analysis of the freezing equipment according to the main indicators: technological, economic and ecological was carried out. The most common and effective types of freezing units are spiral freezers; tunnel-type fluidizing devices; shock freezing chambers and tile freezing units. The payback of the equipment depends entirely on the volume of production, the season and the influence of competitors from other countries on the pricing of the final product. One of the environmental requirements for all types of shock freezing equipment has been identified – the use of environmentally friendly CO₂ refrigerants. These systems provide significant energy savings, in some cases achieving a 25–40% reduction in energy consumption.

Key words: fruit and berry products, export, quality, freezing, technological equipment, standards.

Постановка проблеми

Сучасний ринок замороженої продукції активно розвивається. Значне місце у його сегменті займають заморожені плоди та ягоди. Європейські країни такі як Велика Британія, Німеччина, Франція є лідерами у споживанні такої продукції – понад 100 кг в рік на душу населення [1; 2]. За даними Державної служби статистики у 2023 році до Європейського союзу було експортовано близько 80% продукції садівництва, а виручка від експорту плодів, ягід та горіхів склала 257 млн. доларів. У структурі експорту переважають заморожені ягоди і фрукти –132 млн. доларів, що дорівнює – 87 тис. тон продукції. Серед замороженої ягоди лідером є малина, експорт якої за останні 5 років виріс у 5,4 рази у грошовому еквіваленті та у 2,7 раз в натуральному вираженні [3; 4].

Найбільші ринки збуту для України – це Польща та Німеччина. Значний інтерес до української ягоди виявляють – Нідерланди, Чехія, Австрія, Італія, Бельгія, Франція [5]. Виросли й обсяги постачань заморожених фруктів і ягід до Китаю, а саме в 4,7 рази порівняно з періодом січень-листопад 2022 року, що стало рекордом за всю історію, а виручка України від експорту в цій категорії склала 3,1 млн. доларів. Україна вперше увійшла до топ-7 серед усіх постачальників заморожених фруктів та інших ягід [5; 6].

Експортний потенціал галузі ягідництва України залежить від низки чинників та наявних проблем, а саме: великий вміст ручної праці; брак коштів та капіталовкладень як на розвиток галузі, так і на рекламу продукції, участі у світових заходах і виставках; дорого вартісна та організаційно витратна сертифікація на плодово-ягідну продукцію. Рішенням подолання названих проблем вбачається у кооперуванні невеликих товаровиробників, яке допоможе отримати грантове інвестування для покращення збуту, логістики та переробки, а передусім заморожування [5; 7].

Замороження плодів і ягід забезпечує безпечність харчових продуктів – запобігання хворобам харчового походження під час обробки, підготовки та зберігання [8]. На території України на заморожування ягід та фруктів діє ДСТУ 4837:2007 «Фрукти та ягоди швидкозаморожені. Технічні умови». За показниками якості і безпеки швидкозаморожені фрукти та ягоди мають відповідати визначеним органолептичним показникам у замороженому стані – зовнішній вигляд, колір, смак та запах, консистенція, колір у «розмороженому» стані [10].

Фрукти та ягоди становлять особливу групу «соковитих рослинних продуктів» [11]. Якість їх заморожування залежить від хімічного складу плоду, сортових особливостей, віку рослин, агротехніки, терміну їх дозрівання та збору. Для більшості ягід охолодження необхідно проводити у найкоротші терміни після збору, що сприяє збереженню високого вмісту в плодах вітаміну С, дубильних речовин і барвників [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як свідчить проведений аналіз науково-технічної літератури, основну увагу вітчизняних дослідників зосереджено на особливостях обладнання для заморожування плодово-ягідної продукції, дослідженню хімічного складу різних сортів плодів та ягід до та після заморожування. Різні аспекти зазначеної проблеми висвітлюються в роботах Г. О. Сімахіної, С. В. Камінської [2], Н. М. Олійник [3], Д. М. Одарченко [4], С. В. Кюрчева, В. О. Верхованцева [10], О. О. Горача [13] та ін. Незважаючи на значну кількість досліджень у напрямку розвитку технологій зберігання фруктово-ягідної продукції, залишаються недостатньо вивчені питання розробки та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обладнання для заморожування продукції, що допоможе підвищити якісні параметри продукції та зменшити витрати на процес замороження.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є аналіз існуючих методів та засобів заморожування ягід у процесі їх переробки та визначення перспективних напрямів розвитку даного обладнання.

Викладення основного матеріалу дослідження

Заморожування фруктів і ягід – високорентабельний бізнес, який передбачає технологію довготривалого зберігання плодів та реалізацію об'єктів зберігання на прилавках магазинів. У цій бізнес схемі важливе місце займає вибір способу, устаткування заморожування. Способи заморожування продукції ґрунтуються на передачі теплоти продуктом завдяки явищам теплопровідності, конвекції, радіації та теплообміну при фазових перетвореннях. Відомо чотири групи методів заморожування, які засновані: на прямому контакті харчового продукту з холодоагентом; використанні холодоносія, який охолоджується холодоагентом в спеціальних теплообмінниках; контакті продукту з холодоагентом через металеву поверхню; комбіновані. Найбільш поширені способи заморожування харчових продуктів базуються на технологіях використання повітря, рідини, холодоагентів, а саме: заморожування в «киплячому шарі», заморожування в рідині, повітряний спосіб, заморожування у киплячих холодоносіях [11].

У процесі швидкого заморожування з інтенсивним відводом тепла при низьких температурах одержують заморожений продукт більш високої якості. У таких продуктах під час розморожування сік залишається в тканинах і майже не витікає. Плоди і овочі на сучасних холодильних установках заморожують при температурі холодильного агента до -40°C . Температура самого продукту до кінця заморожування сягає -18°C . Швидке заморожування з потужною конвенцією передбачає поетапне перемикавання у три кроки: потужність 30%, 60% та 100%, що дозволяє холоду поступово проникати з тією ж швидкістю охолодження. На практиці прискорення охолодження і заморожування досягається максимально низькими температурами охолоджувальної середовища і потужною конвенцією (перемішуванням шарів повітря, яка має контакт з продуктом). Для цього передбачається обдування об'єкта за допомогою спеціальних вентиляторів [9]. Плоди заморожують у морозильниках камерного типу, де повітря рухається із швидкістю 1–2 м/с. Найкращі результати досягаються під час заморожування розсипної продукції, яка перебуває в несправжньо-зрідженому стані, цей метод називається – флюїдизації [12]. Він передбачає розміщення продукту розсипом на горизонтальній ємності типу «решета», і подачу крижаного повітря знизу з великою швидкістю (не менше 13 м/с). У результаті овочі піднімаються потоком повітря і перебувають у зваженому стані до повної заморозки [13].

Шокова заморозка (IQF) – це ефективний спосіб підготовки ягід, фруктів та овочів до довгострокового зберігання без втрати їх органолептичних характеристик, смакових якостей та харчової цінності. Під час заморожування утворюються гострі кристали льоду, що руйнують м'якоть зсередини. Для заморожування без кристалізації потрібно забезпечити температурний режим $-5 \dots -18^{\circ}\text{C}$ ягоди. В такому діапазоні відбувається шокове заморожування ягід. За більш високої температури м'якоть буде зруйнована кристалами, а за нижчої – відбудеться дегідратація або просто висушування продукту. Весь процес складається з трьох основних етапів: підготовка сировини (охолодження) – температура продукту опускається до 0°C ; заморожування – охолодження овочів до -5°C ; доморожування – глибоке заморожування при $-30 \dots -40^{\circ}\text{C}$, при цьому температура всередині овочів знижується до -18°C . Устаткування для шокового заморожування продуктів буває двох основних типів: комерційні установки – морозильні камери (шокофростери); промислові лінії – конвеєрні тунельні камери шокової заморозки, спіральні, люлечні чи флюїдизаційні [13].

Ринок устаткування для заморожування пропонує досить велику кількість різного типу обладнання. На вибір технологічного обладнання впливає – вид продукту, його маса, що заморожується в годину і обсяги виробництва. Найбільш поширеними та ефективними видами морозильних агрегатів є спіральні морозильні апарати; флюїдизаційні апарати тунельного типу; камери шокової заморозки, плиткові морозильні агрегати. Наведемо коротку характеристику устаткування для охолодження та шокового заморожування овочів та фруктів.

Камера інтенсивного охолодження – холодильне обладнання, яке служить для забезпечення надшвидкого проходження критичного діапазону температур, що сприяє блокуванню розвитку шкідливої мікрофлори та, як наслідок, збільшенню терміну зберігання продукту. Основне завдання – зниження температури гарячого продукту від 70–80 °С до 6–8 °С. Конструкція передбачає теплоізольовану камеру, в якій відбувається інтенсивне охолодження за допомогою високоінтенсивних повітряних потоків, за потреби встановлюється система контролю вологи, що запобігає осушенню плодів [14].

Камери шокової заморозки призначені для шокового заморожування продукту на стелажах або візках (рис. 1). Процес заморожування проходить при низькій температурі (до -35 °С) протягом дуже короткого часу (від 15 до 90 хв.), час залежить від продукту та його розміру [15].



Рис. 1. Камери шокової заморозки

За формою можуть бути у вигляді тунелю з окремими дверима для завантаження і вивантаження продукції. Оснащені системою контролю вологи. Переваги: раціональний розподіл повітряних потоків; оптимальна організація процесів теплообміну; мінімальна потужність холодильної системи при максимальній ефективності шокової заморозки; додаткові системи перешкоджають втратам холоду; індивідуальне проектування і підбір оптимального холодильного обладнання. Будова камери складається з: рами-основи, камери з пінополіуретанових панелей (ППУ), холодильної системи, конвеєра, системи контролю температури, системи освітлення, системи зливу (для відтаювання та мийки), системи повітряних шлюзів і однієї або двох герметичних дверей [14; 15].

Спіральні швидкоморозильні апарати призначені для швидкої заморозки (6–90 хв.), поштучної і дрібно фасованої продукції (рис. 2). Спіральні морозильні апарати компактні, оснащені регулюванням швидкості руху конвеєра і повітряного потоку, що дозволяє встановити оптимальний час заморожування для кожного виду продукту. Даний вид морозильних апаратів надзвичайно простий і зручний в експлуатації та обслуговуванні [14; 15].

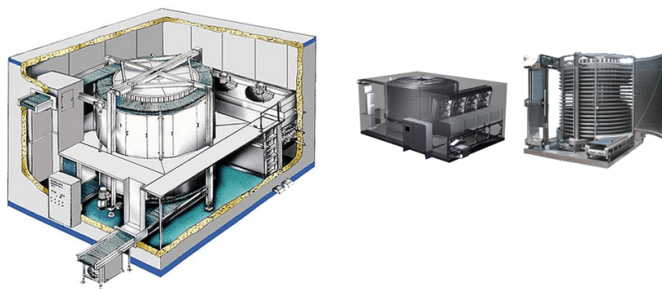


Рис. 2. Спіральні швидкоморозильні апарати

Довга безперервна конвеєрна стрічка, розташована по спіралі ярусами (до 50 ярусів висотою), робить спіральну лінію шокової заморозки ідеальним рішенням для більшості підприємств з переробки овочів та фруктів. Склад апарату: спіральний багатоярусний конвеєр (рама і поворотна сітчаста стрічка з нержавіючої сталі, система регульованої швидкості руху конвеєрної стрічки); теплоізольована камера, виконана з пінополіуретанових сендвіч-панелей; низькотемпературна холодильна установка на базі поршневих або гвинтових компресорів Bitzer, Frascold, Copeland; багатофункціональний щит управління [14; 15].

Швидкоморозильні тунелі для шокової заморозки овочів, фруктів та інших продуктів, а також лінії для попередньої обробки сировини перед заморожуванням забезпечують мінімальні втрати ваги і хорошу якість продукту (рис. 3). Робоча температура всередині тунелю досягається до -33 °С. За короткий проміжок часу (близько 1,5–2 годин) продукція заморожується від +20 °С до -18 °С, після чого партія товару вивантажується і завантажується наступна. Параметри: разове завантаження – 200–400–600–800 кг.; габарити – ширина (2400 мм) і висота (2900 мм); електроживлення дорівнює 380В. Корпус тунелю виготовляється із сендвіч-панелей з пінополіуретановим наповнювачем [14; 15].

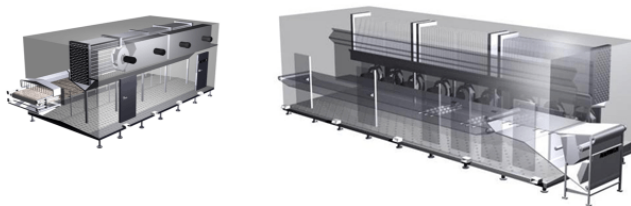


Рис. 3. Швидкоморозильні тунелі

Флюїдизаційні машини тунельного заморозують та охолоджують овочі, фрукти і морепродукти (рис. 4). Механічна вібрація і постійна подача охолодженого повітря заморозують рівномірно продукт і не допускають його злипання.

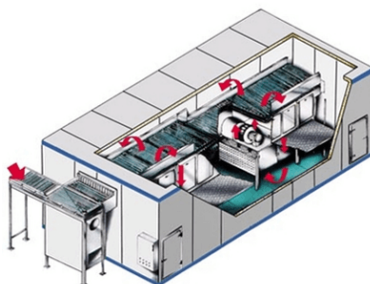


Рис. 4. Флюїдизаційна машина тунельного типу

Проточний швидкоморозильний тунель дає можливість досягнення повної флюїдизації, тобто спрямовання вертикально потоку холодного повітря вгору, що піднімає і транспортує продукт через морозильник і гарантує максимально ефективний обмін теплотою. Плоди заморозуються не лише швидко, а й ніжно і рівномірно, без різних типів пошкоджень або утворення грудок, з мінімальною втратою ваги. Це дозволяє отримати окремо заморожені плоди найвищої якості. Тривалість процесу залежить від виду продукту, розмірів, консистенції і становить 4–12 хв. Продуктивність 150–5000 кг/год [14; 15].

Акустична заморозка (AEF) працює за принципом поєднання двох процесів – інтенсивний обдув холодним повітрям та вплив звукових хвиль на продукт протягом усього процесу заморозки. Звукові хвилі обирають в налаштуваннях пристрою, окремо для різних типів продуктів. Звукова хвиля розбиває мікрочастинки льоду, які формуються у продукті під час заморожування, не дозволяючи кристалу збільшуватись і руйнувати тканини плоду. Така технологія може бути застосована як у камерах шокowego заморожування, так і в швидкоморозильних плиткових (пластинчастих) апаратах [14].

Однією із екологічних вимог до всіх типів обладнання для шокowego заморожування – це використання екологічно чистих холодоагентів CO₂. Ці системи передбачають значну економію енергії, знижуючи енергоспоживання на 25–40%. Крім того, холодильна система на CO₂ забезпечує підприємство не лише холодом, а й гарячим водопостачанням з температурою води до + 80°C. Це дозволяє суттєво зменшити діаметр трубопроводів системи та споживання електроенергії у порівнянні з класичними системами в аналогічних умовах, зручно комбінувати контури системи із різними температурами кипіння, забезпечити низький рівень шуму під час роботи компресорів, а сама вуглекислота – вибухобезпечна, негорюча та відносно нетоксична речовина і має низьку ціну [15].

Висновки

У результаті проведеного аналізу можна відзначити, що інноваційною технологією у заморожуванні фруктів і ягід є шокова заморозка (IQF), яка має ряд переваг [15]: «ефективність: зменшує втрату ваги і збільшує термін зберігання продукції; екологічність: не використовується термічна або технологічна обробка, в результаті білкова структура клітини не змінюється і продукти зберігають екологічну чистоту; продуктивність: обладнання дозволяє заморозити від 50 до 10 000 кг сировини за годину; корисність: зберігає клітинну структуру, всі корисні мікроелементи і до 85–90% вітамінів». Світовий ринок пропонує досить велику кількість пропозицій морозильного обладнання. Різноманітність плодів і ягід не впливає на вибір холодильного обладнання. Економічна ефективність обладнання повністю залежить від обсягів продукції, сезону та ціни кінцевого продукту. Заморожені плоди і ягоди можна зберігати декілька років, очікуючи найвигідніших цін, а це дозволить реалізувати продукцію за доданою вартістю. Перспективою подальший досліджень є доцільність використання різних методів заморожування та вибір морозильного обладнання для плодів і ягід із вираховуванням їх фізико-хімічних властивостей.

Список використаної літератури

1. Аналіз світового ринку заморожених продуктів харчування за видом продукції та географічним розташуванням: тенденції та прогнози (2010–2018): звіт. / URL: <http://www.ucca.org.Ua/ua/information/news/21#>. Дата звернення: 28.01.2024.
2. Сімахіна Г. О. Стан і перспективи розвитку вітчизняного ринку заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2020. Т. 26, № 3. С. 234–242.
3. Олійник Н. М., Тарасюк А. В., Макаренко С. М., Котик О. А. Проблеми та перспективи розвитку ринку заморожених напівфабрикатів *Підприємництво і торгівля*. 2019. Вип. 24. С. 127–131.
4. Одарченко Д. М., Соколова Є. Б., Ковалевська Н. С. Дослідження хімічного складу різних сортів полуниці до та після заморожування. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. № 1. С. 98–102.
5. Галат Л. М. Експортний потенціал та проблеми розвитку галузі ягідництва України. *Агросвіт*. 2021. № 1–2. С. 46–55.
6. Агропортал : веб-сайт. URL: <http://surl.li/qivng> (дата звернення: 28.01.2024).
7. Непомнящая А. Наши в Парижі: чому навчилися українські ягодоводи на міжнародній виставці SIAL – 2018. *Ягідник*. 2018. № 5. С. 12–13.
8. Харчова безпека – що потрібно знати. URL: <https://phc.org.ua/news/kharchova-bezpeka-scho-potribno-znati> (дата звернення: 28.01.2024).
9. Кюрчев С.В., Верхоланцева В.О. Використання заморожування ягід у процесі зберігання. Тези V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Плодовий сад – новітнє в теорії та практиці», м. Мелітополь, 18 червня 2021 р. – С. 122–123.
10. ДСТУ 4837:2007. Фрукти та ягоди швидкозаморожені. Технічні умови: [Текст]. [Чинний від 2009-01-01]. Київ, 2008. 32 с. (Інформація та документація).
11. Погожих М. І. Енергоефективні способи переробки харчової сировини: сушіння плодово-ягідної сировини: навч. посіб. – Харків: Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі, 2015. 159 с.
12. Бобирь С.В. Інноваційний спосіб заморожування ягід чорної смородини в Україні // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : матер. І Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, 01–26 лютого 2021 р.: тези доп. м. Мелітополь, 2021. С. 203.
13. Горач О. О. Технологічне обладнання для заморожування плодово-ягідної продукції. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, том 1. С. 21–22.
14. Шокове заморожування ягід. URL: <http://surl.li/qivvh> (Дата звернення: 28.01.2024).
15. Холодильне обладнання. URL: <https://primeholod.com.ua/uk>. (Дата звернення: 28.01.2024).

References

1. Analiz svitovoho rynku zamorozhenykh produktiv kharchuvannia za vydom produktsii ta heohrafichnym roztashuvanniam: tendentsii ta prohnozy (2010–2018): zvit. [Global Frozen Food Market Analysis by Product Type and Geography: Trends and Forecasts (2010–2018): Report] [in Ukrainian]. URL: <http://www.ucca.org.Ua/ua/information/news/21#> (Accessed: 28.01.2024).
2. Simakhina H. O., Kaminska S. V. Stan i perspektyvy rozvytku vitchyznianoho rynku zamorozhenykh plodovo-yahidnykh [State and prospects of development of the domestic market of frozen fruit and berry semi-finished products]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*. 2020. T. 26, № 3. P. 234–242 [in Ukrainian].
3. Oliinyk N. M., Tarasiuk A. V., Makarenko S. M., Kotyk O. A. Problemy ta perspektyvy rozvytku rynku zamorozhenykh napivfabrykativ [Problems and prospects for the development of the market of frozen semi-finished products] *Pidpriemnytstvo i torhivlia*. 2019. Vyp. 24. P. 127–131 [in Ukrainian].
4. Odarchenko D. M., Sokolova Ye. B., Kovalevska N. S. Doslidzhennia khimichnoho skladu riznykh sortiv polunytsti do ta pislia zamorozhuvannia [Research of the chemical composition of different varieties of strawberries before and after freezing] *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. – 2020. № 1. P. 98–102 [in Ukrainian].
5. Halat L. M. Eksportnyi potentsial ta problemy rozvytku haluzi yahidnytstva Ukrainy [Export potential and problems of development of the berry growing industry of Ukraine] *Ahrosvit*. 2021. № 1-2. P. 46–55 [in Ukrainian].
6. Ahroportal: [web-sait]. [in Ukrainian]. URL: <http://surl.li/qivng> (Accessed: 28.01.2024).
7. Nepomniashchaia A. Nashi v Paryzhi: chomu navchylsya ukrayins'ki yahodovody na mizhnarodniy vystavtsi SIAL – 2018 [Ours in Paris: what Ukrainian berry growers learned at the international exhibition SIAL – 2018]. *Yahidnyk*. 2018. № 5. P. 12–13 [in Ukrainian].
8. Kharchova bezpeka – shcho potribno znaty. [Food safety – what you need to know]. [in Ukrainian]. URL: <https://phc.org.ua/news/kharchova-bezpeka-scho-potribno-znati> (Accessed: 28.01.2024).
9. Kiurchev S.V., Verkholtantseva V.O. Vykorystannia zamorozhuvannia yahid u protsesi zberihannia [Using the freezing of berries in the storage process] Tezy V Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Plodovy sad – novitnie v teorii ta praktytsi», m. Melitopol, 18 chervnia 2021 r. P. 122–123 [in Ukrainian].

10. DSTU 4837:2007. Frukty ta yahody shvydkozamorozheni. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 2009-01-01]. [DSTU 4837:2007. Fruits and berries quick-frozen. Specifications] Kyiv, 2008. 32 s. [in Ukrainian].
11. Pohozhykh M. I., Pak A. O. Enerhoefektyvni sposoby pererobky kharchovoi syrovyny: sushinnia plodovo-yahidnoi syrovyny: navch. posib. [Energy-efficient methods of processing food raw materials: drying fruit and berry raw materials] Kharkiv: Khark. derzh. un-t kharch. ta torhivli, 2015. 159 p. [in Ukrainian].
12. Bobyr S.V. Innovatsiynyi sposib zamorozhuvannya yahid chornoi smorodyny v Ukraini [An innovative method of freezing blackcurrant berries in Ukraine] Tekhnichne zabezpechennya innovatsiynykh tekhnolohiy v ahropromyslovomu kompleksi : mater. I Mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodykh uchenykh, 01–26 lyutoho 2021 r.: tezy dop. m. Melitopol', 2021. P. 203 [in Ukrainian].
136. Horach O. O. Tekhnolohichne obladnannia dlia zamorozhuvannya plodovo-yahidnoi produktsii [Technological equipment for freezing fruit and berry products] *Naukovyi visnyk TDATU*. 2023. Vyp. 13, tom 1. P. 21–22 [in Ukrainian].
14. Shokove zamorozhuvannya yahid. [Shock freezing of berries]. [in Ukrainian]. URL: <http://surl.li/qivvh> (Accessed: 28.01.2024).
15. Kholodylne obladnannia. [Refrigeration equipment]. [in Ukrainian]. URL: <https://primeholod.com.ua/uk>. (Accessed: 28.01.2024).

О. М. ДОМБРОВСЬКА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри технології і конструювання швейних виробів
Хмельницький національний університет
ORCID: 0000-0001-6086-5784

М. П. АРТЕМЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри дизайну
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-8957-5403

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛЬНИХ КОМБІНАТОРНИХ РЯДІВ АСОРТИМЕНТНОЇ СТРУКТУРИ ЖІНОЧОГО ЖАКЕТА В УМОВАХ КАСТОМІЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Зростання технологічної конкуренції призвело до орієнтації на кастомізацію рішень і зміщення рентабельності від виробництва до споживчого сектору. Це вимагає розвитку інтелектуальних технологій для взаємодії із споживачами. Участь споживача в створенні кастомізованого одягу найчастіше обмежується вибором колірної гами, принта, форми, розміру та розташування декоративних елементів. Масова кастомізація замінила епоху промислового виробництва типового одягу, започаткувавши виробництво продукції з можливістю її адаптації або модифікації за побажанням споживачів. Шляхом індивідуалізації одягу можна досягти не лише створення унікальних предметів, але й сформувати неповторний стиль. Для виробника цей підхід принесе збільшення обсягів продажів та здобуття нових клієнтів, тоді як для покупців він дасть можливість володіти унікальним виробом, який відрізняється від стандартних виробів масового виробництва. Оцінка одягу як цифрової технічної системи вимагає не лише аналізу характеристик властивостей виробу, а й виявлення параметричного зв'язку між ними для розширення потенціалу та функціоналу. Тому метою дослідження є класифікація модульних та багатодетальних предметів одягу складних просторових форм за способом їх побудови як оболонок на прикладі жіночого жакета. Це дозволить розробити модельні ряди асортиментних структур виробу для умов кастомізованого виробництва. За допомогою асортиментної матриці можна скласти асортиментний мінімум, що забезпечить наявність широкого вибору для подальшого моделювання. Виходячи з поєднань основних деталей конструкції, з урахуванням обраної форми проєктованого виробу – жакет прилеглого силуету, довжиною до лінії стегон, розроблена варіантна графічна матриця, яка має вигляд двовимірного масиву. Методи візуально-аналітичного та функціонального аналізу кастомізації об'єктів жіночого жакета надали можливість обґрунтувати її з точки зору індивідуалізації речей як специфічного вибору споживача.

Ключові слова: кастомізація, кастомізація виробництва, асортиментна структура, жіночий жакет, комбінаторний ряд.

О. М. DOMBROVSKA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Technology
and Design of Sewing Products
Khmelnytskyi National University
ORCID: 0000-0001-6086-5784

М. П. ARTEMENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Design
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-8957-5403

FORMATION OF MODEL COMBINATION SERIES OF THE ASSORTMENT STRUCTURE OF WOMEN'S JACKETS IN THE CONDITIONS OF CUSTOMIZED PRODUCTION

The growth of technological competition has led to a focus on customization of solutions and a shift in profitability from production to the consumer sector. This requires the development of intelligent technologies for interaction with consumers.

The consumer's participation in the creation of customized clothing is often limited to the choice of color scheme, print, shape, size and arrangement of decorative elements. Mass customization has replaced the era of industrial production of typical clothes, starting the production of products with the possibility of their adaptation or modification at the request of consumers. By customizing clothes, you can achieve not only the creation of unique items, but also create a unique style. For the manufacturer, this approach will bring increased sales and acquisition of new customers, while for buyers, it will give an opportunity to own a unique product that differs from standard mass-produced products. The assessment of clothing as a digital technical system requires not only the analysis of the characteristics of the product's properties, but also the identification of a parametric relationship between them to expand potential and functionality. Therefore, the purpose of the study is to classify modular and multi-detailed clothing items of complex spatial forms according to the method of their construction as a shell on the example of a women's jacket. This will make it possible to develop model series of product assortment structures for conditions of customized production. With the help of an assortment matrix, you can make an assortment minimum, which will ensure the availability of a wide selection for further modeling. Based on the combinations of the main design details, taking into account the chosen form of the designed product – a jacket of a close-fitting silhouette, length to the hip line, a variant graphic matrix was developed, which has the appearance of a two-dimensional array. The methods of visual-analytical and functional analysis of customization of women's jacket objects provided an opportunity to substantiate it from the point of view of individualization of things as a specific choice of the consumer.

Key words: customization, production customization, assortment structure, women's jacket, combinatory series.

Постановка проблеми

Основною метою розвитку легкої промисловості є забезпечення стійкості галузі під час військового стану в Україні, шляхом підвищення технологічного розвитку і цифровізації галузей, прискорення комерціалізації нових технологій та продуктів. Ключові виклики включають підтримку конкурентоспроможності та захист виробників у умовах домінування цифрових платформ. Зростання технологічної конкуренції призвело до орієнтації на кастомізацію рішень і зміщення рентабельності від виробництва до споживчого сектору. Це вимагає розвитку інтелектуальних технологій для взаємодії із споживачами.

Широке впровадження цифрових технологій в повсякденне життя призвело до зміни споживчої поведінки. Сучасні покупці, завдяки доступності інформації про модні тенденції та розвиток швидкої моди, активно формують власний індивідуальний стиль. Вони висувають високі вимоги до якості та посадки одягу, а також прагнуть надати типовим виробам індивідуальні риси.

Участь споживача в створенні кастомізованого одягу найчастіше обмежується вибором колірної гами, принта, форми, розміру та розташування декоративних елементів. Масова кастомізація замінила епоху промислового виробництва типового одягу, започаткувавши виробництво продукції з можливістю її адаптації або модифікації за побажанням споживачів. Це об'єднує підходи масового виробництва та індивідуального пошиття виробів.

Шляхом індивідуалізації одягу можна досягти не лише створення унікальних предметів, але й сформувати неповторний стиль. Для виробника цей підхід принесе збільшення обсягів продажів та здобуття нових клієнтів, тоді як для покупців він дасть можливість володіти унікальним виробом, який відрізняється від стандартних виробів масового виробництва.

Кастомізація одягу з точки зору науки включає в себе дослідження і впровадження технологій та методів, які дозволяють створювати унікальний та індивідуалізований одяг для кожного клієнта [1–5]. Цей підхід відкриває нові можливості в галузі матеріалознавства, дизайну, інженерії та комп'ютерних наук, але потребує деталізації і параметризації інформації про одяг на кожному етапі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зростаючі потреби споживачів змушують виробників розширювати асортимент та різноманітність продукції, що випускається. Для підприємства стає актуальним розширити модельний ряд, зменшуючи водночас витрати часу на проектування та конструкторську підготовку виробництва. Одночасно з цим проводяться роботи з інтелектуалізації роботи дизайнера під час створення нових моделей одягу [6–8].

Зазвичай кастомізацію використовують з метою досягнення стратегічних цілей, таких як задоволення конкретних індивідуальних потреб та вимог споживачів, зміцнення позиції «лідера галузі», отримання переваг перед конкурентами, які пропонують більш доступні товари, а також підвищення ефективності внутрішніх бізнес-процесів. Маркетологи вважають, що кастомізація є природним розвитком тенденцій у глибині сегментації ринку та переходу від масового маркетингу до цільового та індивідуального підходу [7; 8].

Багато великомасштабних баз даних, мають значно розширену класифікацію зображень та інші інструменти візуального розпізнавання [2–4]. Широко відомі підходи застосування штучного інтелекту для визначення модних тенденцій та створення нових ескізів на основі аналізу існуючих колекцій та зображень елементів одягу [1; 5; 6]. Однак більшість цих наборів даних обмежені однокомпонентною та грубою класифікацією об'єктів. Сучасні додатки вимагають вужчого ділення та деталізованих категорій, і великомасштабних та високоякісних наборів даних в цьому напрямку дуже мало.

Класифікація об'єктів полягає у присвоєнні об'єктам номера класу відповідно до їхніх особливостей на рівні об'єкта. Методи машинного навчання, зазвичай, забезпечують точні результати у завданні класифікації об'єктів [9–11]. Удосконаленням архітектури нейронної мережі, яка включає згортковий, максимальний пул та повністю пов'язані рівні для класифікації швейних виробів займалися ряд науковців [12–14]. У дослідженні [12] пропонують мережу виявлення візуальних елементів одягу із глобально-локальним вбудованим модулем. Модуль глобально-локального застосування базується на нелокальній операції для захоплення залежностей на великій відстані та наступної операції згортки для виявлення відносин локального сусідства. Цей метод дозволяє мережі враховувати як глобальні, так і локальні контекстні знання зображення одягу. Запропонований підхід відрізняється високою здатністю вивчати розширені уявлення глибоких функцій для виявлення візуальних елементів швейних виробів [12–14].

Отже, існують передумови для створення системи, в якій споживач визначатиме зовнішній вигляд виробу, а робота дизайнера і конструктора буде автоматизована за допомогою інтелектуальних технологій на етапі вибору модних форм та агрегування великої кількості варіантів вигляду майбутніх виробів промислової колекції. Тому актуальним є дослідження проектних рішень асортиментної структури одягу.

Формулювання мети дослідження

Нове покоління одягу не лише захищає людину від навколишнього середовища, а й надає додаткові функції, відповідно до способу життя та полегшує фізичне та емоційне навантаження за допомогою інтелектуальних інструментів та технологій. Оцінка одягу як цифрової технічної системи вимагає не лише аналізу характеристик властивостей виробу, а й виявлення параметричного зв'язку між ними для розширення потенціалу та функціоналу. Тому метою дослідження є класифікація модульних та багатодетальних предметів одягу складних просторових форм за способом їх побудови як оболонки на прикладі жіночого жакета. Це дозволить розробити модельні ряди асортиментних структур виробу для умов кастомізованого виробництва.

Викладення основного матеріалу дослідження

Вирішення складних задач у проектуванні одягу актуально з використанням когнітивних технологій та методів штучного інтелекту для інтенсифікації творчої роботи дизайнерів та конструкторів. Значна увага приділяється вивченню механізмів кастомізації та організаційно-управлінським методам її підтримки у виробництві, а також оцінці конкурентоспроможності інноваційних рішень. Кастомізація одягу здебільшого вирішується через інтеграцію наукових підходів та інновацій, роблячи цей процес більш точним, ефективним та естетично прийнятним для кожного клієнта.

Дослідження у сфері кастомізації, охоплює як процес, так і явище, переважно фокусуються на описі прикладів у різних асортиментних групах, аналізі інновацій та визначенні переваг кастомізованих продуктів та їх цінностей [12–14].

Раціональне формування асортименту товарів сприяє комплексному задоволенню попиту населення, що передбачає групування асортименту товарів за відповідними споживчими комплексами. Таке групування дозволяє створити зручності для покупців, полегшує процес ознайомлення із запропонованими товарами, скорочує витрати часу на придбання необхідних виробів і сприяє імпульсивним покупкам, що суттєво впливає на ефективність роботи підприємств роздрібною торгівлі, тому робота с асортиментом потребує комплексного и поступового підходу.

Основним документом, що регламентує асортимент є асортиментна матриця, де необхідно виділяти асортиментний мінімум першого рівня, який є обов'язковим для всіх продовольчих магазинів та асортиментний мінімум другого рівня, який також є обов'язковим, але з урахуванням розділення всіх магазинів на групи за форматами і особливостями місцезнаходження.

Відомо, що асортиментна матриця складається з урахуванням достатньої широти і глибини асортименту, асортиментного мінімуму обох рівнів та побажань замовника. Введення товару до асортиментної матриці здійснюється при підвищенні попиту у цільовій аудиторії на нього, якщо він є новинкою і має унікальні властивості та підтримується рекламною компанією виробника, а також сприяє збільшення обсягів продажів.

За допомогою асортиментної матриці можна скласти асортиментний мінімум, що забезпечить наявність широкого вибору для подальшого моделювання. Виходячи з поєднань основних деталей конструкції, з урахуванням обраної форми проєктованого виробу – жакет прилеглого силуету, довжиною до лінії стегон, розроблена варіантна графічна матриця, яка має вигляд двовимірного масиву (Таблиця 1). У ній міститься інформація про декілька видів комірків і варіантів оформлення в нижній частині стану жакета (від лінії талії), які дозволяють вибрати найбільш бажаний варіант для подальшої розробки.

Назви підкатегорій структурних елементів стану жакета, можна позначити як N_p , разом з їх різноманітними варіантами рішень N^n . Під час вибору альтернативних варіантів відбувається поєднання виділених ознак, що призводить до різних ескізних рішень для проєктованих моделей жакетів. Матричний підхід дозволяє програмі створювати всі можливі комбінації об'єднання вибраних структурних елементів одягу. Внаслідок цього користувач отримує значну різноманітність унікальних ескізів виробу, кількість яких зростає за геометричною прогресією.

Процес кастомізації може впроваджуватись як самими споживачами, не маючи спеціалізованої освіти в галузі швейного виробництва, так і особами з відповідною освітою (дизайнерами швейного виробництва, конструкторами, технологами).

При проєктуванні швейного виробу кожен структурний елемент (деталь, колірне рішення, наявність принта або декоративно-художнього елемента) може бути віднесений до певного стильового рішення, такого як класичний, спортивний або романтичний.

Процес персоналізації одягу може стосуватися одного або кількох конструктивних елементів швейного виробу, таких як перед, спинка, бічна частина, рукав, комір, кишень, пояс, передня та задня половинки штанів і т.д.

Вибір матеріалу та художньо-колеристичне рішення формують естетичне сприйняття образу споживача-проєктувальника чи потенційного клієнта для майбутньої моделі одягу. Основою для автоматизованого проєктування швейних виробів є база даних структурних та візуальних елементів моделі одягу.

У базі даних повинні бути присутні візуальні та метричні характеристики конструктивних параметрів плечової та поясної частин одягу, щоб надати можливість його адаптації та модифікації відповідно до очікувань споживачів у виборі форми, розмірів та наявності конструктивно-декоративних елементів у виробі. З використанням цієї бази даних споживач може комбінувати конструктивно-декоративні елементи в будь-якому порядку, створюючи індивідуальний виріб. Це дозволяє підприємству виготовляти продукцію на індивідуальне замовлення в умовах промислового виробництва, проводити автоматизоване проєктування асортиментних промислових колекцій, визначати план випуску продукції та забезпечує зростання обсягів продажу швейної продукції.

Висновки

В умовах цифровізації економіки та глобалізації споживчих ринків стає важливим інтерактивне клієнто-орієнтоване проєктування виробів та розробка нових технологій, спрямованих на очікування споживачів. Це підтверджує актуальність нових підходів, спрямованих на довгострокову інтелектуалізацію швейної промисловості.

Розроблена варіантна таблична матриця модульних рядів різновиду коміра в жіночому жакеті з варіантами оформлення нижньої частини стану жакета є вихідним матеріалом для кастомізації окремого виробу. Методи візуально-аналітичного та функціонального аналізу кастомізації об'єктів жіночого жакета надали можливість обґрунтувати її з точки зору індивідуалізації речей як специфічного вибору споживача. Отримані результати надають можливість систематизувати види, принципи і прийоми кастомізації в асортиментному ряді як досвід практичної реалізації концепції «розумного споживання», індивідуалізації та персоніфікації в дизайні одягу.

Таблиця 1

Комбінаторна матриця варіантів деталей на прикладі жіночого жакета

Базова модель		Варіанти нижньої частини стану жакета					
1	2	3					
Варіанти комірів з V-подібним вирізом							

Список використаної літератури

- Berger C., Möslein K., Piller F., Reichwald R. Co-designing modes of cooperation at the customer interface. *European Management Review*. 2005. № 2. P. 70–87. URL: <https://doi.org/10.1057/palgrave.emr.1500030>.
- Da Silveira G., Borenstein D., Fogliatto F. S. Mass customization: literature review and research directions. *Int. Journal of Production Economics*. 2001. V. 72. № 1. P. 1–13. URL: <https://econpapers.repec.org/article/eeeproco/>.
- Piller F. T., Moeslein K., Stotko C. M. Does Mass Customization Pay? An economic approach. *Production Planning and Control*. 2004. V. 15. № 4. P. 435–444. URL: <https://doi.org/10.1080/09537280.42000238773>.
- Wind J. R. Customerization: The Next Revolution in Mass Customization. *Journal of Interactive Marketing*. 2001. Vol. 15. № 1. P. 13–21. URL: [https://doi.org/10.1002/1520-6653\(200124\)15:13.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/1520-6653(200124)15:13.0.CO;2-%23).

5. Jiang S., Li J., Fu Y. Deep Learning for Fashion Style Generation. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* (Early Access). 26 February 2021, P. 67–75.
6. Kayed M., Anter A., Mohamed H. Classification of Garments from Fashion MNIST Dataset Using CNN LeNet-5 Architecture. *2020 International Conference on Innovative Trends in Communication and Computer Engineering (ITCE)*. 26 March 2020. P. 6–12.
7. Kharfan M., Vicky Wing Kei Chan. A data-driven forecasting approach for newly launched seasonal products by leveraging machine-learning approaches. *Annals of Operations Research*, 15 June 2020. P. 57–63.
8. Liu N., Chow P. & Zhao H. Challenges and critical successful factors for apparel mass customization operations: recent development and case study. *Ann Oper Res*. 2020. № 291. P. 531–563.
9. Slavinska A., Syrotenko O., Mytsa V., Dombrovska O. Development of an adaptive method for regulating corset comfort based on the parameters of design zones identification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. V. 5. № 1 (107). P. 71–81. <http://journals.uran.ua/eejet/issue/view/12861>.
10. Slavinska, A., Mytsa, V., Syrotenko, O., Dombrovska, O. Devising a Method to Parametrize the Jacket Style Varieties Through the Modification of Topological Series Structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* *this link is disabled*. 2021. № 3. P. 92–105.
11. Slavinska, A.L., Mytsa, V.V., Syrotenko, O.P., Dombrovska, O.M. Method of optimization of geometric transformations of design surfaces of a man's jacket. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* *this link is disabled*. 2021. № 1031(1). P. 12–21.
12. Shajini, M., Ramanan, A. An improved landmark-driven and spatial-channel attentive convolutional neural network for fashion clothes classification. *Vis Comput*. 2021. № 37. P. 1517–1526.
13. Xu Y., Thomassey S. & Zeng X. Optimization of garment sizing and cutting order planning in the context of mass customization. *Int J Adv Manuf Technol*. 2020. № 106. P. 3485–3503.
14. Yan Y., Gupta S., Schoefer K. et al. A Review of E-mass Customization as a Branding Strategy. *Corp Reputation Rev*. 2020. № 23. P. 215–223.

References

1. Berger C., Mösllein K., Piller F., Reichwald R. Co-designing modes of cooperation at the customer interface. *European Management Review*. 2005. № 2. P. 70–87. URL: <https://doi.org/10.1057/palgrave.emr.1500030>.
2. Da Silveira G., Borenstein D., Fogliatto F. S. Mass customization: literature review and research directions. *Int. Journal of Production Economics*. 2001. V. 72. № 1. P. 1–13. URL: <https://econpapers.repec.org/article/eeeeproeco/>.
3. Piller F. T., Moeslein K., Stotko C. M. Does Mass Customization Pay? An economic approach. *Production Planning and Control*. 2004. V. 15. № 4. P. 435–444. URL: <https://doi.org/10.1080/0953728042000238773>.
4. Wind J. R. Customerization: The Next Revolution in Mass Customization. *Journal of Interactive Marketing*. 2001. Vol. 15. № 1. P. 13–21. URL: [https://doi.org/10.1002/1520-6653\(200124\)15:13.0.CO;2-%23](https://doi.org/10.1002/1520-6653(200124)15:13.0.CO;2-%23).
5. Jiang S., Li J., Fu Y. Deep Learning for Fashion Style Generation. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* (Early Access). 26 February 2021, P. 67–75.
6. Kayed M., Anter A., Mohamed H. Classification of Garments from Fashion MNIST Dataset Using CNN LeNet-5 Architecture. *2020 International Conference on Innovative Trends in Communication and Computer Engineering (ITCE)*. 26 March 2020. P. 6–12.
7. Kharfan M., Vicky Wing Kei Chan. A data-driven forecasting approach for newly launched seasonal products by leveraging machine-learning approaches. *Annals of Operations Research*, 15 June 2020. P. 57–63.
8. Liu N., Chow P. & Zhao H. Challenges and critical successful factors for apparel mass customization operations: recent development and case study. *Ann Oper Res*. 2020. № 291. P. 531–563.
9. Slavinska A., Syrotenko O., Mytsa V., Dombrovska O. Development of an adaptive method for regulating corset comfort based on the parameters of design zones identification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. V. 5. № 1 (107). P. 71–81. <http://journals.uran.ua/eejet/issue/view/12861>.
10. Slavinska, A., Mytsa, V., Syrotenko, O., Dombrovska, O. Devising a Method to Parametrize the Jacket Style Varieties Through the Modification of Topological Series Structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* *this link is disabled*. 2021. № 3. P. 92–105.
11. Slavinska, A.L., Mytsa, V.V., Syrotenko, O.P., Dombrovska, O.M. Method of optimization of geometric transformations of design surfaces of a man's jacket. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* *this link is disabled*. 2021. № 1031(1). P. 12–21.
12. Shajini, M., Ramanan, A. An improved landmark-driven and spatial-channel attentive convolutional neural network for fashion clothes classification. *Vis Comput*. 2021. № 37. P. 1517–1526.
13. Xu Y., Thomassey S. & Zeng X. Optimization of garment sizing and cutting order planning in the context of mass customization. *Int J Adv Manuf Technol*. 2020. № 106. P. 3485–3503.
14. Yan Y., Gupta S., Schoefer K. et al. A Review of E-mass Customization as a Branding Strategy. *Corp Reputation Rev*. 2020. № 23. P. 215–223.

А. В. ЗАЄЦЬ

здобувач кафедри біотехнології, шкіри та хутра
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0009-0006-9977-6109

О. А. АНДРЕЄВА

доктор наук з технології шкіри та хутра, професор,
професор кафедри біотехнології, шкіри та хутра
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID: 0000-0001-8374-2306

ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ АКРИЛОВИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ РІДИННОГО ОЗДОБЛЕННЯ ШКІРИ

На сьогоднішній день стала діяльність вітчизняних підприємств галузі значною мірою залежить від надходження імпортованих хімічних матеріалів для обробки шкіри. Виходячи з недостатньо повного освітлення їх будови та властивостей у проспектах та рекламній продукції фірм-виробників, більш докладне дослідження цих матеріалів є важливим аспектом у розумінні технологічних процесів та прогнозуванні ефективності їх проведення.

З урахуванням особливої місії рідинного оздоблення у післядубильному формуванні структури та властивостей дерми, на підставі аналізу останніх практичних здобутків і теоретичних підходів у шкіряному виробництві сформульовано мету даної роботи – дослідження будови та властивостей сучасних комерційних матеріалів для рідинного оздоблення у вигляді акрилових полімерів Syntan RS 540 та Bioplen TM, призначених для додублювання-наповнювання шкіри.

Експериментально встановлено основні фізико-хімічні властивості зазначених засобів, їх сумісність з поширеними на практиці хімічними матеріалами для обробки шкіри. Сумісність полімерів з колагеном дерми показана на прикладі желатину (як моделі та похідної колагену) під час визначення температури плавлення, а також шляхом обробки шкіряного напівфабрикату Vet блу, одержаного зі шкури великої рогатої худоби за діючою методикою. Доведено, що у порівнянні з Bioplen TM використання у додублюванні-наповнюванні полімеру Syntan RS 540 покращує показники міцності, видовження та виходу Красу по товщині. За результатами ІЧ-спектроскопічних досліджень встановлено поліфункціональну природу полімерних сполук. Одержані результати будуть використані при створенні технології виробництва шкір сучасного асортименту, оскільки сприятимуть визначенню закономірностей процесів рідинного оздоблення, удосконаленню технологічного регламенту, і, нарешті, більш раціональному використанню сировинно-матеріальних ресурсів.

Ключові слова: акрилові полімери, будова, властивості, желатин, колаген, шкіра, рідинне оздоблення.

A. V. ZAIETS

Degree Applicant at the Department of Biotechnology, Leather and Fur
Kyiv National University of Technology and Design
ORCID: 0009-0006-9977-6109

O. A. ANDREYEVA

Doctor of Science in Technology of Leather and Fur, Professor,
Professor at the Department of Biotechnology, Leather and Fur
Kyiv National University of Technology and Design
ORCID: 0000-0001-8374-2306

RESEARCH OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ACRYLIC POLYMERS FOR LEATHER LIQUID FINISHING

To date, the activity of domestic enterprises in the industry largely depends on the arrival of imported chemical materials for leather processing. Based on the insufficiently complete illumination of their structure and properties in the prospectuses and advertising products of manufacturing companies, a more detailed study of these materials is an important aspect in understanding technological processes and predicting the effectiveness of their implementation.

Taking into account the special mission of liquid finishing in the post-tanning formation of the structure and properties of the dermis, on the basis of the analysis of the latest practical achievements and theoretical approaches in leather production, the purpose of this work is formulated – the research of the structure and properties of modern commercial materials for liquid finishing in the form of acrylic polymers Syntan RS 540 and Bioplen TM, intended for skin retanning and filling. The main physico-chemical

properties of the mentioned products, their compatibility with the main chemical materials for skin treatment have been established experimentally. The compatibility of polymers with collagen of the dermis is shown on the example of gelatin (as a collagen model and derivative) during the determination of the melting point, as well as by processing the Wet Blue leather semi-finished product obtained from the cattle hide according to the current method. It has been proven that in comparison with Bioplen TM, the use of Syntan RS 540 polymer in retanning and filling improves the indicators of strength, elongation and yield of the Crust in thickness. According to the results of IR spectroscopic research, the polyfunctional nature of polymer compounds was established. The obtained results will be used in the creation of technology for the production of leathers of a modern range, as they will contribute to the determination of the laws of liquid finishing processes, the improvement of technological regulations, and, finally, more rational use of raw material resources.

Key words: acrylic polymers, structure, properties, gelatin, collagen, leather, liquid finishing.

Постановка проблеми

В умовах ринкової економіки одержання необхідного рівня споживчих та експлуатаційних властивостей шкіряних виробів за умови економного витрачання матеріальних та енергетичних ресурсів під час їх виготовлення неможливе без продуманого вибору матеріалів та способів обробки, які забезпечуватимуть ці вимоги. Через незадовільний стан хімічної бази робота вітчизняних галузевих підприємств значною мірою пов'язана з надходженням імпортованих матеріалів для обробки шкіри. Проте, у проспектах та рекламній продукції фірм-виробників не завжди надається достатня та об'єктивна інформація щодо запропонованих засобів. Тому, дослідження будови та властивостей останніх є важливим аспектом у розумінні технологічних процесів та прогнозуванні результатів їх проведення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

З практики шкіряного виробництва добре відомо, що після процесу дублення процесам рідинного оздоблення відводиться особлива місія у формуванні структури та властивостей шкіри. Головним чином, це стосується процесів жирування та додублювання-наповнювання, як найбільш відповідальних за міцність, м'якість, комфортність, наповнення та інші важливі характеристики шкіряних матеріалів.

Аналіз чисельних досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених [5; 2; 12; 15], а також результати власних доробок [9; 7; 4; 6] вказують на те, що вибір хімічних матеріалів для проведення даної технологічної стадії має закріпити ефект попередніх обробок, з одного боку, й забезпечити очікуваний ефект від майбутніх дій, з іншого. Одними з найбільш перспективних матеріалів для додублювання-наповнювання вважаються полімерні сполуки на базі ненасичених карбонових кислот, використання яких сприяє більш раціональному використанню сировинно-матеріальних ресурсів та покращенню складу відпрацьованих робочих розчинів, а отже, і промислових стоків [11; 16; 14; 10]. З метою розширення асортименту готової продукції і хімічних матеріалів для її виготовлення виникає нагальна потреба у пошуку сучасних ефективних засобів, що, у свою чергу, обумовлює необхідність визначення хімічної природи, властивостей і технологічних можливостей хімічних реагентів нового покоління.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є дослідження будови та властивостей сучасних комерційних матеріалів для рідинного оздоблення у вигляді акрилових полімерів, призначених для додублювання-наповнювання шкіри. За об'єкт дослідження обрано два полімерних матеріали промислового походження: Syntan RS 540 (фірма-виробник Smit & Zoon, Нідерланди) та Bioplen TM (фірма-виробник Biokimica, Італія). Для реалізації поставленої мети у роботі використали традиційні та сучасні фізико-хімічні та інструментальні методи аналізу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Основні показники акрилових полімерів наведені у табл. 1, з якої видно, що вони обидва мають аніонну природу і являють собою рідини різної густини, добре розчинні у воді та сумісні з поширеними хімічними матеріалами для обробки шкіри.

Сумісність полімерів з колагеном дерми оцінювали на прикладі желатину (як моделі та похідної колагену) під час визначення температури плавлення, а також за результатами обробки шкіряного напівфабрикату Вет блу, одержаного зі шкури ВРХ за відомою методикою. При визначенні температури плавлення желатину, яка характеризує міцність зв'язків між желатином та застосовуваним для обробки матеріалом (у даному випадку полімером), встановлено підвищення цього показника на 2 °C у разі використання Syntan RS 540 (рис. 1), що вказує на дещо більшу взаємодію у системі (желатин-Syntan RS 540), ніж у системі (желатин-Bioplen TM).

Таблиця 1

Основні показники досліджуваних матеріалів

Показник (характеристика)	Syntan RS 540	Bioplen TM
1	2	3
Зовнішній вигляд	менш густа прозора безбарвна рідина	більш густа рідина бурштинового кольору
Хімічна природа	акриловий полімер	акриловий полімер
Заряд (природа)	аніонний	аніонний
Розчинність у воді	добра	добра
Сухий залишок, %	26,0	22,4
pH 10 %-ого розчину	5,0 ±	6,0 ±
Стійкість до дії:		
– кислот	+	+*
– дубильних сполук хрому	+	+*
– рослинних дубителів	+	+*
– жирувальних, у тому числі модифікованих, речовин	+	+*

* стійкий до значення pH 4,0.

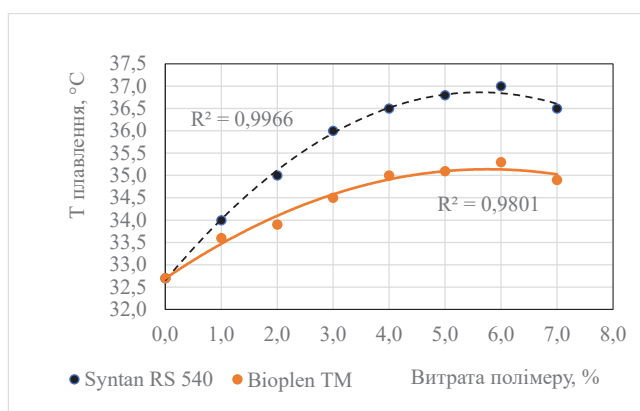


Рис. 1. Вплив полімерів на температуру плавлення желатину

Для з'ясування технологічних можливостей досліджуваних полімерних сполук провели обробку напівфабрикату Вет блу за відомою схемою [3]: промивання – нейтралізація – промивання – жирування – додублювання-наповнювання із заміною танідів квебрахо на акриловий полімер – промивання. При цьому умови обробки дослідних груп відрізнялися лише видом полімеру під час проведення додублювання-наповнювання за таких параметрів: РК 1, температура 35–40 °С, тривалість 1,0 год, витрата полімеру 2,0% у перерахунку на сухий залишок; перемішування постійне.

Під час експерименту ніяких ускладнень не виникало, а одержаний Краст (шкіра до покриття) мав чисту лицьову та бахтарм'яну поверхню, приймний гриф. Після сушіння та витягування зразки шкіри піддавали фізико-механічним випробуванням, на підставі яких було встановлено, що використання полімеру Syntan RS 540 у порівнянні з Bioplen TM покращує показники шкіри (табл. 2): так, показник міцності шкіри в цілому σ_p підвищується на 7,7% відн., міцності лицьового шару σ_l на 12,7% відн., видовження при напруженні 10 МПа на 6,6% відн., виходу по товщині на 10,7% відн., коефіцієнту розподілу в різних напрямках шкіри в 1,1–1,4 рази. Зменшення різниці між показниками міцності шкіри в цілому та міцності її лицьового шару (на 5,35% відн.) дозволяє передбачити більш рівномірний розподіл компонентів у структурі дерми, отже, й більший вихід по площі і більш раціональне використання дефіцитної шкірсировини.

ІЧ-спектроскопічні дослідження полімерів проводили на приладі Spectrum VX Perkin Elmer (США) в діапазоні частот 400–4000 cm^{-1} . Для реєстрації ІЧ-спектрів одну краплю полімеру розміщали між двома таблетками бромиду калію. Інтерпретацію одержаних спектрів виконували на підставі відкритих першоджерел з інфрачервоної спектроскопії [1; 13; 8].

Таблиця 2

Показники Красту (шкіри до покриття)

Показник	Syntan RS 540	Bioplen TM
Межа міцності при розтягу σ_p 10 МПа	1,30	1,20
Міцність лицьового шару σ_l 10 МПа	1,26	1,10
$\Delta s = 100 \times ((\sigma_p - \sigma_l) / \sigma_p)$, %	3,1	8,3
Видовження при напруженні 10 МПа Δl , %	35,0	32,7
Підвищення виходу по товщині, %	16,8	15,0
Коефіцієнт рівномірності розподілу σ_p	0,62	0,59
Коефіцієнт рівномірності розподілу σ_l	0,60	0,44
Коефіцієнт рівномірності розподілу Δl	0,70	0,61

На наявність у структурі полімерів певних функціональних угруповань вказує присутність на спектрах піків, яким відповідають (рис. 2):

- валентні коливання ОН-груп карбонових кислот (уширена смуга в області частот 3300 см^{-1} , вузька смуга в області $\sim 1400 \text{ см}^{-1}$);
- валентні коливання групи С=C алкенів (1639 см^{-1});
- валентні коливання групи СО карбонових кислот ($\sim 1450 \text{ см}^{-1}$);
- деформаційні коливання групи ОН спиртів ($\sim 1350 \text{ см}^{-1}$) тощо.

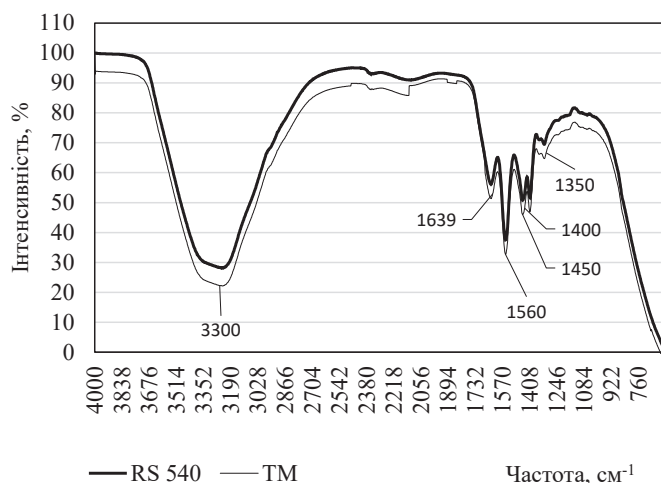


Рис. 2. Вихідні спектри полімерів

Зазначене свідчить про поліфункціональну природу досліджуваних полімерних сполук і дає підставу для припущення їх взаємодії з колагеном. У подальшому планується підтвердити це припущення шляхом дослідження особливостей взаємодії у системі (желатин-полімер).

Висновки

Досліджено будову та властивості сучасних комерційних матеріалів для рідинного оздоблення шкір у вигляді акрилових полімерів. Встановлено їх основні фізико-хімічні властивості, сумісність з поширеними на практиці хімічними матеріалами для обробки шкіри. Сумісність полімерів з колагеном дерми показана на прикладі желатину (як моделі та похідної колагену) під час визначення температури плавлення, а також шляхом обробки шкіряного напівфабрикату Вет блу зі шкіри ВРХ. Експериментально встановлено, що використання для додублювання-наповнювання Syntan RS 540 у порівнянні з Bioplen TM покращує показники міцності, видовження та виходу Красту по товщині. За результатами ІЧ-спектроскопічних досліджень виявлено поліфункціональну природу задіяних у роботі полімерних сполук. У подальшому плануються ІЧ-спектроскопічні дослідження системи «желатин-полімер».

Одержані результати будуть використані при створенні технології виробництва шкір сучасного асортименту, оскільки сприятимуть визначенню закономірностей процесів рідинного оздоблення, удосконаленню технологічного регламенту, і, як результат, більш раціональному використанню сировинно-матеріальних ресурсів.

Список використаної літератури

1. Воронов С. А., Дончак В. А., Когут А. М. Органічна хімія. Львів: Львівська політехніка, 2021. 488 с.

2. Грищенко І. М., Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р. Поліфункціональні шкіряні матеріали : монографія. Київ : Фенікс, 2013. 268 с.
3. Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р., Охмат О. А. Технологія і матеріали виробництва шкіри. Київ : Фенікс, 2009. 580 с.
4. Заєць А., Андреева О. Традиційні підходи і новітні розробки в області рідинного оздоблення натуральної шкіри. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2023. № 4 (323). С. 131–138. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-323-4-131-137
5. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів : монографія / за ред. А. Г. Данилковича. Київ : Фенікс, 2012. 342 с.
6. Ніконова А. В., Андреева О. А. Ресурсоощадна технологія виробництва одягових шкір : монографія. Київ : КНУТД, 2023. 172 с.
7. Первая Н. В., Андреева О. А., Лошкарёва І. І. Сучасні тренди вдосконалення процесів рідинного оздоблення шкіри. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 5 (277). С. 126–133. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2019-277-5-126-133>
8. Сучасні методи ідентифікації хімічних сполук / уклад. Г. Л. Юсіна. Краматорськ : ДДМА, 2020. 102 с. URL: http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/hiop/metod/127_SMIXS_Lab.pdf (дата звернення: 25.01.2024).
9. Andreyeva O., Maistrenko L. The investigation of new polymeric compounds for leather treatment. *Acta tehnica corviniensis – Bulletin of Engineering*. 2014. Tome VII. P. 23–26. URL: <https://acta.fih.upt.ro/pdf/archive/ACTA-2014-2.pdf> (дата звернення: 25.01.2024).
10. Canudas M., Menna N., Torrelles A., de Pabloa J., Morera J. M. Novel approaches in the use of polyacrylate ester-based polycarboxylates (PCEs) as leather retanning agents. *Materials Advances*. 2020. No. 1. P. 3378–3386. DOI: 10.1039/D0MA00507J
11. Jianzhong M., Hua L. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2008. Vol. 103 (11). P. 363–369. URL: <https://journals.uc.edu/index.php/JALCA/article/view/3089/2361> (дата звернення: 25.01.2024).
12. Sathish M., Subramanian B., Rao J. R., Fathima N. Deciphering the role of individual retanning agents on physical properties of leathers. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2019. Vol. 114 No. 3. P. 94–102. URL: <https://journals.uc.edu/index.php/JALCA/article/view/1586>
13. Silverstein R. M., Webster F. X., Kiemle D. J., Bryce D. L. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 8th ed. Wiley, 2014. 464 p.
14. Tian Z., Ma J., Liu Q., Zhang H. Preparation and application of novel amphoteric acrylic retanning agents to improve dye absorption. *Reaction Chemistry & Engineering*. 2023. No. 3. 00221. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2RE00221C>
15. Zarlok J., Kowalska M., Smiechowski K. Effect of the type of retanning on hygienic properties of crust leathers. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2017. Vol. 101 (1). P. 21–26. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6962555>
16. Zou X., Wu H., Ye Q. Synthesis and properties of maleic acid monoester-methacrylate-methacrylic acid terpolymer as retanning fat-liquor agent. *Shiyu Huagong (Petrochemical Technology)*. 2009. Vol. 38 (12). P. 1327–1330.

References

1. Voronov, S. A., Donchak, V. A., & Kohut, A. M. (2021). *Orhanichna khimiia [Organic chemistry: textbook]*. Lviv: Lvivska politekhnika [in Ukrainian].
2. Hryshchenko, I. M. Danylkovych, A. H., & Mokrousova, O. R. (2013). *Polifunktsionalni shkiriani materialy [Polyfunctional leather materials] [Monograph]*. Kyiv: Feniks [in Ukrainian].
3. Danylkovych, A. H., Mokrousova, O. R., & Okhmat, O. A. (2009). *Tekhnolohiia i materialy vyrobnytstva shkiry [Technology and materials of leather production]*. Kyiv: Feniks [in Ukrainian].
4. Zaiets, A., & Andreieva, O. (2023). *Tradytiini pidkhody i novitni rozrobky v oblasti ridynnoho ozdoblennia naturalnoi shkiry [Traditional approaches and the latest developments in the field of liquid decoration of natural leather]*. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky*. № 4 (323). P. 131–138. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-323-4-131-137 [in Ukrainian].
5. *Innovatsiini tekhnolohii vyrobnytstva shkirianykh i khutrovyykh materialiv ta vyrobiv [Innovative technologies for the production of leather and fur materials and products] (2012)*. [Monograph] / ed. A. H. Danylkovycha. Kyiv: Feniks [in Ukrainian].
6. Nikonova, A. V., & Andreieva, O. A. (2023). *Resursooshchadna tekhnolohiia vyrobnytstva odiahovykh shkir [Resource-saving technology for the production of clothing skins] [Monograph]*. Kyiv: KNUITD [in Ukrainian].
7. Pervaia, N. V., Andreieva, O. A., & Loshkarova, I. I. (2019). *Suchasni trendy vdoskonalennia protsesiv ridynnoho ozdoblennia shkiry [Modern trends in the improvement of liquid skin finishing processes]*. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky*. № 5 (277). P. 126–133. DOI: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2019-277-5-126-133> [in Ukrainian].

8. Suchasni metody identyfikatsii khimichnykh spoluk [Modern methods of identification of chemical compounds] (2020). / comp. H. L. Yusina. Kramatorsk: DDMA URL: http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/hiop/metod/127_SMIXS_Lab.pdf [in Ukrainian].
9. Andreyeva, O., & Maistrenko, L. (2014). The investigation of new polymeric compounds for leather treatment. *Acta tehnica corviniensis – Bulletin of Engineering*. Tome VII. P. 23–26. URL: <https://acta.fih.upt.ro/pdf/archive/ACTA-2014-2.pdf> [in English].
10. Canudas, M., Menna, N., Torrelles, A., de Pablo, J., & Morera, J. M. (2020). Novel approaches in the use of polyacrylate ester-based polycarboxylates (PCEs) as leather retanning agents. *Materials Advances*. No. 1. P. 3378–3386. DOI: 10.1039/D0MA00507J [in English].
11. Jianzhong, M., & Hua, L. (2008). Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers. *Journal of the American Leather Chemists Association*. Vol. 103 (11). P. 363–369. URL: <https://journals.uc.edu/index.php/JALCA/article/view/3089/2361> [in English].
12. Sathish, M., Subramanian, B., Rao, J. R., & Fathima, N. (2019). Deciphering the role of individual retanning agents on physical properties of leathers. *Journal of the American Leather Chemists Association*. Vol. 114 No. 3. P. 94–102. URL: <https://journals.uc.edu/index.php/JALCA/article/view/1586> [in English].
13. Silverstein, R. M., Webster, F. X., Kiemle, D. J., & Bryce, D. L. (2014). *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. 8th ed. Wiley [in English].
14. Tian, Z., Ma, J., Liu, Q., & Zhang, H. (2023). Preparation and application of novel amphoteric acrylic retanning agents to improve dye absorption. *Reaction Chemistry & Engineering*. No. 3. 00221. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2RE00221C> [in English].
15. Zarlok, J., Kowalska, M., & Smiechowski, K. (2017). Effect of the type of retanning on hygienic properties of crust leathers. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. Vol. 101 (1). P. 21–26. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6962555> [in English].
16. Zou, X., Wu, H., & Ye, Q. (2009). Synthesis and properties of maleic acid monoester-methacrylate-methacrylic acid terpolymer as retanning fat-liquor agent. *Shiyu Huagong (Petrochemical Technology)*. Vol. 38 (12). P. 1327–1330 [in English].

М. Є. РАЦУК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри хімічних технологій,
експертизи та безпеки харчової продукції
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1159-206X

Т. А. ЮРОВА

старший викладач кафедри хімічних технологій,
експертизи та безпеки харчової продукції
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-8147-7024

Є. Є. КОЛНОШЕНКО

магістр кафедри хімічних технологій,
експертизи та безпеки харчової продукції
Херсонський національний технічний університет

Д. А. ЯЦЕНКО

студент кафедри хімічних технологій,
експертизи та безпеки харчової продукції
Херсонський національний технічний університет

ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕМУЛЬСІЙНИХ КРЕМІВ ДЛЯ ОБЛИЧЧЯ

Косметичні емульсійні креми увійшли у повсякденні потреби життя кожної родини. Через прагнення мати зволожену шовковисту шкіру і відтягнути момент появи зморшок попит на креми зростає з кожним роком. Відбувається стрімке удосконалення технологій, складників, різноманітність інгредієнтів стає все більш широкою. Емульсійні креми – це однорідна суміш двох основних фаз: водної та жирової типу вода – олія, олія – вода або змішаного типу, до складу яких можуть бути внесені біологічно активні добавки (вітаміни, настої та екстракти рослинної сировини тощо). Враховуючи анатомічні та фізіологічні особливості шкіри на різних ділянках, що визначають необхідність інтенсивного косметичного впливу і, відповідно, вимоги до складу, дерматологічні, косметичні, споживчі характеристики кремів, створення кремів на основі емульсії потребує використання цілого комплексу допоміжних речовин, які забезпечують стабільність крему.

Допоміжні речовини проявляють біологічну активність, що дозволяє їм включатись у деякі біохімічні процеси структур шкіри, підсилюючи косметичну ефективність діючих інгредієнтів. В той же час їх вплив не завжди є безпечним для здоров'я та шкіри споживача, тому дослідження складників косметичних засобів є надважливим завданням.

Проведено дослідження складових емульсійних косметичних кремів для обличчя різних торгових марок: «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream», «Biotherm Aquasource Gel», «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream». Визначено основні активні інгредієнти та проаналізовано їх вплив на властивості косметичних засобів. Показано, що досліджені креми не містять в своєму складі компонентів, які здатні негативно впливати на стан шкіри. Встановлено, що за органолептичними показниками досліджувані зразки повністю відповідають нормативній документації. Експертним методом проведена бальна оцінка емульсійних косметичних кремів для обличчя. Визначено, що крем «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream» за органолептичними показниками отримав максимальну кількість балів, але більш ефективним за своєю дією виявився емульсійний крем «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream».

Ключові слова: косметичні засоби, емульсійний крем, активні інгредієнти, органолептичні показники, споживчі характеристики кремів.

M. E. RATSUK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Chemical Technologies,
Expertise and Food Safety
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-1159-206X

T. A. YUROVA

Senior Lecturer at the Department of Chemical Technologies,
Expertise and Food Safety
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-8147-7024

YE. YE. KOLNOSHENKO

Master at the Department of Chemical Technologies,
Expertise and Food Safety
Kherson National Technical University

D. A. YATSENKO

Student at the Department of Chemical Technologies,
Expertise and Food Safety
Kherson National Technical University

COMPARATIVE INVESTIGATION OF EMULSION CREAMS FOR THE FACE

Cosmetic emulsion creams have become a part of everyday life needs of every family. Due to the desire to have moisturized, silky skin and delay the appearance of wrinkles, the demand for creams grows every year. There is a rapid improvement of technologies, components, the variety of ingredients is becoming wider. Emulsion creams are a homogeneous mixture of two main phases: aqueous and fat type, water-oil, oil-water or mixed type, which may contain biologically active additives (vitamins, infusions and extracts of plant raw materials, etc.). Taking into account the anatomical and physiological features of the skin in various areas, which determine the need for intensive cosmetic exposure and, accordingly, the requirements for the composition, dermatological, cosmetic, consumer characteristics of creams, the creation of emulsion-based creams requires the use of a whole complex of auxiliary substances that ensure the stability of the cream.

Auxiliary substances show biological activity, which allows them to be included in some biochemical processes of skin structures, enhancing the cosmetic effectiveness of the active ingredients. At the same time, their influence is not always safe for our health and skin, so researching the ingredients of cosmetic products is an important task.

A study of the components of emulsion cosmetic face creams of various brands was conducted: "Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream", "Biotherm Aquasource Gel", "La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream". The main active ingredients were determined and their influence on the properties of cosmetic products was analyzed. It is shown that the studied creams do not contain components that can negatively affect the condition of the skin. It was established that the organoleptic parameters of the tested samples fully correspond to the regulatory documentation. The point evaluation of emulsion cosmetic creams for the face was carried out using the expert method. It was determined that the cream "Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream" received the maximum number of points according to organoleptic indicators, but the emulsion cream "La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream" was more effective in its effect.

Key words: *cosmetics, emulsion cream, active ingredients, organoleptic indicators, consumer characteristics of creams.*

Постановка проблеми

Український ринок косметики сьогодні є одним з найбільш перспективних після традиційних лідерів продажів. Косметика – це особлива група непродовольчих товарів, яка виконує різноманітні функції: задовольняє духовні та естетичні потреби людини, має медичну та гігієнічну мету, впливає на самопочуття і зовнішній вигляд людини [1].

Але не всі косметичні засоби мають позитивний вплив. Ефект від застосування косметики залежить не тільки від того, чи відповідає спектр її дії індивідуальним потребам шкіри. Вкрай важливим фактором в даному аспекті є склад засобів. Не можна забувати, що всі речовини, що наносяться на шкіру, потрапляють в кров. Відповідно, застосування неякісної косметики може викликати не тільки негативну реакцію шкіри у вигляді подразнень, почервоніння, висипань та ін., але й спричинити проблеми зі здоров'ям [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел [2–6] показав, що до складу косметичних засобів часто входять речовини, які можуть призвести до дуже негативних наслідків. Наприклад, в якості консервантів часто додають парабени, які небезпечні тим, що можуть спровокувати розвиток онкологічних захворювань, привести до безпліддя, а також порушити гормональний фон організму. Що стосується впливу безпосередньо на шкіру, то існують данні про появу ознак передчасного старіння при довготривалому використанні косметичних засобів, які мають в своєму складі саме зазначені речовини. До небезпечних компонентів також слід віднести пропіленгліколь та етиленгліколь, наявність яких в складі косметики може привести до появи кропивниці, екземи та інших захворювань шкіри. Зважаючи на це, важливим є аналіз рецептури косметичних засобів на наявність потенційно небезпечних компонентів.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є дослідження складу та експертна оцінка емульсійних кремів для обличчя відомих виробників.

Викладення основного матеріалу дослідження

Емульсійні креми – це особливий тип косметичних засобів, які поєднують в собі воду та олію. Вони створюються шляхом змішування складників, що не змішуються між собою, за допомогою емульгатора. Емульсійні креми широко застосовуються у косметології та становлять основу багатьох зволожуючих та заспокійливих засобів для шкіри. Серед переваг емульсійних кремів слід відзначити зволожуючу та заспокійливу дію: оскільки емульсійні креми містять воду, вони допомагають зволжити шкіру, а олійні компоненти у складі емульсійних кремів допомагають заспокоїти шкіру та зменшити запалення [7].

Емульсійні креми повинні виготовлятися згідно з нормативною документацією щодо рецептур та технологічних інструкцій, які затверджені в установленому порядку з дотриманням санітарних вимог для підприємств парфумерно-косметичної промисловості. Основні вимоги до якості кремів наведені у ДСТУ 4765:2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови».

Головними споживчими характеристиками, за яким проводиться оцінювання якості емульсійного крему є органолептичні показники. Вони дозволяють швидко отримати уявлення про якість косметичного засобу, а при використанні експертного методу або бальної шкали звести до мінімуму суб'єктивність оцінки.

Органолептичне визначення має вирішальне значення, оскільки воно виявляє недоліки, які можуть серйозно вплинути на споживчий досвід. Наприклад, проблеми, такі як нерівномірність консистенції, відсутність або наявність неприємного аромату чи присмаку, можуть значно погіршити якість продукту і вплинути на репутацію виробника. Важливість органолептичного аналізу полягає в тому, що він забезпечує більш повне та глибоке розуміння характеристик продукту, що має ключове значення для виробників у забезпеченні високої якості своїх товарів.

Окрім зазначеного, органолептичний метод дослідження є важливим етапом в контролі якості продукції. Для виробників ключовим питанням є впевненість у відповідності продукції нормативним вимогам та задоволеність потреб споживачів. Останнє позитивно впливає на репутацію виробника, підвищує конкурентоспроможність косметичної продукції, що в свою чергу призводить для розширення ринку збуту та сприяє збільшенню продажів.

До органолептичних показників косметичних засобів відносять їх зовнішній вигляд, консистенцію, колір, запах, а в деяких випадках навіть смак.

Крем повинен мати рівномірну текстуру без включень чи видимих частинок. Його колір повинен відповідати природному кольору основних інгредієнтів. Текстура крему має бути однорідна, гладка, без грубих частинок чи сітчастої структури. Крем повинен легко розподілятися і швидко вбиратися в шкіру. Якщо крем призначений для застосування на губи чи інші ділянки шкіри, які можуть потрапляти в контакт з ротовою порожниною, його смак повинен бути нейтральним чи приємним, без домішок чи неприємних присмаків. Також крем повинен мати приємний і характерний для своїх інгредієнтів аромат, який не має бути надто насиченим або неприємним.

В роботі проводили дослідження органолептичних показників трьох емульсійних кремів: ТМ Lancome – «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream», ТМ Biotherm – «Biotherm Aquasource Gel», ТМ La Roche-Posay – «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream».

Крем торгової марки Lancome має рівномірну легку і гладку текстуру, легко наноситься на шкіру і швидко вбирається. Не залишає відчуття липкості чи жирності на шкірі. «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream» має приємний аромат, не надто насичений, є спокійним та освіжаючим, що відображає його специфікації як крему для заспокоєння шкіри. До складу крему входять екстракти Paeonia Suffruticosa / Paeonia Suffruticosa Root Extract, Rosa Gallica / Rosa Gallica Flower Extract – кореня піону/троянди, які забезпечують ніжний аромат та заспокоєння шкіри. Крем покращує стан шкіри, зменшуючи відчуття стягнутості і роздратування завдяки наявності у складі гіалуронової кислоти. Саме вона сприяє інтенсивному зволоженню шкіри та збереженню вологи, має антиоксидантні та заспокійливі властивості. Вміст Glycerin (гліцерин), який має зволожуючі властивості та допомагає зберегти вологу в шкірі та Sodium Hyaluronate (натрію гіалуронат), який є зволожуючим агентом і підтримує вологу в шкірі дозволяє зменшити ознаки стресу на шкірі, такі як почервоніння чи подразнення.

Крем торгової марки Biotherm має легку гелеподібну текстуру, яка швидко вбирається в шкіру, залишаючи її свіжою і зволоженою. До складу крему входить Hydroxyethylpiperazine ethane sulfonic acid – цей компонент використовується в косметичних засобах як зволожувач і заспокійливий агент та Hydroxyethyl urea – компонент, який допомагає підтримувати оптимальний рівень вологості у шкірі. Крем «Biotherm Aquasource Gel» має освіжаючий аромат, який може бути описаний як дискретний, досить нейтральний, з легким відтінком синтетичних складових. Він містить свіжі нотки, які надають відчуття чистоти і комфорту. У складі крему присутній Menthoxypropandiol – компонент, який має охолоджуючі властивості і допомагає зменшити подразнення шкіри, Capryloyl salicylic acid – інгредієнт, який має властивість відшаровування шкірних клітин і покращує текстуру шкіри, Vitreoscilla ferment – фермент, що має антиоксидантні властивості та сприяє регенерації шкіри. Крем надає інтенсивне зволоження, робить шкіру більш м'якою і гладкою, при тривалому застосуванні шкіра стає більш зволоженою і менше схильною до сухості, легка текстура крему допомагає створити відчуття свіжості і комфорту, особливо в спекотну погоду чи в умовах збільшеної вологості, Aquasource gel допомагає забезпечити відчуття комфорту і заспокоєння, підтримує природний баланс шкіри.

Крем «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream» має малопомітний аромат, який є досить нейтральним і мало вираженим, легку, некомедогенну текстуру, швидко вбирається в шкіру. Він зазвичай не залишає жирних або липких відчуттів після нанесення, дозволяючи шкірі виглядати свіжою та без блиску. Текстура крему забезпечує ефективну дію на проблемні ділянки шкіри, допомагаючи зменшити запалення, покращити стан шкіри і попередити появу нових висипань. Крем торгової марки La Roche-Posay містить компоненти, які допомагають заспокоїти та зменшити подразнення шкіри: Oryza sativa starch / rice starch – компонент, який має заспокійливі та зволожувальні властивості для шкіри; Isopropyl lauroyl sarcosinate – емомент, що використовується для забезпечення пом'якшення та очищення шкіри; Niacinamide – вітамін B₃ та Punica granatum pericarp extract – екстракт шкірки граната допомагають в боротьбі з акне та запаленням шкіри, мають антиоксидантні властивості та покращують загальний стан шкіри.

Загалом, аналізуючи склад емульсійних кремів для обличчя, можна зазначити, що в усіх досліджуваних зразках кремів не виявлено шкідливих, небезпечних або токсичних для шкіри складників.

Проведено дослідження органолептичних показників емульсійних кремів:

зразок 1 – ТМ Lancome – «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream»;

зразок 2 – ТМ Biotherm – «Biotherm Aquasource Gel»;

зразок 3 – ТМ La Roche-Posay – «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream».

Результати аналізу наведені у табл. 1.

Таблиця 1

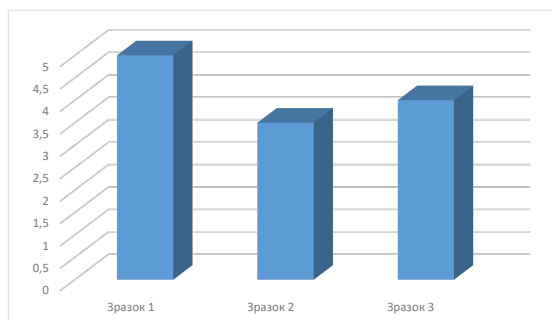
Органолептичні показники емульсійних кремів

Показник	Зразок		
	1	2	3
Зовнішній вигляд	Рівномірна кремоподібна маса, без видимих зерен чи включень	Рівномірна кремоподібна маса, без видимих зерен чи включень	Рівномірна кремоподібна маса, без видимих зерен чи включень
Консистенція	Однорідна, кремова	Однорідна, кремова	Однорідна, кремова
Колір	Світло-рожевий, притаманний доданим екстрактам колір	Білий, притаманний емульсійному крему колір	Білий, притаманний емульсійному крему колір
Запах	Нижній квітковий	Досить нейтральний з легким відтінком синтетичних складових	Досить нейтральний і мало виражений

Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що всі досліджені креми за органолептичними показниками відповідають вимогам, наведеним у ДСТУ 4765:2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови».

Для визначення найкращого, на думку споживачів, крему було проведено бальне оцінювання органолептичних показників емульсійних кремів.

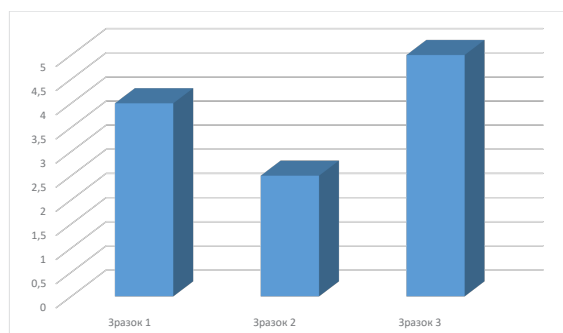
Наведені емульсійні креми оцінювали в межах від 1 до 5 балів, де 5 – це найкращі характеристики, 1 – найгірші властивості. Результати оцінювання наведено на рис. 1.



**Рис. 1. Бальна оцінка органолептичних показників емульсійних кремів:
зразок 1 – ТМ Lancome – «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream»;
зразок 2 – ТМ Biotherm – «Biotherm Aquasource Gel»;
зразок 3 – ТМ La Roche-Posay – «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream»**

Наведені дані свідчать про те, що найбільше привабливим для споживачів є крем «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream». Емульсійний крем «Biotherm Aquasource Gel» набрав найменше балів за рахунок нейтрального запаху з легким відтінком синтетичних складових.

Крім органолептичних показників важливим фактором є показник ефективності косметичних засобів. Для оцінювання ефективності кремів група споживачів користувалась дослідженими засобами протягом місяця. Ефективність дії кремів оцінено в межах 5 балів, де 5 – найкращий результат, 1 – найгірший показник. Одержані результати наведені на рис. 2.



**Рис. 2. Бальна оцінка показників ефективності емульсійних кремів:
зразок 1 – ТМ Lancome – «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream»;
зразок 2 – ТМ Biotherm – «Biotherm Aquasource Gel»;
зразок 3 – ТМ La Roche-Posay – «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream»**

Крем «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream» забезпечує гарне зволоження та помітний результат у боротьбі з проблемами шкіри, завдяки чому, даний зразок одержав найбільший бал. Емульсійний крем «Biotherm Aquasource Gel» лише зволожує шкіру, покращення стану шкіри не спостерігалось, тому він одержав найменшу оцінку.

Отже, за проведеними дослідженнями можна констатувати, що аналізовані зразки емульсійного крему за органолептичними показниками повністю відповідають вимогам нормативної документації. І хоча найбільше вподобань отримав крем «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream», краща ефективність дії характерна для крему «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream». Крем «Biotherm Aquasource Gel» набрав найменшу кількість балів у обох випадках.

Висновки

1. Проведено порівняльний аналіз складових емульсійних кремів для обличчя «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream», «Biotherm Aquasource Gel» та «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream». Встановлено, що в складі жодного з досліджуваних зразків немає шкідливих, небезпечних або токсичних для шкіри інгредієнтів.

2. Досліджено органолептичні показники та ефективність емульсійних кремів для обличчя обраних торгових марок. Встановлено, що всі зразки за органолептичними показниками відповідають вимогам, наведеним у ДСТУ

4765:2007 «Креми косметичні. Загальні технічні умови». Під час вивчення думки споживачів щодо аналізованої продукції встановлено, що за органолептичними показниками споживачам більше сподобався крем «Lancôme Hydra Zen Anti-Stress Moisturizing Cream», а за ефективністю дії «La Roche-Posay Effaclar Duo (+) Acne Treatment Cream». Крем «Biotherm Aquasource Gel» набрав найменшу кількість балів у обох випадках.

Список використаної літератури

1. Самуйлова Л. В., Пучкова Т. В. Косметична хімія : навч. вид. В 2 ч. Ч. 1: Інгредієнти. М.: Школа косметичних хіміків. 2005. 336 с.
2. 9 небезпечних компонентів в косметиці. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://miledi.ua/uk/9-vrednyh-komponentov-v-kosmetike>
3. Шкідливі інгредієнти в косметиці (чорний список). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://organic-eco.com.ua/shkidlyvi-ingredijenti-v-kosmetitsi-chorniy-spisok/>
4. Як вибрати безпечну косметику. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.epochtimes.com.ua/health/krasa-i-zdorovya/yak-vibrati-bezpechnu-kosmetiku-112366.html>
5. Небезпечні компоненти в косметичних засобах. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.molodo.me/blogs/news/dangerous-components-in-cosmetics>
6. Небезпечні інгредієнти в косметиці. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mermade.com.ua/nebezpechni-ingrediianti-v-kosmetitsi/>
7. Що таке емульсійні креми? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://reporter.zp.ua/shho-take-emulsijni-kremy.html>

References

1. Samuilova L.V., Puchkova T.V. (2005) Kosmetychna khimiia : navc. vyd. V 2 ch. Ch. 1: Inhrediienty. M. : Shkola kosmetychnykh khimikiv. 336 s.
2. 9 nebezpechnykh komponentiv v kosmetytsi. [Elektronyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://miledi.ua/uk/9-vrednyh-komponentov-v-kosmetike>
3. Shkidlyvi inhrediienty v kosmetytsi (chornyi spysok). [Elektronyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://organic-eco.com.ua/shkidlyvi-ingredijenti-v-kosmetitsi-chorniy-spisok/>
4. Iak vybraty bezpechnu kosmetyku. [Elektronyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.epochtimes.com.ua/health/krasa-i-zdorovya/yak-vibrati-bezpechnu-kosmetiku-112366.html>
5. Nebezpechni komponenty v kosmetychnykh zasobakh. [Elektronyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.molodo.me/blogs/news/dangerous-components-in-cosmetics>
6. Nebezpechni inhrediienty v kosmetytsi. [Elektronyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://mermade.com.ua/nebezpechni-ingrediianti-v-kosmetitsi/>
7. Shcho take emulsiini kremy? [Elektronyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://reporter.zp.ua/shho-take-emulsijni-kremy.html>

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.85

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.25>

К. О. АНТИПОВА

доктор філософії,
старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
ORCID: 0000-0002-9012-5290

В. С. РАЛЕНКО

викладач кафедри інженерії програмного забезпечення
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
ORCID: 0009-0009-4161-8468

**ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ТОКЕНІЗАТОРІВ В ТРАНСФОРМЕРНИХ
АРХІТЕКТУРАХ ДЛЯ ЗАДАЧІ МАШИННОГО ПЕРЕКЛАДУ**

Токенізація є першим кроком майже для всіх завдань обробки природної мови, і всі сучасні мовні моделі використовують алгоритми токенизації підслів для обробки вхідного тексту. Оскільки різні мови мають унікальні властивості, розробка алгоритму токенизації зазвичай є специфічною для конкретної мови. Попередньо навчені моделі для мов з обмеженими ресурсами для тренування використовують ті ж самі токенизатори, що і моделі для англійської. Вплив алгоритмів токенизації може бути різним для мов з обмеженими ресурсами, де слова можуть мати префікси та суфікси. Крім того, вплив різних методів токенизації не досліджено детально для малоресурсних мов, зокрема для української. В роботі виконується навчання токенизаторів типу WordPiece, BPE та Unigram для дослідження їхньої ефективності з точки зору точності машинного перекладу речень з англійської на українську. Щоб провести експериментальне порівняння роботи токенизаторів для задачі перекладу з англійської на українську, не використовувалася існуюча попередньо підготовлена мовна модель. Натомість було здійснено попереднє навчання власних мовних моделей середнього розміру на основі конфігурації та процедури навчання моделі Marian. Розроблений конвеєр операцій складається зі збору та очищення навчального корпусу пар речень, навчання токенизатора зі словником фіксованої довжини і попереднього навчання глибокої мовної моделі за допомогою обраного токенизатора. Після цього було виконано оцінку точності моделей із використанням таких метрик, як SacreBLEU та ROUGE. Отримані експериментальні результати підкреслюють роль токенизації в мовному моделюванні, зокрема для морфологічно багатих мов. Крім того, вища морфологічна вірогідність токенизації Unigram призводить до кращої продуктивності виконання завдання машинного перекладу природної мови.

Ключові слова: машинний переклад, мовна модель, токенизація, трансформерна архітектура.

К. О. ANTIPOVA

Ph.D., Senior Lecturer at the Department of Software Engineering
Petro Mohyla Black Sea National University
ORCID: 0000-0002-9012-5290

V. S. RALENKO

Lecturer at the Department of Software Engineering
Petro Mohyla Black Sea National University
ORCID: 0009-0009-4161-8468

**IMPLEMENTATION OF DIFFERENT TYPES OF TOKENIZERS IN TRANSFORMER
ARCHITECTURE FOR MACHINE TRANSLATION TASK**

Tokenization is the first step for almost all natural language processing tasks, and all modern language models use subword tokenization algorithms to process the input text. Due to the unique characteristics of various languages, the development of a tokenization algorithm typically requires language-specific customization. Pre-trained models for languages with limited training resources use the same tokenizers as models for English. The impact of tokenization algorithms may be different for resource-constrained languages, particularly those where words commonly feature prefixes and suffixes. In addition, the impact of different tokenization methods has not been studied in detail for low-resource languages, including Ukrainian. In this work, we train tokenizers such as WordPiece, BPE, and Unigram to

study their effectiveness in terms of the accuracy of machine translation of sentences from English into Ukrainian. To conduct an experimental comparison of tokenizers for the English to Ukrainian translation task, we did not use an existing pre-trained language model. Instead, we pre-trained our own medium-sized language models based on the configuration and training procedure of the Marian model. The developed pipeline of operations consists of collecting and cleaning the training corpus of sentence pairs, training a tokenizer with a fixed-length dictionary, and pre-training a deep language model using the selected tokenizer. After that, the accuracy of the models was evaluated using such metrics as SacreBLEU and ROUGE. The obtained experimental results emphasize the role of tokenization in language modeling, in particular for morphologically rich languages. In addition, the higher morphological accuracy of Unigram tokenization leads to better performance in natural language machine translation tasks.

Key words: language model, machine translation, tokenization, transformer architecture.

Постановка проблеми

Глибинні мовні моделі набули популярності з впровадженням маскованого мовного моделювання, в основі якого лежить архітектура трансформера. Успіх попередньо навчених мовних моделей-трансформерів в обробці природної мови призвів до появи широкого спектру налаштувань тренування моделей. Токенізація є першим кроком майже для всіх завдань обробки природної мови, і всі сучасні мовні моделі використовують алгоритми токенизації підслів для обробки вхідного тексту.

Токенізація підслів, популярна в літературі з нейронного машинного перекладу, створює токени на різних рівнях деталізації, від окремих символів до цілих слів. У результаті рідкісні слова розбиваються на підслова або на символи. Алгоритми токенизації підслів складаються з двох компонентів: процедури побудови словника, яка повертає словник потрібного розміру на основі вхідного тексту, і процедури токенизації, яка застосовує побудований словник до нового тексту, повертаючи послідовність токенів. Процедура токенизації тісно пов'язана з процедурою побудови словника.

Токенізація підслів надає моделі можливість підтримувати відносно невеликий розмір словникового запасу, і при цьому вивчати значущі контекстно-незалежні представлення. Крім того, токенизація підслів надає моделі можливість обробляти нові невідомі слова, розкладаючи їх на відомі підслова.

Оскільки різні мови мають унікальні властивості, розробка алгоритму токенизації зазвичай є специфічною для конкретної мови і вимагає певних лінгвістичних знань. Однак лише декілька з понад 7000 існуючих мов користуються перевагами спеціалізованих алгоритмів токенизації, в той час як для інших мов використовуються стандартизовані токенизатори по пробілах, який не може врахувати тонкощі різних мов.

Багатомовні моделі архітектурно схожі на одномовні моделі на основі трансформерів, але вони попередньо навчаються на багатомовних корпусах текстів. Великі мовні моделі спочатку навчаються на англійській мові, а попередньо навчені моделі для мов з обмеженими ресурсами для тренування використовують ті ж самі токенизатори. Вплив алгоритмів токенизації може бути різним для мов з обмеженими ресурсами, де слова можуть мати префікси та суфікси. Крім того, вплив різних методів токенизації не досліджено детально для малоресурсних мов, зокрема для української.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні мовні моделі-трансформери використовують алгоритми токенизації підслів, що базуються на кодуванні байтових пар (BPE) або Unigram. Оригінальна модель-трансформер використовує BPE [1].

Кодування байтових пар (Byte-Pair Encoding) було вперше запропоновано в 2015 році для нейронного машинного перекладу рідких слів [2]. BPE має за основу пре-токенизатор, який розбиває тренувальні дані на слова. Unigram – це алгоритм токенизації підслів, представлений у 2018 році для покращення моделей трансляції нейронних мереж [3].

WordPiece – це алгоритм токенизації підслів, який був вперше запропонований для голосового пошуку японською та корейською мовами та є дуже схожим на алгоритм BPE [4]. Алгоритм WordPiece використовується Google для попереднього навчання моделі BERT [5]. ROBERTA та BART застосовують BPE для необроблених байтів замість символів юнікоду [6; 7].

Наведені алгоритми токенизації мають однакову проблему: вважається, що у вхідному тексті пробіли використовуються для розділення слів. Однак не всі мови використовують саме пробіли як роздільники. Щоб загалом вирішити цю проблему, у 2018 році був представлений алгоритм SentencePiece як простий і незалежний від мови токенизатор і детокенизатор підслів для нейронної обробки тексту [8].

Моделі XLNET [9], ALBERT [10], T5 [11] та Marian [12] використовують бібліотеку SentencePiece, яка реалізує як BPE, так і токенизацію Unigram. Вплив токенизації не розглядається в жодній з вищезгаданих робіт, за винятком [6], де зазначено, що WordPiece дає невелику перевагу над BPE в їхньому дослідженні.

В публікації [8] представлено метод токенизації Unigram в контексті машинного перекладу і показано, що цей метод за продуктивністю схожий на BPE. В роботі [13] наведені подальші експерименти для дослідження впливу токенизації на результати нейронного машинного перекладу, але в усіх експериментах використовувався спільний словник BPE. В роботі [14] представлено порівняльний аналіз алгоритмів сімейства BPE, але вони не порівнюються з Unigram.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є порівняння ефективності різних алгоритмів токенизації з точки зору точності машинного перекладу речень з англійської на українську. Для того, щоб оцінити ефективність алгоритмів, тренуються різні види токенизаторів, а також виконується попереднє навчання моделей на основі процедури попереднього навчання моделі Marian. В якості вхідних даних виступає набір з речень англійською та відповідних речень українською.

Виклад основного матеріалу дослідження

Токенизація – це важливий етап попередньої обробки тексту для підготовки вхідних токенів для глибоких мовних моделей. WordPiece і BPE – це методи, які використовуються в таких відомих моделях, як BERT і GPT. Однак вплив токенизації може бути іншим для морфологічно багатих мов, де багато слів можна утворити додаванням префіксів і суфіксів. З токенизацією пов'язані такі операції, як згортання регістру, нормалізація, стеммінг, лематизація, видалення стоп-слів тощо. Алгоритми, що використовуються для виконання цих операцій, не є універсальними для всіх мов, оскільки кожна мова має свої унікальні особливості і відрізняється від інших лексичною, семантичною та морфологічною складністю.

Кодування байтових пар – це часто використовуваний токенизатор для попередньо навчених мовних моделей. Гранулярність BPE можна вважати середньою між символьним і словесним рівнями, так що токени здебільшого є підсловами, залежно від обсягу словника. У цьому методі спочатку витягуються всі унікальні слова. Потім будується базовий словник з усіх символів, що зустрічаються в унікальних словах. BPE вважається неоптимальним для тренування мовних моделей, оскільки цей метод неефективно використовує словниковий простір [15].

Подібно до BPE, WordPiece також базується на об'єднанні символів у тексті. Його основна відмінність від BPE полягає в тому, що WordPiece об'єднує символи з метою максимізації оцінки правдоподібності мовного моделювання, тобто коли ймовірність об'єднаних символів, поділена на індивідуальні ймовірності символів, є більшою, ніж у будь-якій іншій парі символів. WordPiece і BPE – це методи, в основі яких лежить розрахунок частоти появи слів або підслів, що потрібно для покращення здатності представляти окремі одиниці мови. Ці методи також допомагають розбити слова, які токенизер не вивчав під час тренування.

Токенизація на основі статистики появи слів призводить до того, що представлення даних залежать від того, наскільки поширеними є слова, а не від їх семантики. З іншого боку, пропонується застосовувати регуляризацію підслів шляхом використання декількох сегментацій підслів для підвищення стійкості моделей нейронного машинного перекладу, як це зроблено в SentencePiece [8].

Всі методи токенизації реалізують наступні кроки:

- нормалізація (будь-яке очищення тексту, яке вважається необхідним, наприклад, видалення пробілів або наголосів, нормалізація Unicode тощо);
- попередня токенизація (розбиття вхідної послідовності на слова);
- проведення вхідних даних через модель (з використанням попередньо токенизованих слів для створення послідовності токенів);
- постобробка (додавання спеціальних токенів токенизатора, створення маски уваги та ідентифікаторів типу токенів).

Після попередньої токенизації створюється набір унікальних слів і визначається частота появи кожного слова в тренувальному наборі даних. Далі BPE створює базовий словник, що складається з усіх символів, які зустрічаються в наборі унікальних слів, і вивчає правила поєднання для формування нового символу з двох символів базового словника. Остаточний словник будується шляхом об'єднання символів відповідно до частот послідовних символів або підслів. Оскільки BPE оперує з байтовими представленнями, словник може охоплювати лексеми з різних мов і неформальні послідовності символів, такі як емоді.

WordPiece спочатку ініціалізує словник, щоб включити кожен символ, присутній серед тренувальних даних, і поступово вивчає задану кількість правил поєднання. На відміну від BPE, WordPiece вибирає не найпоширенішу пару символів, а ту, яка максимізує ймовірність того, що тренувальні дані будуть додані до словника.

На відміну від BPE або WordPiece, Unigram ініціалізує свій базовий словник великою кількістю символів і поступово видаляє символи, щоб отримати менший словник. Базовий словник може, наприклад, відповідати всім попередньо лексемованим словам і найпоширенішим підрядкам.

Оскільки, на відміну від WordPiece, Unigram не базується на правилах поєднання, алгоритм має декілька способів токенизації нового тексту після навчання. Крім збереження словника Unigram зберігає ймовірність кожного токена в тренувальному наборі даних, щоб ймовірність кожної можливої токенизації можна було обчислити після завершення процесу навчання. Алгоритм вибирає найбільш ймовірну токенизацію, але також пропонує можливість вибірки можливої токенизації відповідно до її ймовірності. Ці ймовірності визначаються втратою, на якій навчено токенизатор.

Таблиця 1

Приклади результату роботи різних токенизаторів

WordPiece	BPE	Unigram
'system', '##atical', '##ly'	'system', 'atic', 'ally'	'-system', 'atic', 'ally'
'standard', '##ized'	'Gstandard', 'ized'	'-standard', 'ized'
'illustr', '##rate'	'Gillustr', 'ate'	'-illustrate'
'complete', '##ness'	'comp', 'let', 'eness'	'-complete', 'ness'
'одно', '##вимір', '##ні', 'масив', '##и'	'D²D°, 'GD¼D'D½', 'D¼D²D', 'D¼ÑкÑG', 'D½Ñк', 'GD¼D°ÑgD', 'D²D', 'Ñg', 'D¼DµÑÑк', 'D°D»ÑкD', 'D¼D²D°D½D, D''	'-одно', 'вимірн', 'і', '-масив', 'и'
'спеціалі', '##зо', '##ван', '##ии'	'Ñg', 'D¼DµÑÑк', 'D°D»ÑкD', 'D¼D²D°D½D, D''	'-', 'спеціалізован', 'ии'
'на', '15', '-', 'my', 'повер', '##сі'	'D½D°, 'G15', '-', 'D¼Ññ', 'GD¼D¼D²DµÑG', 'ÑgÑк'	'-на', '-15', '-', 'my', '-по', 'вер', 'сі'

Таблиця 2

Розрахунок метрик для моделей

Модель	Метрики		
	Accuracy	SacreBLEU	ROUGE-1
Власна, WordPiece	85.91	42.75	76.3
Власна, BPE	86.4	43.12	79.59
Власна, Unigram	86.52	43.63	83.21
T5-base	86.27	28.0	42.05

SentencePiece розглядає вхідні дані як необроблений вхідний потік, таким чином включаючи пробіл у набір символів для використання. Після чого застосовується алгоритм Unigram для створення відповідного словника. SentencePiece, як алгоритм токенизації для попередньої обробки тексту, можна використовувати з будь-якою з існуючих моделей обробки природної мови. Цей алгоритм розглядає текст як послідовність символів Unicode та замінює пробіли спеціальним символом «_». Всі моделі трансформерів, які використовують SentencePiece, використовують його в поєднанні з Unigram.

Щоб провести експериментальне порівняння цих трьох методів для задачі перекладу з англійської на українську, не використовувалася існуюча попередньо підготовлена мовна модель. Натомість було здійснено попереднє навчання власних мовних моделей середнього розміру на основі конфігурації та процедури навчання моделі Marian [16]. В якості базової моделі для порівняння результатів роботи власних моделей була використана модель T5-base, тренувана на датасеті C4, що складається з 364 613 570 речень.

Вхідні дані представлені датасетом kde4, який складається з 829 789 пар речень [17]. Після токенизації отримано три словника на 23 769 (WordPiece), 24 700 (BPE) та 24 989 (Unigram) токенів відповідно.

Процес токенизації відбувався у три етапи: застосування нормалізації для очищення тексту від неприпустимих символів, навчання токенизатора відповідно до заданого розміру словника, і обробка тексту за допомогою навченого токенизатора для отримання токенизованих даних попереднього навчання. Також було застосовано згортання регістру та нормалізацію NFC.

Розроблений конвеєр операцій складається зі збору та очищення навчального корпусу пар речень, навчання токенизатора зі словником фіксованої довжини і попереднього навчання глибинної мовної моделі за допомогою обраного токенизатора. Після цього було виконано оцінку точності моделей та ефективності токенизаторів.

Метрика SacreBLEU – це різновид BLEU (Bilingual Evaluation Understudy), що є орієнтованою на точність метрикою, яка вимірює перекриття між згенерованим та еталонним текстом. ROUGE (Recall Oriented Understudy for Gisting Evaluation) – це метрика, який вимірює перекриття між згенерованим і еталонним текстом з точки зору відтворення.

Отже, власні треновані моделі, які є значно меншими за сучасні моделі, дають не менший рівень точності. Моделі, навчені із використанням токенизації Unigram, забезпечують більшу точність, ніж моделі з BPE або WordPiece.

Висновки

В роботі досліджено вплив методів токенизації для речень українською, яка є мовою з обмеженою кількістю попередньо навчених мовних моделей. Для виконання цього завдання, були треновані мовні моделі невеликого розміру на основі моделі Marian з різними алгоритмами токенизації. Виконано порівняння трьох токенизаторів на різних рівнях гранулярності: їхні вихідні дані варіюються від символів до слів різної довжини. Було проведено тренування наступних токенизаторів: BPE, WordPiece, Unigram. Отримані експериментальні результати підкреслюють роль токенизації в мовному моделюванні, зокрема для морфологічно багатих мов. Крім того, вища морфологічна вірогідність токенизації Unigram призводить до кращої продуктивності виконання завдання перекладу природної мови.

Список використаної літератури

1. Vaswani, A. et al. (2017). Attention Is All You Need. *31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS)*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>
2. Sennrich, R., Haddow, B., & Birch, A. (2016). Neural Machine Translation of Rare Words with Subword Units. In *54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 1715–1725). Association for Computational Linguistics (ACL).
3. Kudo, T. (2018). Subword Regularization: Improving Neural Network Translation Models with Multiple Subword Candidates. In *Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)* (pp. 66–75).
4. Schuster, M., & Nakajima, K. (2012). Japanese and Korean voice search. In *2012 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP)* (pp. 5149–5152). IEEE.
5. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*.
6. Liu, Y., Ott, M., et al. (2019). Roberta: A robustly optimized bert pretraining approach. *arXiv preprint arXiv:1907.11692*.
7. Lewis, M., Liu, Y., et al. (2019). Bart: Denoising sequence-to-sequence pre-training for natural language generation, translation, and comprehension. *arXiv preprint arXiv:1910.13461*.
8. Kudo, T., & Richardson, J. (2018). SentencePiece: A simple and language independent subword tokenizer and detokenizer for Neural Text Processing. *Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*.
9. Zhilin Yang, Zihang Dai, et al. (2019). XLNet: Generalized autoregressive pretraining for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1906.08237*.
10. Zhenzhong Lan, Mingda Chen, et al. (2019). ALBERT: A lite BERT for self-supervised learning of language representations. *arXiv preprint arXiv:1909.11942*.
11. Colin Raffel, Noam Shazeer, et al. (2019). Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. *arXiv preprint arXiv:1910.10683*.
12. MarianNMT. (n.d.). <https://marian-nmt.github.io/>
13. Domingo, M., García-Martínez, M., Helle, A., Casacuberta, F., & Herranz, M. (2019). How much does tokenization affect neural machine translation?. In *International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing* (pp. 545–554). Cham: Springer Nature Switzerland.
14. Matthias Gall'e. (2019). Investigating the effectiveness of BPE: The power of shorter sequences. In *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)* (pp. 1375–1381). Association for Computational Linguistics.
15. Bostrom, K., & Durrett, G. (2020). Byte pair encoding is suboptimal for language model pretraining. *arXiv preprint arXiv:2004.03720*.
16. Wolf, T., Debut, L., Sanh, V., Chaumond, J., et al. (2019). HuggingFace's Transformers: State-of-the-art Natural Language Processing. *ArXiv, abs/1910.03771*.
17. Hugging Face. (n.d.). <https://huggingface.co/datasets/kde4>

А. М. АФАНАСЬЄВА

магістр кафедри електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0009-0006-4622-8053

В. М. ТКАЧОВ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0000-0002-6524-9937

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ВИСОКОМОБІЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА БАЗІ РОЮ БПЛА

Існує чимала кількість переваг використання безпілотних літальних апаратів для побудови мережі на великій території в порівнянні з існуючими рішеннями. А у зв'язку зі збільшенням популярності та використання безпілотних літаючих апаратів (далі – БПЛА), виникають нові проекти, спрямовані на вивчення поточних проблем, які, теоретично, можуть бути вирішені за допомогою дронів або роїв дронів.

БПЛА володіють великою мобільністю, оскільки вони можуть легко переміщатися на великі відстані. Це означає, що їх можна швидко розгортати та переносити з одного місця на інше в залежності від потреб мережі. Наприклад, у випадку зміни топографії або виникнення нових вимог до покриття зв'язку, БПЛА можуть бути легко перенесені в нові місця для оптимального покриття. Однією з ключових переваг використання БПЛА є їхній потенціал для автономної роботи. Вони можуть бути запрограмовані для виконання різних завдань без значного людського втручання. Наприклад, вони можуть автоматично відслідковувати стан мережі та, у випадку виявлення проблем або відмови, самостійно виправляти ситуацію шляхом відновлення зв'язку або переорієнтації. БПЛА мають здатність переміщатися у тривимірному просторі, що дозволяє їм забезпечувати покриття на широкій території порівняно з традиційними методами. Це дозволяє створювати мережі з більш широким охопленням та забезпечувати доступ до зв'язку в регіонах, де раніше це було складним або неможливим.

Проте створення мережі з безпілотних літальних апаратів може зіткнутися з рядом недоліків та складнощів. Спочатку, складність конфігурації може бути значним викликом. Налаштування мережі з БПЛА вимагає розуміння принципів роботи кожного дрона, вибір відповідної технології зв'язку та налаштування параметрів мережі. Це може вимагати значних зусиль і часу від кваліфікованих фахівців. Також, обмежена пропускна здатність може бути проблемою, особливо при передачі великої кількості даних. Залежно від технології зв'язку та кількості дронів у мережі, може виникнути обмеження на пропускну здатність мережі, що може обмежити її ефективність. Крім того, вартість впровадження та підтримки мережі з БПЛА може бути великою. Додатково, потрібно мати на увазі недостатню стійкість до перешкод. Залежно від середовища, в якому працюють дрони, можуть виникати проблеми зі стійкістю зв'язку через перешкоди, електромагнітні спотворення або інші фактори, що можуть погіршити продуктивність мережі. Ще виникає питання щодо потенційних загроз безпеки. Мережі з БПЛА можуть бути уразливі до кібератак, перехоплення сигналів або фізичних пошкоджень, що може призвести до втрати контролю над дронами або витоку конфіденційної інформації.

Тож, хоча мережі, побудовані роєм БПЛА стикаються з рядом викликів і обмежень, що потребують уважно-го вивчення та розв'язання, вони мають значний потенціал і переваги. Дослідження способів оптимізації конфігурації, забезпечення надійності та зменшення вартості впровадження таких мереж буде корисним для подальшого розвитку цієї технології. Такий підхід дозволить максимально використовувати потенціал мереж БПЛА та забезпечити їх успішне впровадження в різноманітних областях застосування.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати (БПЛА), мобільність, модель з'єднання, керуюча станція, конфігурація мережі, стійкість до перешкод, високомобільна мережа.

A. M. AFANASIEVA

Master at the Department of Electronic Computers
Kharkiv National University of Radioelectronics
ORCID: 0009-0006-4622-8053

V. M. TKACHOV

Ph.D, Associate Professor,
Professor at the Department of Electronic Computers
Kharkiv National University of Radioelectronics
ORCID: 0000-0002-6524-9937

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR BUILDING HIGH-MOBILITY COMPUTER NETWORKS BASED ON A SWARM OF UAVS

There are numerous advantages to using unmanned aerial vehicles (UAVs) for building networks over large territories compared to existing solutions. With the increasing popularity and utilization of UAVs, new projects are emerging to investigate current issues that theoretically can be addressed using drones or swarms of drones.

UAVs possess great mobility as they can easily traverse vast distances. This means they can be swiftly deployed and relocated according to network requirements. For example, in case of topographical changes or new demands for communication coverage, UAVs can be easily relocated to new areas for optimal coverage. One of the key advantages of utilizing UAVs is their potential for autonomous operation. They can be programmed to perform various tasks without significant human intervention. For example, they can automatically monitor network status and, in case of issues or failures, autonomously rectify the situation by restoring communication or reorienting themselves. UAVs have the ability to move in three-dimensional space, allowing them to provide coverage over a wide area compared to traditional methods. This enables the creation of networks with broader coverage and facilitates access to communication in regions where it was previously difficult or impossible.

However, the establishment of a network using UAVs may face several drawbacks and challenges. Initially, configuration complexity can be a significant challenge. Setting up a UAV network requires understanding the principles of operation of each drone, selecting appropriate communication technology, and configuring network parameters. This may require significant effort and time from qualified professionals. Additionally, limited bandwidth can be a problem, especially when transmitting large amounts of data. Depending on the communication technology and the number of drones in the network, there may be restrictions on the network's bandwidth, which can limit its effectiveness. Moreover, the cost of implementation and maintenance of a UAV network can be significant. Furthermore, insufficient resilience to obstacles must be taken into account. Depending on the environment in which drones operate, issues with communication stability may arise due to obstacles, electromagnetic distortions, or other factors that could degrade network performance. Additionally, there is the question of potential security threats. UAV networks may be vulnerable to cyber-attacks, signal interception, or physical damage, which could result in loss of control over the drones or leakage of confidential information.

Therefore, although networks built by a swarm of UAVs face a number of challenges and limitations that require careful study and resolution, they have significant potential and advantages. Research into methods to optimize configuration, ensure reliability, and reduce the cost of implementing such networks will be beneficial for further development of this technology. Such an approach will allow for maximal utilization of the potential of UAV networks and ensure their successful implementation in various application areas.

Key words: *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), mobility, connectivity model, control station, network configuration, obstacle resilience, high-mobility network.*

Постановка проблеми

В сучасному світі зростає потреба в ефективних комунікаційних системах, особливо на великих територіях, таких як сільська місцевість чи віддалені регіони. Забезпечення стабільного зв'язку на таких площах стає викликом через обмежену доступність інфраструктури та перешкоди від природного середовища.

У сучасний епоху, налаштування мереж на великих площах зазвичай виконується за допомогою традиційних методів, таких як прокладання кабелів або використання супутникового зв'язку. Однак ці методи мають свої недоліки. Наприклад, прокладання кабелів в сільській місцевості часто ускладнюється через рельєф місцевості, довжину відстаней та вартість інфраструктури. Також, супутниковий зв'язок, хоча і забезпечує широке охоплення, але має високу вартість та обмежену пропускну здатність.

Додатково, традиційні мережі можуть бути вразливі до різних ризиків та пошкоджень, таких як природні катастрофи, технічні відмови або кібератаки. У разі таких ситуацій, відновлення зв'язку може бути складним та вимагати значних зусиль та витрат.

Однак на сьогоднішній день існують нові технології, які можуть вирішити ці проблеми. Один з таких підходів – використання рою БПЛА для побудови мережі, що покриває велику площу. Цей підхід може забезпечити ефективне покриття, високу мобільність та здатність до автономного відновлення. У разі виявлення проблеми,

такої як відмова БПЛА, система може автоматично виявити та замінити його, забезпечуючи безперебійну роботу мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Безпілотні літальні апарати вже зараз відкривають широкі можливості в різних сферах і стануть ключовою інноваційною галуззю у майбутньому. На сьогоднішній день основним застосуванням дронів є використання одного пристрою в межах видимості та під контролем людини. Однак можливості мережевого зв'язку можуть значно розширити ці можливості, забезпечуючи нові можливості для цивільних дронів та відкриваючи нові сфери застосування.

З розвитком ринку дронів та зростанням їх популярності, з'являється нагальна потреба у розробці надійних мереж зв'язку для дронів, які можуть забезпечити стабільний зв'язок на великих відстанях. Існуючі рішення «точка-точка» для забезпечення зв'язку між дронами виявляються обмеженими через нестабільність сигналу та обмежену дальність передачі даних. Крім того, зростає кількість несанкціонованих польотів та аварій, в яких беруть участь дрони. Це створює потребу в розвитку ефективної регуляторної політики для контролю над цими пристроями.

Одним із ключових аспектів досліджень і публікацій у сфері використання рою безпілотних літальних апаратів для побудови мереж на великій площі є вивчення можливостей автономної роботи [1] дронів у побудові та управлінні мережею. Вчені досліджують алгоритми та технології, які дозволять дронам автоматично виявляти проблеми у мережі, такі як відмови апаратів чи перешкоди в сигналі, і реагувати на них шляхом відновлення зв'язку або перенаправлення трафіку. Інший напрямок досліджень зосереджується на оптимізації розташування та руху дронів для забезпечення максимального покриття площі та оптимального розподілу ресурсів. Вчені розробляють моделі та алгоритми, які нададуть можливість ефективно розміщувати дрони у просторі, забезпечуючи одночасно найкращий зв'язок для користувачів та економію енергії для самого рою.

Крім того, дослідження також розглядають можливості використання різних типів дронів для різних завдань у мережі. Наприклад, деякі дослідження зосереджуються на використанні великих дронів з великою здатністю до перевезення обладнання для розгортання базових станцій, тоді як інші вивчають можливості використання невеликих дронів для забезпечення доступу до інтернету з повітря у важкодоступних регіонах.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є огляд існуючих рішень побудови самовідновлювальних високомобільних комп'ютерних мереж та визначення ефективних методів самовідновлення на основі використання рою безпілотних літальних апаратів. Подальшими цілями є аналіз переваг і недоліків існуючих підходів, розробка нових стратегій використання БПЛА для забезпечення стійкості та надійності високомобільних мереж в умовах непередбачуваних обставин. Крім того, дослідження спрямоване на вивчення можливостей оптимізації роботи мережі з використанням рою БПЛА з метою забезпечення швидкого відновлення зв'язку та зменшення витрат на обслуговування та ремонт.

Викладення основного матеріалу дослідження

Перед тим, як почати створювати та налаштовувати мережу з двох або більше безпілотних літальних апаратів, необхідно для початку налаштувати зв'язок між одним із дронів та керуючим блоком (рис. 1).

Керуючий блок є незмінною складовою частиною в операціях керування БПЛА. Він виступає як інтерфейс між оператором та дроном, забезпечуючи контроль, моніторинг та комунікацію. Важливість належного налаштування цього зв'язку важко переоцінити, оскільки від нього залежить успішне виконання завдань, безпека польоту та точність управління. Керуючий блок може включати в себе різноманітні компоненти, такі як боді-комп'ютери, контролери польоту, пульт керування або навіть мобільні додатки. Ці пристрої забезпечують оператору можливість керувати рухами дрона, встановлювати місії, отримувати телеметричні дані та взаємодіяти з додатковими функціями.

Для належного налаштування зв'язку між безпілотним літальним апаратом (БПЛА) та керуючим блоком слід вибрати відповідну технологію зв'язку, яка враховує конкретні потреби та умови експлуатації. Налаштування параметрів зв'язку, таких як частота, потужність сигналу та шифрування, є ключовим етапом для забезпечення стабільної та безпечної комунікації. Після цього обидва пристрої повинні бути підключені до однієї мережі для взаємодії. Процедури аутентифікації та авторизації необхідні для забезпечення безпеки зв'язку. Після налаштування необхідно провести тестування з'єднання, що включає перевірку стабільності сигналу, швидкості передачі даних та відповіді на команди. У разі потреби може знадобитися калібрування та налагодження параметрів зв'язку для досягнення оптимальної продуктивності та ефективності взаємодії. Належно налаштований зв'язок між БПЛА та керуючим блоком є критичним для забезпечення повного контролю та безпеки польоту.



Рис. 1. Модель зв'язку між дроном та керуючою станцією

Наступним кроком потрібно приєднати до схеми ще один дрон, який буде спілкуватись з керуючою станцією за допомогою першого дрону. Для додавання другого дрону в схему, де вже налаштоване з'єднання між першим дроном та керуючою станцією, необхідно встановити з'єднання між першим і другим дронами. Це може бути досягнуто за допомогою вбудованих модулів комунікації на обох дронах, які підтримують технології зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth або радіо.

Коли мова йде про спілкування між дронами, вибір технології зв'язку залежатиме від різних факторів, які варто врахувати для ефективного функціонування мережі. По-перше, вирішальним фактором є відстань між дронами та їхньою керуючою станцією. Якщо дрони знаходяться на значній відстані один від одного, доцільніше використовувати технологію радіо-зв'язку, яка має великий радіус дії та надійність сигналу. У випадку, коли дрони знаходяться близько один до одного, можна використовувати короткодіючі технології, такі як Wi-Fi або Bluetooth. По-друге, враховується середовище, в якому дрони будуть працювати. У відкритих просторах з мінімальними перешкодами радіо-зв'язок може бути ефективним рішенням. Проте, у забудованій місцевості короткодіючі технології можуть забезпечити кращу стабільність сигналу. Крім того, слід врахувати потужність сигналу та пропускну здатність технології зв'язку. Для завдань, де необхідна велика пропускну здатність та висока швидкість передачі даних, варто розглянути технології, які можуть забезпечити швидкий та стабільний зв'язок.

Після встановлення зв'язку між дронами, другий дрон може надсилати дані через перший дрон до керуючої станції. Перший дрон, у свою чергу, може використовувати свій власний з'єднання з керуючою станцією для передачі цих даних. Важливо, щоб обидва дрона були підключені до однієї мережі для взаємодії. Передача даних від другого дрону через перший може здійснюватися за допомогою внутрішнього мережевого маршрутизатора на першому дронах. Цей маршрутизатор може використовувати технології маршрутизації для ефективного пересилання даних між дронами та керуючою станцією.

Після успішного налаштування зв'язку між обома дронами та керуючою станцією, другий дрон може спілкуватись з керуючою станцією через перший дрон, роблячи польоти та передавання даних більш ефективними та забезпечуючи більш широкий охоплення мережі (рис. 2).

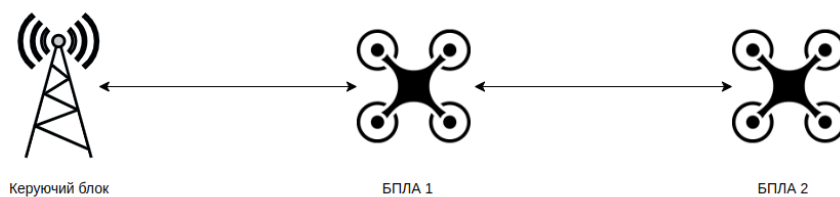


Рис. 2. Модель зв'язку між двома дронами та керуючою станцією

Далі потрібно налаштувати зв'язок між усім набором дронів, тому наступним кроком буде розглянуто різні методи з'єднання між безпілотними літальними апаратами (БПЛА) та керуючою станцією для ефективного керування групою дронів у різних сценаріях застосування.

Перша модель з'єднання передбачає пряме безпроводне з'єднання між кожним БПЛА та керуючою станцією. Цей метод дозволяє оператору контролювати кожен дрон окремо, забезпечуючи гнучкість та індивідуальний підхід до керування. Однак він може бути обмежений обсягом даних, які можна передати, та відстанню між дронами та керуючою станцією, що може обмежити радіус дії системи. Другий варіант включає в себе використання одного дрона як головного вузла, який підключається до керуючої станції, а інші дрони приєднуються до нього. Це забезпечує певний рівень структуризації мережі та дозволяє керувати більшою кількістю дронів, але може створювати залежність від головного дрона та призводити до втрати зв'язку у випадку його відмови.

В третій моделі з'єднання один головний дрон має безпосереднє з'єднання з керуючою системою, а усі інші дрони з'єднуються лінійно один до одного, тобто кожен дрон має зв'язок з двома дронами з одного боку і з двома з іншого боку (рис. 3). Ця структура забезпечує взаємозв'язок між дронами у вигляді ланцюга, де кожен дрон

передає та отримує дані від сусідніх дронів. Перевагою такого підходу є простота організації мережі, адже кожен дрон має тільки два безпосередніх сусіди, з якими він спілкується. Це дозволяє зменшити складність комунікації та підвищити стійкість мережі до втрати зв'язку, оскільки відмова одного дрона не призведе до втрати зв'язку з усією мережею. Проте, ця модель має обмеження у відстані передачі даних між дронами, оскільки кожен дрон може взаємодіяти тільки з двома сусідніми дронами. Також, при збільшенні кількості дронів у ланцюгу може збільшуватися затримка передачі даних через кількість проміжних пересилок. Також проблемою в такому типі побудови мережі є те, що з керуючим блоком з'єднаний тільки один дрон і, у випадку, коли головний дрон виходить з ладу, виникне втрата зв'язку, подібно до описаного вище в другій моделі. Проте це можна покращити додавши ще один БПЛА, який буде під'єднано до керуючого блоку, та який матиме з'єднання з першим головним дроном та ще одним дроном у колі. В такій моделі можна набагато менше перейматись з приводу головного дрону, адже тепер шансів втратити повністю зв'язок менше.

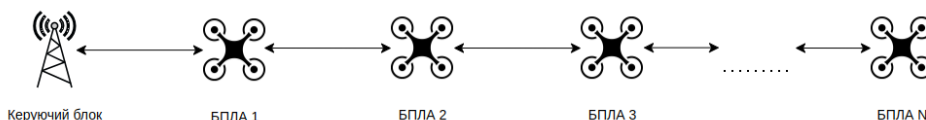


Рис. 3. Модель лінійного зв'язку між групою дронів та керуючою станцією

Ще одна модель[2] передбачає використання проміжного вузла або проміжного сховища даних. Вона є ефективним методом організації зв'язку між дронами та керуючою станцією. У цій моделі дані спочатку передаються від керуючої станції до проміжного вузла, який потім ретранслює їх до всіх дронів у групі. Однією з основних переваг цієї моделі є підвищена стабільність зв'язку. Проміжний вузол дозволяє оптимізувати маршрутизацію даних та підтримувати постійний зв'язок між керуючою станцією та всіма дронами у групі. Це зменшує ймовірність втрати сигналу та забезпечує стабільний обмін даними навіть на значній відстані. Крім того, використання проміжного вузла дозволяє зменшити вплив на відстань між дронами та керуючою станцією. Оскільки дані спочатку передаються до проміжного вузла, а вже потім до дронів, можливість втрати сигналу через велику відстань зменшується. Проте, існують деякі недоліки цієї моделі. Одним із них є збільшене затримки в передачі даних. Оскільки дані спочатку проходять через проміжний вузол, це може призводити до затримок у доставці інформації до дронів. Крім того, наявність проміжного вузла може зробити систему більш складною та вразливою до відмови, оскільки вона залежить від надійності працездатності саме цього вузла.

Існує також модель, де головний дрон виступає проміжним вузлом для з'єднання інших дронів та розбиває всі дрони на групи поменше. У цій моделі головний дрон виступає посередником між керуючим блоком і іншими дронами. Він приймає команди і дані від керуючого блоку та передає їх далі до підключених дронів, а також отримує дані від дронів і передає їх керуючому блоку. Для розрахунку та створення графіку мережі необхідно знати кількість усіх апаратів, які будуть додані до системи. Проте, під час розширення мережі додаванням нової кількості дронів у систему, це не буде проблематично, адже попередні зв'язки залишаться такими, які були попередньо змодельовані.

Основна перевага даної моделі – це – можливість легко розширювати мережу за потреби шляхом підключення нових дронів до головного дрона. Проте варто враховувати деякі недоліки. Складність конфігурації та керування головним дроном може вимагати додаткових зусиль та ресурсів для стабілізації з'єднання. Також існує ризик, що головний дрон може стати точкою вразливості або навантаження, яке може вплинути на всю мережу. Крім того, модель може мати обмеження на кількість підключених дронів через обмежені ресурси головного дрона, що може обмежувати масштабованість системи.

В такій моделі у дронів буде деревовидний зв'язок, де дрон спілкується з керуючим блоком через один з дронів, а також з'єднується ще з певною кількістю інших дронів. Перед налаштуванням мережі, варто розрахувати приблизну кількість можливих з'єднань одного дрона з іншими. Для цього можна скористатись наступною формулою:

$$y = \log_2(n + 1)$$

де n – запланована кількість дронів, а y – кількість можливих з'єднань одного дрона з іншим.

Загалом, модель з головним дроном як проміжним вузлом може бути ефективним рішенням для побудови високомобільних комп'ютерних мереж на базі рою БПЛА. Однак, перед її впровадженням необхідно уважно розглянути переваги та недоліки, а також розрахувати потенційні обмеження та виклики. Тільки такий підхід дозволить максимально використовувати потенціал цієї моделі і забезпечити ефективну роботу високомобільної мережі.

Висновки

У цьому дослідженні проведено детальний аналіз різних моделей побудови високомобільних комп'ютерних мереж на основі рою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Певні розглянуті моделі включають в себе пряме

безпроводне з'єднання між кожним БПЛА та керуючою станцією, використання головного дрона як проміжного вузла для з'єднання інших дронів, а також модель, де головний дрон розбиває всі дрони на групи і виступає посередником між керуючим блоком і іншими дронами.

Перша модель передбачає індивідуальне керування кожним дроном, що забезпечує гнучкість управління, але може бути обмеженою обсягом передаваних даних та радіусом дії системи. Друга модель надає можливість легкої розширюваності мережі, але потребує уваги до складності конфігурації та керування головним дроном. Третя модель, в якій головний дрон виконує роль посередника, виявляє перевагу у збереженні зв'язків при розширенні мережі, але може бути вразливою до відмови головного дрона та обмеженням кількості підключених дронів.

Отже, хоча всі моделі мають свої переваги та недоліки, дослідження підкреслює значний потенціал використання БПЛА для побудови високомобільних комп'ютерних мереж. Подальші дослідження в цьому напрямку можуть спрямуватися на оптимізацію конфігурацій, забезпечення надійності та ефективності взаємодії в таких мережах, а також на розробку нових методів управління та забезпечення безпеки мережі.

Список використаної літератури

1. Ткачов В.; Мітін Д.; Дух Я.; Підвищення живучості мережної складової рою БПЛА. Комп'ютерні інтелектуальні системи та мережі. Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної WEB конференції аспірантів, студентів та молодих вчених (21–23 березня 2018 р.), 98–100.
2. Tkachov V.; Hunko M.; Quest Method for Organizing Cloud Processing of Airborne Laser Scanning Data. 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL), 565–569.
3. Zeng, Y.; Zhang, R. Energy-efficient UAV communication with trajectory optimization. IEEE Trans. Wirel. Commun. 2017, 16, 3747–3760.
4. Yang, D.; Wu, Q.; Zeng, Y.; Zhang, R. Energy tradeoff in ground-to-UAV communication via trajectory design. IEEE Trans. Veh. Technol. 2018, 67, 6721–6726.
5. L.Pollini, M.Innocenti, R.Mati. Vision algorithms for formation flight and aerial refueling with optimal marker labeling. AIAA-2005-6010. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, San Francisco, California, Aug. 15–18, 2005.
6. Yanmaz, E.; Yahyanejad, S.; Rinner, B.; Hellwanger, H.; Bettstetter, C. Drone networks: Communications, coordination, and sensing. Ad Hoc Netw. 2018, 68, 1–15.
7. Cheng, F.; Zhang, S.; Li, Z.; Chen, Y.; Zhao, N.; Yu, F.R.; Leung, V.C. UAV trajectory optimization for data offloading at the edge of multiple cells. IEEE Trans. Veh. Technol. 2018, 67, 6732–6736.
8. Mozaffari, M.; Saad, W.; Bennis, M.; Merouane, D. Mobile Internet of Things: Can UAVs provide an energy-efficient mobile architecture? In Proceedings of the 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Washington, DC, USA, 4–8 December 2016; pp. 1–6.

References

1. Tkachov V., Mitin D., Dukh Я.; Pidvyshhennja zhyvuchosti merezhnoji skladovoji roju BPLA. Komp'juterni intelektualni systemy ta merezhi. [Increasing the survivability of the network component of the UAV swarm. Computer intelligent systems and networks] Materialy XI Vseukrajinsjkoji naukovo praktychnoji WEB konferenciji aspirantiv, studentiv ta molodykh vchenykh [Materials of the 11th All-Ukrainian scientific and practical WEB conference of graduate students, students and young scientists] (March 21–23, 2018 p.), 98–100.
2. Tkachov V., Hunko M., Quest Method for Organizing Cloud Processing of Airborne Laser Scanning Data. 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL), 565–569.
3. Zeng, Y., Zhang, R. Energy-efficient UAV communication with trajectory optimization. IEEE Trans. Wirel. Commun. 2017, 16, 3747–3760.
4. Yang, D.; Wu, Q.; Zeng, Y.; Zhang, R. Energy tradeoff in ground-to-UAV communication via trajectory design. IEEE Trans. Veh. Technol. 2018, 67, 6721–6726.
5. L.Pollini, M.Innocenti, R.Mati. Vision algorithms for formation flight and aerial refueling with optimal marker labeling. AIAA-2005-6010. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, San Francisco, California, Aug. 15–18, 2005.
6. Yanmaz, E.; Yahyanejad, S.; Rinner, B.; Hellwanger, H.; Bettstetter, C. Drone networks: Communications, coordination, and sensing. Ad Hoc Netw. 2018, 68, 1–15.
7. Cheng, F., Zhang, S., Li, Z., Chen, Y., Zhao, N., Yu, F.R., Leung, V.C. UAV trajectory optimization for data offloading at the edge of multiple cells. IEEE Trans. Veh. Technol. 2018, 67, 6732–6736.
8. Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., Merouane, D. Mobile Internet of Things: Can UAVs provide an energy-efficient mobile architecture? In Proceedings of the 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Washington, DC, USA, 4–8 December 2016; pp. 1–6.

О. В. БЕРЕЖНА

Associate Professor at the Department of Computer Systems and Technologies
Semen Kuznets Kharkiv National University of Economics
ORCID: 0000-0003-1323-9080

Т. Ю. АНДРИУШЧЕНКО

Senior Lecturer at the Department of Computer Systems and Technologies
Semen Kuznets Kharkiv National University of Economics
ORCID: 0000-0001-8620-5717

THE ROLE OF IT INNOVATIONS IN SHAPING CHANGES IN THE PUBLISHING INDUSTRY OF UKRAINE

The modern publishing industry in Ukraine is faced with the necessity of adapting to the challenges of the digital era, particularly through the application of information and communication technologies (IT). This article is dedicated to exploring the impact of IT innovations on the transformation of the publishing industry in Ukraine and identifying the prospects for its development.

The article commences with an analysis of the current state of the publishing industry in Ukraine and the identification of key challenges faced by publishers. This includes examining changes in reading habits, competition from other media formats, and market globalization. Emphasis is placed on the imperative of implementing IT solutions as a strategic direction to overcome these challenges. The analysis extends to contemporary technologies applicable in the publishing industry, with special attention given to electronic books, virtual reality, data analytics, and other innovative solutions. It is highlighted that the proper utilization of these technologies can enhance content quality, expand the audience, and provide competitive advantages.

The research explores the experience of implementing IT innovations in the publishing industry abroad, particularly in countries that have successfully utilized these technologies. The authors analyze best practices and shed light on crucial aspects that can be applied in the Ukrainian context. In the concluding section, prospects for the development of the publishing industry in Ukraine through the use of IT innovations are identified. This includes examining opportunities for creating interactive content and personalized recommendations for readers.

In summary, this study offers a comprehensive view of the impact of IT innovations on the transformation of the publishing industry in Ukraine and illuminates potential strategies to address the challenges faced by this sector. Overall, the adoption of IT solutions is a crucial element for the successful adaptation of Ukrainian publishers to contemporary challenges and ensuring their competitiveness.

Key words: publishing industry, IT innovation, modern technologies, interactive elements, QR codes, VR, e-books, audio books.

О. В. БЕРЕЖНА

кандидат економічних наук,
доцент кафедри комп'ютерних систем та технологій
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця
ORCID: 0000-0003-1323-9080

Т. Ю. АНДРИУШЧЕНКО

старший викладач кафедри комп'ютерних систем та технологій
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця
ORCID: 0000-0001-8620-5717

РОЛЬ ІТ-ІННОВАЦІЙ У ФОРМУВАННІ ЗМІН У ВИДАВНИЧІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Сучасна видавнича галузь України стикається з необхідністю адаптації до викликів цифрової ери, зокрема застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій (ІТ). Ця стаття присвячена дослідженню впливу ІТ-інновацій на трансформацію видавничої галузі в Україні та визначенню перспектив розвитку цього сектору.

Стаття розпочинається аналізом сучасного стану видавничої галузі України та визначенням основних викликів, з якими стикаються видавці. Зокрема, розглядаються зміни в читацьких звичках, конкуренція з іншими медіа-форматами та глобалізація ринку. Підкреслюється необхідність впровадження ІТ-рішень як стратегічного

напряму для подолання цих викликів. Проводиться аналіз сучасних технологій, які можуть бути використані в видавничій галузі. Особлива увага приділяється аудіо- та електронним книгам, віртуальній реальності, аналітиці даних та іншим інноваційним рішенням. Зазначається, що правильне використання цих технологій може поліпшити якість контенту, збільшити аудиторію та забезпечити конкурентні переваги.

Досліджується досвід впровадження IT-інновацій в видавничій галузі за кордоном, зокрема в країнах, які вже успішно використовують ці технології. Автори аналізують кращі практики та висвітлюють важливі аспекти, які можуть бути застосовані в українському контексті. У заключному розділі визначаються перспективи розвитку видавничої галузі в Україні з використанням IT-інновацій. Зокрема, розглядаються можливості для створення інтерактивних вмістів, персоналізованих рекомендацій для читачів.

Отже, це дослідження пропонує комплексний погляд на вплив IT-інновацій на трансформацію видавничої галузі в Україні та висвітлює можливі шляхи подолання викликів, з якими стикається цей сектор. Загалом, використання IT-рішень є важливим елементом успішної адаптації українських видавництв до сучасних викликів та забезпечення їхньої конкурентоспроможності.

Ключові слова: видавнича галузь, IT-інновації, цифрова трансформація, сучасні технології, qr-коди, VR, електронні книги, аудіо книги.

Formulation of the problem

The lack of significant financial resources in publishing houses becomes an obstacle to investment in the latest technologies and digital innovations. Increased competition from electronic and foreign publishers drives the need to develop effective strategies to retain and expand the audience. Changing reading habits and demand for digital content presents the challenge for publishers to adapt to the new realities of the reader market. Most publishing houses in Ukraine face the challenge of moving to digital formats, as many of them remain faithful to traditional print content. The lack of unified standards and infrastructure for sharing digital content leads to duplication of effort and insufficiently optimized processes in the industry. Large-scale trends in the information society, which are rapidly changing, determine the relevance of the use of IT solutions in the publishing industry of Ukraine. Activities for the creation, editing, printing and distribution of books are rapidly moving into the digital sphere, which raises the question of how to effectively use IT solutions to optimize processes in the Ukrainian publishing house. The application of IT technologies allows publishers to produce and distribute electronic and audio-books, as well as optimize production processes [5]. IT systems enable publishers to analyse reader preferences, collect sales data, and engage with audiences, helping to personalize offerings and respond effectively to changes in market conditions [15]. The implementation of IT solutions can foster innovation in the creation and presentation of additional content, such as the use of virtual reality, interactive elements and other technologies, providing publishers with the ability to engage with readers through social networks and online platforms, making this process more efficient and personalized.

Analysis of recent research and publications

Many Ukrainian scientists have focused their research on addressing various issues in the field of publishing and printing activities. Researchers exploring the development trends of the publishing market in Ukraine and whose scientific works are dedicated to solving problems in the publishing industry include O. Afonin [1], M. Zhenchenko, K. Indutna, O. Osadcha, N. Petrova, M. Senchenko, O. Sukhorukov. The analysis of indicators in the publishing sector has been conducted by scholars S. Buryak, N. Muzichenko [2], H. Gret, and A. Murakhovsky.

Such researchers as Harman M., Jegede O. explore current technologies in publishing, especially in Digital Media and Ebooks [7, 9]. New technologies in digital publishing are explored in such works as [3; 4]. Many scientists and creative teams consider the features of Technology-based self-publishing platforms [13]. Research by Macquarie University's Faculty of Business and Economics examines how new digital technologies are affecting author-publisher relationships, based on a survey of 1,000 Australian authors [8].

Formulation of the purpose of research

The purpose of the research is to study and analyze the impact of IT innovations on the transformation of the publishing industry of Ukraine with a focus on the use of modern technologies and the determination of development prospects. The study is aimed at analyzing and determining the role of IT innovations as a key factor in the formation and transformation of the publishing industry of Ukraine, in particular, the assessment of their impact on production and editorial processes, the development of digital technologies and interaction with the audience. The task of the work is also the formulation of recommendations for publishers that will contribute to effective adaptation to modern challenges and increase the competitiveness of the publishing industry in the conditions of a rapidly changing information environment.

Presentation of the main research material

One of the approaches to the implementation of IT technologies is the use of interactive elements in printed or electronic publications, which has significant potential and relevance. Let's look at specific examples of the implementation of interactive elements in print or electronic publications. Adding QR codes to printed books or magazines that open related materials when readers scan the codes with a smartphone allows readers to instantly access additional content such as videos, audio, websites, rich materials, or other interaction elements. QR codes can be used to provide links to more detailed

information, such as author biographies, video interviews or research sources, and other materials. Publishers can use QR codes to provide additional information about themselves, provide contact details, or offer collaboration opportunities. QR code scanning speed in Europe and the US has doubled in the last 3 years. Africa and the Middle East are also rapidly adopting the use of QR codes, increasing their use by 60% annually [14]. The structure of QR codes can vary depending on the application and the information that needs to be included. Some QR codes may have different colors and visual elements to enhance the design, but it is important to consider that this can affect readability and functionality. Taking these elements into account, the structure of the QR code allows you to efficiently encode and transmit information, which makes their use convenient and versatile in various applications.

The use of QR codes can make reading more interactive and interesting, allowing readers to delve deeper into the content and improving the reading experience. To describe some QR codes, the term “secret QR code” is acceptable, which is not defined by a specific standard, but is used for QR codes that are intended for special calls, creative decisions or effective experiments. They are created to implement concepts that are based on the idea of secrecy or causing intrigue. This may include additional, intriguing, or exclusive content that may be unexpected to the reader, such as launching interactive elements or solving puzzles. The addition of QR codes stimulates interaction with technology, which is usually attractive to young people or those who value innovation. Readers can use QR codes to quickly navigate to specific chapters, additional resources, or order products that are related to the book.

Publishers can use QR codes to advertise their other publications, events, promotions or offers. It can work as an effective marketing tool. QR codes allow you to track how often they are scanned and receive analytics on the performance of additional content or advertising campaigns. In general, adding QR codes to printed books or magazines expands the possibilities of interaction and provides additional ways for readers and publishers to get information.

Using interactive elements to expand images in book editions allows you to create more dynamic editions that go beyond the traditional constraints of printed pages. Readers can click on the image to see details or study specific items that interest them. This is especially useful for illustrations or paintings where a more detailed sweep is possible. Expanded images may contain animations or be associated with other images or content. Clicking on certain items can cause images to change or reveal additional layers of information. Images can be associated with audio or video fragments. For example, a reader can click on special places in an image to hear a corresponding audio commentary or view a short video. The use of 3D technologies allows you to create images that can be rotated or changed perspective to better view objects or scenes.

Images can have interactive captions or descriptions that appear when you hover or when you click the mouse. Interactive elements in images can provide links to additional materials, such as information about authors or resources for further research.

Adding animations and videos makes the content more attractive and expressive. Animations and videos allow authors and publishers to express stories and concepts emotionally. This can be especially useful for children's books, educational materials, and fiction. Animations and videos help in conveying complex ideas or processes, making the assimilation of information more efficient and easy for readers. Being able to interact with animations or videos, such as stopping, rewinding, or selecting specific elements, allows readers more control over their reading experience. Images may include interactive tasks or exercises that encourage readers to interact and develop their knowledge through visual content.

Using video allows you to create virtual tours that help readers delve into the imagery or surroundings of the story. For example, electronic publications about art can include links to virtual tours to the museum, where readers can virtually view paintings and learn about their history and authors. In historical publications, you can include links to virtual tours of historical places, events or monuments. Readers can explore the era, unfold the event map, and join the story. In this way, they can have a deeper understanding of places, events or concepts thanks to virtual tours and interactive maps.

Animations can help convey the dynamism of events or changes in time. They can also create a sense of context and place. Videos and animations can be combined with other media elements, such as images, audio, or interactive elements, to create a multimedia experience.

Some e-books can use virtual reality (VR) technology to create interactive reader research in the form of games or virtual walks. Virtual reality can immerse the reader in the story, creating the illusion of presence in important scenes. The reader can interact with the objects or lenses of the virtual world, influencing the course of the story. VR can convey emotions through visual and sound effects, increasing emotional engagement. For example, educational or scientific publications may include educational simulations to improve understanding of complex topics. Books for children can contain interactive illustrations where children can interact with characters or objects using VR. The use of virtual reality in book publishing opens up a wide scope for creativity and innovation, allowing for more immersive and immersive reading experiences. The global augmented and virtual reality market is forecast to grow to \$162.71 billion by 2025, and the average annual growth rate will be 46% [10]. In e-books, you can allow readers to leave feedback and comments right on the pages, creating a community of readers. The use of interactive elements adds new capabilities to the publishing process, providing more ways for readers to interact with content and enjoy reading more. Modern technologies in the field of publishing and technical editing can greatly facilitate the workflow and improve the quality of products. Here are some technologies that are now actively used in these industries. Ukrainian and world publishing houses use a variety

of spelling and grammar checking systems to ensure high quality of texts in publications. Popular systems include, for example, LanguageTool, which is an open grammar checker that supports many languages, including Ukrainian. One of the most popular online grammar and style checking systems is Grammarly. It is used as a plugin for various text editors and web environments and allows you to detect and correct various types of errors, ensuring a higher quality of text. Also popular is the ProWritingAid platform, which provides a wide set of tools for checking grammar, style, word usage and sentence construction. Named systems help to automatically detect and correct errors in the text, improving the quality of speech. Ukrainian publishers can use a combination of these systems and other language tools to guarantee a high standard of texts in their publications.

The use of specific revision control systems to track document changes and collaborate on editorials may vary across publishers depending on project specifics, volume of work, number of contributors to development, and other factors. However, many technology-oriented companies and publishers in the world use popular version control systems such as Git [6] and collaborative and development management platforms such as GitHub, GitLab [6], or Bitbucket. These tools allow teams to work together efficiently, track changes, and manage versions of code and other materials.

Artificial intelligence (AI) opens up many possibilities for automating and improving processes in publishing and technical editing. Let's break down some examples of how AI can be used in these industries.

The use of machine learning algorithms to automatically generate a text summary can be applied to annotating publications, bibliographic descriptions, and abstracts. Artificial intelligence can be effectively used to automatically classify content in publishing houses, which simplifies and speeds up the processes of editing, organizing and distributing materials. AI can automatically identify the topic of articles or materials and distribute them to the appropriate categories. For example, a news site can use AI to distribute news by topics: politics, economics, culture, etc.

Identifying the emotional tone of a text with AI allows publishers to analyze how readers react to articles, reviews, or news, which can be useful for gauging popularity and determining how content affects audiences. Automatic analysis of emotional tone allows publishers to detect negative or offensive content and assist editors in correcting or highlighting important aspects of materials, which can also be useful for filtering unwanted or objectionable content such as spam, offensive material or false information. Understanding the emotional tone of a text can help in recommending personalized content for readers, taking into account their emotional preferences and moods. AI can be used to analyze social networks and determine the emotional attitude of the audience towards specific publications or topics. Understanding how readers respond to content can help in developing emotional marketing strategies and creating campaigns that are more connected to your audience. Determining the emotional tone of a text can serve as an indicator of general trends and moods among readers, to analyze popularity, which helps publishers adapt to the demand for specific content and can be useful for forecasting and determining content development strategies. Automated image processing allows the use of machine vision algorithms to automatically analyze and process graphic content, which includes object recognition, placement, analysis of colors, textures, and other characteristics of images. For example, IT can automatically determine the placement and size of images in text, without human intervention, saving time and effort that would normally be required for manual processing, and could have practical applications in publishing where a lot of text is accompanied by graphic content. This process will increase the efficiency of publishing production, reducing the risk of errors in the placement and processing of graphic elements in the text. Automated image processing using machine vision algorithms allows you to optimize and improve work with graphic content, which is important in modern publishing.

Audio and electronic publications are a promising alternative to traditional paper formats, marked by growing popularity and the introduction of innovations in the modern publishing environment. Ukrainian book publishers have recognized the advantages of electronic publications, but at the same time they have shown themselves to be less interested in the development of audio books, underestimating their potential and popularity among readers. With the emergence of new and improved platforms for audio books, Ukrainian readers have access to a wide selection of works by both domestic and international authors. Audio books can be used to promote Ukrainian literature at the international level and promote the study of the Ukrainian language through its acoustic perception.

Audio and electronic publications are a promising alternative to traditional paper formats, marked by growing popularity and the introduction of innovations in the modern publishing environment. Ukrainian book publishers have recognized the advantages of electronic publications, but at the same time they have shown themselves to be less interested in the development of audio books, underestimating their potential and popularity among readers. With the emergence of new and improved platforms for audio books, Ukrainian readers have access to a wide selection of works by both domestic and international authors. Audio books can be used to promote Ukrainian literature at the international level and promote the study of the Ukrainian language through its acoustic perception. A comparison of the possibilities of printed editions, e-books and audio books is given in the table 1.

In global markets, analysts predict an increase in sales of audio books by almost 25% every year. For example, according to the Audio Publishers Association of America, more than 71,000 audiobooks were published in the US in 2020, which is 39% more than the year before. The prospects for the development of audio books in Ukraine look quite attractive, because this format finds its place in modern reading and meets the everyday and cultural preferences of readers. For 2020–2021 the

Table 1

Analysis of formats: print editions, e-books and audio books

Characteristics	Printed books	Electronic books	Audio books
Portability and convenience	physical volume makes it difficult to store and move	conveniently a large number of books in one device	easy listening anywhere, convenient storage of a large number of books in one device
Reading conditions	need a light source to read	the ability to use the backlight of the screen, the device must be charged	listening in any conditions, the device must be charged
Interactivity and multimedia	limited interactive capabilities	wide range of options	no
Sensory sensations	smell and tactile sensations	no	no
Interacting with text	reading text without the ability to choose font or size	ability to customize fonts and sizes no	no
Ability to underline and take notes	easy to take notes and underline	ability to take electronic notes	usually no

Ukrainian audiobook market grew 10 times [11]. The growing popularity of audiobooks creates opportunities for local publishers and artists. The development of the domestic market leads to the creation of Ukrainian-language audio content. The use of speech recognition technologies and other innovations allows to improve the quality of audio content and makes it more accessible to a wide range of readers. Audiobooks can be used for educational purposes, in particular to facilitate the study of foreign languages, to develop auditory perception and to facilitate educational projects.

In general, the audiobook market in Ukraine has prospects for growth, especially if technological development and content expansion continue, as well as taking into account the linguistic and cultural characteristics of the audience.

Conclusions

The study of the impact of IT innovations on the transformation of the publishing industry in Ukraine provides strong conclusions on the development prospects of this sector. It is noted that the introduction of modern technologies indicates the need to adapt Ukrainian publishers to the challenges of the digital era. First, the application of e-books and virtual reality can open up new opportunities to engage readers and expand audiences. The use of QR codes in books allows readers instant access to additional content, expanding their reading experience and providing the ability to interact with a variety of multimedia and interactive elements. Second, interactive content and artificial intelligence can help improve the quality of the publishing product by providing a higher level of engagement and engagement with readers, particularly the use of data analytics to understand reader needs and provide personalized suggestions. This opens up new horizons for creativity and innovation in the field of content. Thirdly, the analysis of the experience of other countries indicates the prospects of audiobooks. It is important to consider that audiobooks can effectively contribute to the dissemination of knowledge of the Ukrainian language and to take into account the cultural characteristics of the audience. The development and implementation of interactive and attractive electronic platforms for easy access to the content of audiobooks is relevant. Fourth, the use of intelligent systems to automate editorial and production processes will help reduce the number of routine tasks in the publishing house, which will increase the efficiency, speed and accuracy of production processes, as well as open opportunities for creative growth and qualitative improvement of the level of editorial work. Ukrainian publishers can take these aspects into account and adapt them to the local context.

Bibliography

1. Афонін О. Виступ на засіданні Міжвідомчої комісії з питань сприяння розвитку вітчизняного книговидавництва та книгорозповсюдження. *Вісник Книжкової палати України*. 2015. № 3. С. 3–4.
2. Буряк С. Музиченко Н. Книговидавнича діяльність в Україні за підсумками 2016 року. *Вісник Книжкової палати*. 2017. № 3. С. 24–32.
3. Emerging Technologies and Publishing Trends: *Revolutionizing Scholarly Publishing*. 2023. eContent Pro. <https://www.econtentpro.com/blog/publishing-trends/299>.
4. Emerging Technologies in Digital Publishing. *TheIJBM*. 2023. <https://www.theijbm.com/5-emerging-technologies-in-digital-publishing>.
5. Ferwerda, E. & Snijder, R. & Stern, N. Open Access to Books – the Perspective of a Non-profit Infrastructure Provider, *The Journal of Electronic Publishing* 26. 2023. doi: <https://doi.org/10.3998/jep.3303>.
6. Git – distributed-is-the-new-centralized. <https://git-scm.com/>.
7. Harman M. Publishing technology brings dramatic technological change. 2023. <https://kitaboo.com/publishing-technology-brings-dramatic-technological-change>.
8. How technology impacts authors & publishing. *Writerful books*. 2021. <https://writerfulbooks.com/study-technology-australian-publishing/>.
9. Jegede O. The future of publishing: how technology is shaping the publishing industry. 2022. <https://bookmachine.org/2022/11/21/the-future-of-publishing-how-technology-is-shaping-the-publishing-industry/>.

10. Maida J. Augmented Reality and Virtual Reality Market Size to Grow by USD 162.71 billion. *Technavio*. 2022. <https://www.prnewswire.com/news-releases/augmented-reality-and-virtual-reality-market-size-to-grow-by-usd-162-71-billion--technavio-301513938.html>.
11. Пирогова М. Ринок аудіокниг в Україні за 2 роки виріс у 10 разів: що виробляють та що слухають. *Бізнес*. <https://delo.ua/uk/business/rinok-audioknig-v-ukrayini-za-2-roki-viris-u-10-raziv-shho-viroblyayut-ta-shho-sluxayut-386439>.
12. Савка М., Шейко М. Успіх видавничої справи: рецепт від Видавництва Старого Лева. Як писати про культуру? : збірник есеїв і лекцій. Київ : ВД «АДЕФ-Україна», 2015. С. 114–129.
13. The Impact of Technology on the Book Publishing Industry. *Writat Book Publishing*. 2023. <https://medium.com/@writatself-publishing/the-impact-of-technology-on-the-book-publishing-industry-397a825d48d4>.
14. Tiigimägi S. Here's Why QR Codes Are Dead in 2022. 2021. <https://pageloot.com/qr-news/are-qr-codes-dead/>.
15. Троян Т. Як ІТ може розвивати книжкову галузь. Paliturka. *Гвара медіа*. 2022. <https://gwaramedia.com/yak-it-mozhe-rozvivati-knizhkovu-galuz-rozpovidaie-paliturka/>.

References

1. Afonin O. Vystup na zasidanni Mizhvidomchoyi komisiyi z pytan' spryannya rozvytku vitchyznyanoho knyhovydannya ta knyhorozpovsyudzhennya. *Visnyk Knyzhkovoyi palaty Ukrainy*. 2015. № 3. С. 3–4 [in Ukrainian].
2. Buryak C. Muzychenko N. Knyhovydavnycha diyal'nist' v Ukraini za pidsumkamy 2016. *Visnyk Knyzhkovoyi palaty*. 2017. № 3. С. 24–32 [in Ukrainian].
3. Emerging Technologies and Publishing Trends: Revolutionizing Scholarly Publishing (2023) / eContent Pro. [in Ukrainian] <https://www.econtentpro.com/blog/publishing-trends/299>.
4. Emerging Technologies in Digital Publishing (2023) / *TheIJBM*. [in Ukrainian] <https://www.theijbm.com/5-emerging-technologies-in-digital-publishing>.
5. Ferwerda, E. & Snijder, R. & Stern, N., (2023) Open Access to Books – the Perspective of a Non-profit Infrastructure Provider, *The Journal of Electronic Publishing* 26. doi: <https://doi.org/10.3998/jep.3303>.
6. Git – distributed-is-the-new-centralized. <https://git-scm.com/>.
7. Harman M. Publishing technology brings dramatic technological change (2023) <https://kitaboo.com/publishing-technology-brings-dramatic-technological-change>.
8. How technology impacts authors & publishing (2021) / *Writerful books* / <https://writerfulbooks.com/study-technology-australian-publishing/>.
9. Jegede O. The future of publishing: how technology is shaping the publishing industry (2022). <https://bookmachine.org/2022/11/21/the-future-of-publishing-how-technology-is-shaping-the-publishing-industry>.
10. Maida J. Augmented Reality and Virtual Reality Market Size to Grow by USD 162.71 billion (2022) / *Technavio*. <https://www.prnewswire.com/news-releases/augmented-reality-and-virtual-reality-market-size-to-grow-by-usd-162-71-billion--technavio-301513938.html>.
11. Pyrohova M. Rynok audioknyh v Ukraini za 2 roky vyris u 10 raziv: shcho vyroblyayut' ta shcho slukhayut' (2021). *Biznes*. [in Ukrainian] <https://delo.ua/uk/business/rinok-audioknig-v-ukrayini-za-2-roki-viris-u-10-raziv-shho-viroblyayut-ta-shho-sluxayut-386439/>.
12. Sавка М., Шейко М. Успіх видавничої справи: рецепт від Видавництва Старого Лева Як писати про культуру? : збірник есеїв і лекцій. Київ : ВД «АДЕФ-Україна», 2015. С. 114–129. [in Ukrainian]
13. The Impact of Technology on the Book Publishing Industry (2023) / *Writat Book Publishing*. <https://medium.com/@writatself-publishing/the-impact-of-technology-on-the-book-publishing-industry-397a825d48d4>.
14. Tiigimägi S. Here's Why QR Codes Are Dead in 2022 (2021) <https://pageloot.com/qr-news/are-qr-codes-dead/>.
15. Troyan T. Як ІТ може розвивати книжкову галузь. Narrated by Paliturka (2022) / *Gwara Media* [in Ukrainian]. <https://gwaramedia.com/yak-it-mozhe-rozvivati-knizhkovu-galuz-rozpovidaie-paliturka/>.

Р. О. БЕЛЯКОВ

кандидат технічних наук, доцент,
докторант науково-організаційного відділу
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
імені Героїв Крут
ORCID: 0000-0001-9882-3088

О. Д. ФЕСЕНКО

доктор філософії,
доцент кафедри спеціальних інформаційних систем
та робототехнічних комплексів
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації
імені Героїв Крут
ORCID: 0000-0002-2114-5327

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНОЮ МЕРЕЖЕЮ MANET І FANET КЛАСІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У даній роботі детально розглянуто особливості забезпечення принципів управління сучасними мобільними комунікаційними мережами спеціального призначення класу MANET-FANET. Було проаналізовано ряд наукових праць що розкривають суть функціонування інтелектуальних систем управління. Було підкреслено, що основний інтерес дослідження процесу управління наземними мережами викликано рядом протиріч та проблем інтеграції повітряних комунікаційних мереж та ресурсними обмеженнями під час функціонування наземних мобільних комунікаційних мереж в умовах апріорної невизначеності – динамічної топології, тобто в умовах, коли фізичні носії комунікаційного обладнання рухаються із змінною швидкістю обумовленою змінами рельєфу місцевості та наявністю перешкод, різних технічних характеристик мобільних користувачів, моделями шумових характеристик та завад різного роду.

Автори акцентують увагу, що існуючий науково-методологічний апарат не дозволяє описати процес міжрівневої взаємодії наземної та повітряної компоненти сучасних мобільних комунікаційних мереж для управління в реальному часі.

Наукова новизна запропонованої моделі обумовлена використанням математичних співвідношень алгоритму машинного навчання, що враховує фізичні властивості середовища функціонування комунікаційних вузлів завдяки нейронним мережам кожної з цільових функцій, які є основою для отримання бази знань починаючи з етапу планування.

В статті підкреслюється, що отримання бази статистичних даних на етапі планування з використанням набору адекватних моделей функціонування наземно-повітряною комунікаційною мережею (НПМ), дозволить виявити закономірності поведінкових моделей вузлових елементів для досягнення визначених користувальницьких або мережесвих цільових функцій. Що забезпечить виграш у часі пошуку оптимального рішення управління НПМ.

Ключові слова: MANET, FANET, комунікаційна мережа, процес управління, база знань, нейронна мережа, машинне навчання, метрики, прогнозування, оптимізація.

R. O. BIELIAKOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Doctoral Student at the Scientific and Organizational Department
Heroes of Kruty Military Institute of Telecommunications
and Information Technologies
ORCID: 0000-0001-9882-3088

O. D. FESENKO

Associate Professor at the Department of Special Information Systems
and Robotic Complexes
Heroes of Kruty Military Institute of Telecommunications
and Information Technologies
ORCID: 0000-0002-2114-5327

CONCEPTUAL MODEL OF GROUND-AIR NETWORK MANAGEMENT MANET AND FANET CLASSES OF SPECIAL PURPOSE

This paper examines in detail the features of ensuring the management principles of modern special purpose mobile communication networks of the MANET-FANET class. A number of scientific works revealing the essence of the functioning of intelligent control systems were analyzed. It was emphasized that the main interest in the research of the ground network

management process is caused by a number of contradictions and problems of the integration of aerial communication networks and resource limitations during the operation of ground mobile communication networks in conditions of a priori uncertainty – dynamic topology, i.e. in conditions when the physical carriers of communication equipment move with a variable speed due to changes in terrain and the presence of obstacles, various technical characteristics of mobile users, models of noise characteristics and various types of interference.

The authors emphasize that the existing scientific and methodological apparatus does not allow describing the process of interlevel interaction of ground and air components of modern mobile communication networks for real-time management.

The scientific novelty of the proposed model is due to the use of mathematical ratios of the machine learning algorithm, which takes into account the physical properties of the functioning environment of communication nodes thanks to the neural networks of each of the target functions, which are the basis for obtaining a knowledge base starting from the planning stage.

The article emphasizes that obtaining a database of statistical data at the planning stage using a set of adequate models of functioning of the ground-air communication network (GAC) will allow revealing patterns of behavioral models of nodal elements to achieve defined user or network target functions. That will ensure a gain in the search for the optimal GAC management solution.

Key words: MANET, FANET, communication network, management process, knowledge base, neural network, machine learning, metrics, forecasting, optimization.

Постановка проблеми

Особливості принципів забезпечення інтелектуального управління в комунікаційних мережах визначають існуючу концепцію побудови інтелектуальної системи управління мобільними радіомережами, а саме:

– *ситуаційного управління*, тобто можливість підтримки функціонування складних динамічних об'єктів в умовах не повної, або недостатньо формалізованої моделі середовища;

– *ієрархічності* – характеризується декомпозицією початкових цілей і задач управління на рекурсивну послідовність вкладених складових, для наземної та повітряної компоненти комунікаційної мережі;

– *самоорганізації та самонавчання* – полягає у необхідності існування засобів оцінки поточного стану процесів управління, засобів побудови математичних моделей об'єкта управління та зовнішнього середовища, засобів формування правил поведінки (формування управляючих рішень), та засобів поповнення бази знань новими правилами на основі статистичних даних, отриманих в процесі функціонування мобільної радіомережі;

– *управління в реальному часі* – полягає в можливості інтелектуальної системи управління формувати (модифікувати) цілі управління мережею (вузлами) у реальному масштабі часу, залежно від ситуації, що склалася;

– *принцип функціональності* – полягає в декомпозиції системи управління мобільною радіомережею на відносно незалежні групи за цільовими функціями управління;

– *принцип розподіленої та координованої взаємодії*, тобто, управління в мобільних радіомережах засноване на тому, що кожна з підсистем вирішує деяку свою часткову задачу в умовах відносної самостійності. Рішення, що виробляються всіма підсистемами будь-якого рівня ієрархії, координуються підсистемою вищестоящего рівня, якій вони підпорядковані;

– *принцип оптимальності* – для досягнення цілей управління в умовах протиріччя між обсягами службової та корисної інформації;

– *принцип автоматизації* – з метою підвищення оперативності управління, обґрунтованості прийнятих рішень і зняття обмежень, обумовлених недосконалістю психофізіологічних можливостей людини;

– *використання методів обробки знань* як основного способу боротьби із невизначеністю функціонування в умовах невизначеності, тощо [1; 2].

Однак, описана в статті концептуальна модель потребує удосконалення із ряду об'єктивних причин: по-перше, необхідність перерозподілу та синтезу цільових функцій процесу управління за часовими показниками для кожного із етапів управління мережею (планування, розгортання, оперативного управління), що гіпотетично призведе до зменшення обсягів службового трафіку, та зменшить час прийняття управлінських рішень; по-друге, виникає завдання декомпозиції задач управління з урахуванням особливостей на кожному із рівнів – повітряної та наземної компоненти мобільної комунікаційної мережі; по-третє, виникає необхідність опису процесу синтезу цільових функцій управління інтелектуальних систем управління НПМ (мережі мобільних користувачів та мобільних базових станцій, та повітряної комунікаційної мережі) із урахуванням ресурсних обмежень та відсутньої апріорної та повної інформації про стан мобільної НПМ.

Виходячи із вище зазначеного, необхідно встановити етапність отримання інформації для формування навчальної вибірки інтелектуальних агентів вузлів МКМ; необхідно визначити порядок взаємодії двох підмереж, тобто комунікаційних вузлів наземної мережі класу MANET, та повітряної – класу FANET; та визначити способи представлення процесу взаємодії та підходи до вибору методів оптимізації процесу формування управлінських рішень.

Отже, дана стаття присвячена аналізу існуючої концептуальної моделі інтелектуального управління мобільною радіомережею, та її удосконаленню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відповідно до концепції [3], задачі управління мобільними радіомережами класу MANET за етапами діляться на задачі планування, розгортання і оперативного управління. На перших двох етапах задачі реалізуються з використанням організаційно-технічних заходів.

Однак, проведений аналіз відображений в статтях [5–8] показав, що існуючий науково-методологічний апарат не дозволяє описати процес міждієвності взаємодії наземної та повітряної компоненти сучасних мобільних комунікаційних мереж. Так, процеси оперативного управління наземної компоненти мобільної комунікаційної мережі будуть корелювати із задачами управління повітряною комунікаційною мережею, крім того, встановлено, що частину задач із управління варто відносити до етапів планування і розгортання, що може забезпечити порівняно кращу ефективність з точки зору забезпечення принципів побудови інтелектуальних систем управління.

Формулювання мети дослідження

Розвиток теорії і практики застосування технологій машинного навчання та нейронних мереж вимагає оновлення концептуальних засад побудови інтелектуальних систем управління. Тобто, виконання мережевих цільових функцій НППМ в загальному випадку розглядається як ресурсне забезпечення для виконання користувальницьких цільових функцій, що є безумовним пріоритетом з точки зору своєчасної доставки корисної інформації адресатам із заданою якістю.

Тому, **метою роботи** є розробка концептуальної моделі управління наземно-повітряною мережею MANET і FANET класів спеціального призначення.

Наукова новизна. Вперше формалізовано процес інтелектуального управління наземно-повітряною комунікаційною мережею класів MANET-FANET та здійснено перерозподіл завдань управління за етапами функціонування НППМ, що не суперечить класичним принципам побудови існуючих систем управління мобільних радіомереж.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відповідно до існуючої концептуальної моделі ієрархічної побудови інтелектуальної системи управління мобільною радіомережею [1], МР, як складна динамічна система, складається з низки підпорядкованих підсистем – центру управління радіомережею, мобільних базових станцій і вузлів. Також в даній статті визначено, що на вузловому рівні вирішуються завдання управління окремими радіотерміналами або інформаційними напрямками з урахуванням виробленої на мережевому рівні стратегії поведінки мобільних вузлів та радіомережі в цілому. Взаємодія з мережевим рівнем здійснюється метаагентами вузлового рівня, які, в свою чергу, визначають «поведінку» вузлових інтелектуальних агентів (ІА), а також здійснюють координацію дій агентів різних вузлових систем управління з метою вузлової (користувальницької) оптимізації, а формування управляючих рішень здійснюється з урахуванням специфіки функціонування кожного вузла.

Проте, система інтелектуального управління комунікаційного вузла, як елемента нижнього рівня, фактично, навчається «з нуля» будучи в стохастичних умовах (розміщення вузлів, їх моделі мобільності, завадова обстановка, наявність сигналів глобальної навігаційної супутникової системи – для координатних методів маршрутизації та при наявності повітряної комунікаційної підмережі). Таким чином, корекція або оновлення мети функціонування радіомережі в цілому відбувається за рахунок координації роботи агентів мережевого рівня через метаагента (рис. 1), який відповідає за роботу інтелектуальної системи управління мережею.

Так як крім планових змін стану НППМ, існує значна початкова невизначеність, а також істотна невизначеність середовища, то ІА повинні забезпечувати адаптивне управління радіомережі. У цьому випадку адаптація виступає як засіб управління радіомережею за відсутності її точної моделі і в таких умовах дозволяє оптимізувати характеристики МР.

Така організація взаємодії вузлів МР з використанням ІА, взаємодіючих між собою, дозволить вирішити загальну задачу управління МР розподіленим чином. Згідно існуючої концепції [1] – процес навчання відбувається за схемою показаною на рисунку XX, де на етапі оперативного управління, тобто після організаційних заходів та розгортання, в процесі ітеративного обміну інформацією формується база знань, далі, відповідно до нейронечітких алгоритмів за сукупністю мета правил, які в загальному визначають цільові функції, за функцією приналежності визначається субоптимальне рішення поведінки певного мобільного комунікаційного вузла або їх сукупності (для реалізації цільових функцій для зони, маршруту, напрямку). Тобто, субоптимальне рішення управління є результатом задачі лінійного програмування, що спрямовані на максимізацію чи мінімізацію лінійної функції при виконанні обмежень у вигляді лінійних рівнянь і нерівностей через складність умов та обмежень реального середовища функціонування елементів НППМ.

Така схема до моменту накопичення бази знань, для роботи в реальному часі вимагає дуже великих ресурсних витрат у зв'язку із великою кількістю ітерацій до моменту отримання заданих значень якості інформаційного обміну відповідно до вимог користувачів.

Так, в статті [6] показано, що при інтелектуальному управлінні процесом маршрутизації на основі нейромережевого алгоритму екстремального машинного навчання AOS-ELM та FOS-ELM проти Fuzzy (нейронечіткий алгоритм), отримано суттєвий вигравш у часових показниках та якості обміну.



Рис. 1. Модель ієрархічної побудови інтелектуальної системи управління МР [1]

Таким чином, модель ієрархічної побудови інтелектуальної системи управління мобільної радіомережі (рис. 1) – взято за основу, однак, в силу наявності нових підходів в теорії машинного навчання та нейромереж, в статті пропонується модель системи управління наземно-повітряної комунікаційної мережі вузловими і мережевими ресурсами побудувати за загальною структурою, зображеною на рисунку 2.

В статті пропонується збір статистичних даних, що відображають множину станів мобільних користувачів НІМ, набутих в результаті реакції на дії (множину відповідних керуючих дій для забезпечення користувальницьких цілей управління) в середовищі функціонування здійснювати ще на етапі планування. Таким чином, середовище функціонування наземної та повітряної під мережі буде визначатися моделлю мобільності [1], технічними характеристиками мобільних користувачів, моделями шумових характеристик та завдань різного роду, навантаженням, методами маршрутизації, методами управління інформаційним обміном на фізичному рівні тощо.

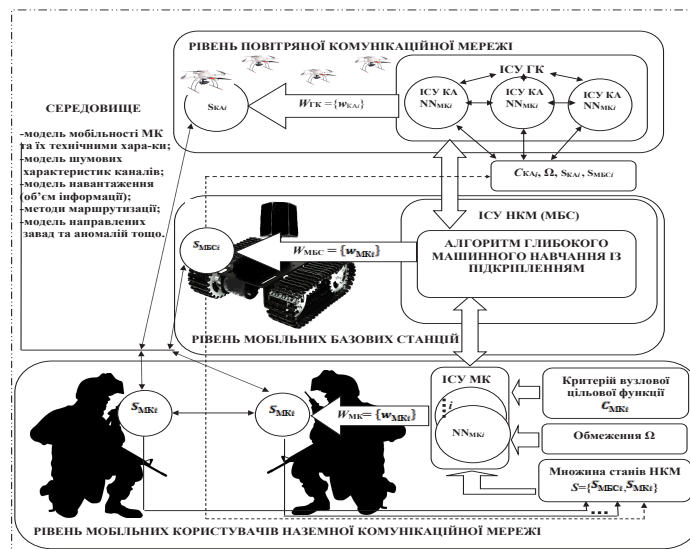


Рис. 2. Загальна структура моделі системи управління наземно-повітряної комунікаційної мережі вузловими і мережевими ресурсами

Отже, отримавши набір статистичних даних на етапі планування з використанням набору адекватних моделей функціонування НІМ, наступним етапом є виявлення закономірностей поведінкових моделей вузлових елементів для досягнення визначених користувальницьких або мережевих цільових функцій. Що забезпечить вигравш у часі для прийняття оптимального рішення уже із використанням алгоритму машинного навчання, тобто – «до навчання = оперативне управління». Таким чином, інтелектуальна система управління (ІСУ) мобільних користувачів, системно

об'єднує підсистему поповнення бази знань про процеси реалізації користувальницьких цільових функцій, що є основою для вибору оптимального управляючого впливу $W(U_{t+1})$ шляхом прогнозування стану об'єкту управління (МК) із підсистемою реалізації рішень на вузловому або мережевому рівні. Кожна із нейронних мереж $NN_{МК}$ ІСУ МК реалізує виконання однієї або декількох взаємозалежних користувальницьких цільових функцій (рис. 2) [10].

В загальному випадку, кожна із підсистем управління НПМ (рис. 3) забезпечує виконання взаємопов'язаних цільових функцій для виконання однойменних із підсистемами задач, однак з точки зору функціональної взаємодії, етапності циклу управління існуючої ІСУ та запропонованої є відмінності, що визначають наукову новизну запропонованої моделі.



Рис. 3. Система управління вузлами НПМ

За етапами згідно існуючої концепції задачі управління мобільними радіомережами діляться на задачі планування, розгортання та оперативного управління; задачі планування та розгортання – в більшості випадків реалізуються організаційними способами, задачі оперативного управління вирішуються змішаним способом (централізовано/децентралізовано).

На рисунку 4 – перераховано основні заходи циклу управління НПМ на часовій осі з урахуванням наукової новизни запропонованих рішень (верхня частина рис. 4).

Із рисунку 4 – при однаковому часі розгортання $T_{розг}$, при реалізації процесу управління за існуючою концепцією – системі управління необхідний ще деякий час $T_{навч}$ для навчання до настання фактичного часу етапу оперативного управління (функціонування) $T_{ф}$, формування бази знань, та мета правил, для досягнення оптимальних управляючих рішень $W^*(U_{Tф})$.



Рис. 4. Цикл управління НПМ спеціального призначення

* – етапи існуючої концептуальної моделі

Нижче показана загальна структурна схема процесу збору та обробки інформації для формування керуючих рішень, та навчання на етапі оперативного управління інтелектуальних агентів з використанням моделі ієрархічної побудови інтелектуальної системи управління мобільною радіомережею – рисунок 5 [1], та запропонованої в статті – на рисунку 6.

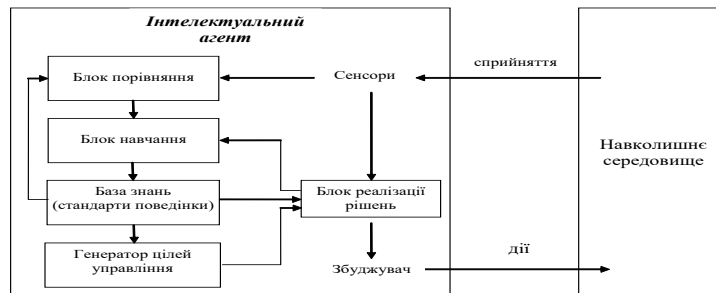


Рис. 5. Загальна блок-схема формування управляючих рішень інтелектуальним агентом [1]

Алгоритми глибокого навчання з підкріпленням, такі як Deep Q-Network (DQN), використовують політики на основі взаємодії агента з середовищем для оновлення параметрів (рис. 6).

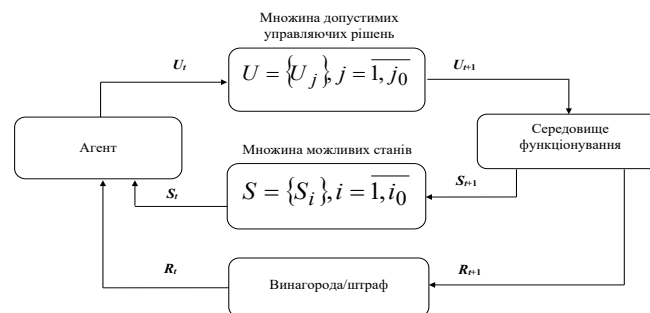


Рис. 6. Блок-схема формування управляючих рішень інтелектуальним агентом на основі алгоритму Q-навчання з підкріпленням

В контексті Q-навчання агента, з метою реалізації цільових функцій управління НПМ для виконання вимог із якості інформаційного обміну, маємо:

$$Q(s_t, U) = R(s_t, U) + \gamma \cdot \sum_{s_{t+1}} P(s_{t+1}|s_t, U) \max_{U_{t+1}} Q(s_{t+1}, U_{t+1}), \quad (1)$$

де $R(s_t, U)$ – це винагорода, отримана після виконання дії U в стані s_t , $P(s_{t+1}|s_t, U)$ – це імовірність переходу в стан s_{t+1} після виконання дії U в стані s_t , $\max_{U_{t+1}} Q(s_{t+1}, U_{t+1})$ – це максимальна Q-цінність для наступного стану s_{t+1} , що відображає найкращу дію U_{t+1} , яку можна виконати в цьому стані.

Висновки

В результаті дослідження встановлено, що існуюча концептуальна модель управління мобільною комунікаційною мережею не дозволяє вирішити існуюче протиріччя між обсягами службової та корисної інформації і забезпечити функціонування в реальному часі.

В статті запропоновано аналітичну концептуальну модель управління НПМ, що є основою для побудови сучасних комунікаційних мереж. Здійснено загальний опис етапів управління НКМ з урахуванням впровадження технологій машинного навчання та нейромережевих алгоритмів. Крім того, в статті показано дайджест наукових статей авторів із тематики дослідження.

Напрямок подальших досліджень є моделювання НКМ для визначених спеціальних підрозділів, дослідження можливості застосування запропонованих рішень при масштабуванні та впровадження на рівні технічних систем наземної та повітряної підмереж.

Список використаної літератури

1. Методологія синтезу інтелектуальних систем управління вузлами перспективних мобільних радіомереж з динамічною топологією / О. Я. Сова та ін. *Збірник наукових праць ХУПТ*. 2012. № 4(33). С. 112–116. URL: https://journal.viti.edu.ua/public/romanuk/2012/7_2012.pdf (date of access: 17.02.2024).

2. Романюк В. А. Концепція ієрархічної побудови інтелектуальних систем управління тактичними радіомережами класу MANET. *НВЧ-техніка та телекомунікаційні технології* : Збірник тез доповідей Міжнар. кримська конф. КриМиКо. Севастополь, 2012. С. 265.
3. Міночкін А. І., Романюк В. А. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення. *Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ "КПІ"*. 2005. № 3. С. 51–60.
4. Сова О. Я., Романюк В. А., Жук П. В. Концепція ієрархічної побудови інтелектуальних систем управління мобільними радіомережами військового призначення. *Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ "КПІ"*. 2010. № 2. С. 121–130.
5. Bieliakov R. Проблема інтеграції повітряної мережі класу FANET в мобільну комунікаційну мережу спеціального призначення. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. № 53. С. 263–276. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-40> (дата звернення: 26.02.2024).
6. Bieliakov R. O., Fesenko O. D. Improved model of intelligent management of node resources of the terrestrial communication network of the MANET class. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. 2023. No. 5. P. 93–98. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.5/16> (date of access: 26.02.2024).
7. Bieliakov R., Fesenko O. Модель мобільності наземної комунікаційної мережі спеціального призначення. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. № 51. С. 130–138. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-17> (дата звернення: 26.02.2024).
8. Romaniuk V. A., Bieliakov R. O. Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. No. 50. P. 125–130. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19> (date of access: 26.02.2024).
9. Беляков Р. О., Фесенко О. Д. Оцінка ефективності протоколів маршрутизації OLSR, AODV, DSDV, MAODV спеціальних мереж класу MANET. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. № 3(86). С. 75–82. URL: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.3.10> (дата звернення: 26.02.2024).
10. Беляков Р. О., Фесенко О. Д. Модель інтелектуального управління ресурсами наземної комунікаційної мережі класу MANET. *INFORMATION TECHNOLOGY AND SOCIETY*. 2023. № 3 (9). С. 6–14. URL: <https://doi.org/10.32689/maur.it.2023.3.1> (дата звернення: 26.02.2024).

References

1. Sova, O. Ya., Romaniuk, V. A., Zhuk, P. V. & Umanets, Ya. L. (2012). Metodolohiia syntezy intelektualnykh system upravlinnia vuzlamy perspektyvnykh mobilnykh radiomerezh z dynamichnoiu topolohiieiu [Methodology for the synthesis of intelligent control systems for nodes of promising mobile radio networks with dynamic topology] *Collection of Kharkiv Air Force University*, (4(33)), 112–116 [in Ukrainian].
2. Romaniuk, V. A. (2012). Kontseptsiiia iierarkhichnoi pobudovy intelektualnykh system upravlinnia taktychnymy radiomerezhamy klasu MANET [The concept of hierarchical construction of intelligent management systems for tactical radio networks of the MANET class]. *Microwave technology and telecommunication technologies* : Collection of abstracts of reports of the International Crimean Conf. CriMiCo. Sevastopol, 2012. P. 265 [in Ukrainian].
3. Minochkin, A. I., & Romaniuk, V. A. (2005). Kontseptsiiia upravlinnia mobilnoiu komponentoiu merezh zviazku viiskovoho pryznachennia [The concept of managing the mobile component of military communication networks]. *Collection of scientific works of the Military Institute of Telecommunications and Informatization of NTUU "KPI"*, (3), 51–60.
4. Sova, O. Ya., Romaniuk, V. A., & Zhuk, P. V. (2010). Kontseptsiiia iierarkhichnoi pobudovy intelektualnykh system upravlinnia mobilnymy radiomerezhamy viiskovoho pryznachennia [The concept of hierarchical construction of intelligent control systems for mobile radio networks for military purposes]. *Collection of scientific works of the Military Institute of Telecommunications and Informatization of NTUU "KPI"*, (2), 121–130 [in Ukrainian].
5. Bieliakov, R. (2023). Problema intehratsii povitrianoi merezhi klasu FANET v mobilnu komunikatsiinu merezhu spetsialnogo pryznachennia [The problem of integrating the FANET class air network into a special purpose mobile communication network]. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (53), 263–276. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-40> [in Ukrainian].
6. Bieliakov, R. O., & Fesenko, O. D. (2023). Improved model of intelligent management of node resources of the terrestrial communication network of the MANET class. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*, (5), 93–98. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.5/16>
7. Bieliakov, R., & Fesenko, O. (2023). Model mobilnosti nazemnoi komunikatsiinoi merezhi spetsialnogo pryznachennia [Mobility model of a special purpose terrestrial communication network]. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, 51, 130–138 [in Ukrainian].

8. Romaniuk, V. A., & Bieliakov, R. O. (2023). Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (50), 125–130. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19>
9. Bieliakov, R. O., & Fesenko, O. D. (2023). Otsinka efektyvnosti protokoliv marshrutyzatsii OLSR, AODV, DSDV, MAODV spetsialnykh merezh klasu MANET [Evaluation of the efficiency OLSR, AODV, DSDV, MAODV routing protocols in special MANET class networks]. *Bulletin of the Kherson National Technical University*. (3(86)), 75–82. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.3.10> [in Ukrainian].
10. Bieliakov, R. O., & Fesenko, O. D. (2023). Model intelektualnoho upravlinnia resursamy nazemnoi komunikatsiinoi merezhi klasu MANET [A model of intelligent management of resources of the terrestrial communication network of the MANET class]. *Information Technology and Society*, (3 (9)), 6–14. <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.3.1> [in Ukrainian].

М. О. ВОЛК

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0000-0003-4229-9904

В. Г. ЛАБАЗОВ

аспірант кафедри електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0009-0004-2790-5130

Д. О. КИПАРЕНКО

магістрант кафедри електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0009-0002-5172-5979

Б. В. ПРИВАЛОВ

магістрант кафедри електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0009-0004-8261-3667

Д. О. ШУМОВ

магістрант кафедри електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0009-0000-8922-2715

І. А. САМОЙЛОВ

магістрант кафедри електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID: 0009-0000-2829-2744

РОЗПОДІЛЕНЕ КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

У статті розглядаються питання підвищення ефективності систем розподіленого моделювання в хмарному віртуальному середовищі. Однією з основних задач, яка з'являється в процесі моделювання складних систем є масштабування обчислень – збільшення кількості ресурсів при зростанні розміру завдання. В роботі проводяться дослідження моделей, які використовуються для комп'ютерного моделювання, зокрема послідовна та паралельна модель з різними методами синхронізації. Розглядається хмарна модель імітаційного середовища з використанням тонких клієнтів, децентралізованим керуванням та асинхронною синхронізацією, що дозволяє масштабувати систему моделювання в горизонтальному напрямку. Дана модель дозволяє гнучке керування ресурсами залежно від складності об'єкта моделювання, динамічне призначення та звільнення обчислювальних віртуальних вузлів. В роботі описані експерименти з моделювання три вимірних об'єктів на різній кількості віртуальних машин. Використання багатьох вузлів, з одного боку, збільшує швидкість обчислень, з іншого боку вимагає великої обчислювальної потужності для синхронізації, керування та обміну повідомленнями між вузлами, тому залежність зростання швидкості при використанні додаткових хмарних вузлів не є лінійною. Залучення розподіленого середовища моделювання дозволило подвоїти розмір симуляції у випадку використання 4 обчислювальних вузлів. Спостерігалось зростання продуктивності із збільшенням кількості обчислювальних вузлів. Результати дослідження можуть бути використані при розробленні нових методів розподілу ресурсів та технологій розподілених обчислень в хмарних системах, моделей ефективного управління обчислювальними вузлами, системах розподіленого імітаційного моделювання.

Ключові слова: розподілені системи, комп'ютерні ресурси, імітаційне моделювання, хмарні обчислення, масштабування, віртуальні машини.

M. O. VOLK

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Electronic Computing Machines
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID: 0000-0003-4229-9904

V. H. LABAZOV

Postgraduate Student at Department of Electronic Computing Machines
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID: 0009-0004-2790-5130

D. O. KIPARENKO

Master's Student at the Department of Electronic Computing Machines
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID: 0009-0004-8261-3667

B. V. PARVALOV

Master's Student at the Department of Electronic Computing Machines
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID: 0009-0004-8261-3667

D. O. SHUMOV

Master's Student at the Department of Electronic Computing Machines
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID: 0009-0000-8922-2715

I. A. SAMOILOV

Master's Student at the Department of Electronic Computing Machines
Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID: 0009-0000-2829-2744

DISTRIBUTED COMPUTER SIMULATION IN CLOUD COMPUTING SYSTEMS

The article examines issues of increasing the efficiency of distributed modeling systems in a cloud virtual environment. One of the main tasks that appears in the process of modeling complex systems is the scaling of calculations – increasing the number of resources when the size of the task increases. The paper examines the models used for computer simulation, in particular the serial and parallel model with different synchronization methods. A cloud-based model of the simulation environment with the use of thin clients, decentralized control and asynchronous synchronization is considered, which allows scaling the simulation system in the horizontal direction. This model allows flexible management of resources depending on the complexity of the modeling object, dynamic assignment and release of computing virtual nodes. Experiments on modeling 3D objects on different number of virtual machines are described in the paper. The use of many nodes, on the one hand, increases the speed of calculations, on the other hand, it requires a lot of computing power for synchronization, management and exchange of messages between nodes, so the dependence of the increase in speed when using additional cloud nodes is not linear. The involvement of a distributed simulation environment made it possible to double the size of the simulation in the case of using 4 computing nodes. An increase in productivity was observed with an increase in the number of computing nodes. The results of the research can be used in the development of new methods of resource allocation and technologies of distributed computing in cloud systems, models of efficient management of computing nodes, systems of distributed simulation modeling.

Key words: distributed systems, computer resources, simulation modeling, cloud computing, scaling, virtual machines.

Постановка проблеми

Наука і техніка розвиваються все швидше, зростають можливості усього людства та потреби повсякденного, соціального та економічного життя. Але технологічний розвиток сучасних обчислювальних ресурсів є специфічним. Тактова частота процесора на комерційному ринку вже давно не перевищує 4–5 ГГц. Це в першу чергу пов'язано з властивостями елементної бази та технологіями виробництва, які використовується для створення процесорів. Таким чином, прискорення в основному досягається шляхом використання множини ядер процесорів і та організацією системи (архітектурою) так, щоб забезпечити паралельність виконання обчислювальних завдань та розподіл програмного забезпечення за віддаленими ресурсами [1].

Можна виділити три типи моделювання. Фізичне моделювання полягає у використанні фізично існуючих систем у відповідності з підготовленим сценарієм, тобто проводячи натурні експерименти. Віртуальне моделювання вимагає

взаємодії об'єктів в комп'ютерно змодельованому середовищі. Це може вимагати від експериментатора прийняття рішень, моторики та комунікативних навичок. Конструктивне моделювання – це комп'ютерна програма, операції якої базуються на агрегованих об'єктах моделювання. Вони представляють реальні ситуації в контексті сценарію моделювання [2].

Віртуальне моделювання має більш високу роздільну здатність і відповідність реальному світу, ніж конструктивне моделювання. На жаль, у разі великих, детальних та/або динамічних систем, може виявитися, що обчислювальної потужності одного пристрою недостатньо. Однією з можливостей є перехід до конструктивного моделювання. На жаль, багато об'єктів, об'єднаних в один, можуть призвести до втрати точності і необхідності калібрування його характеристик. Віртуальну симуляцію можна поширити на багато комп'ютерних ресурсів. Тому обчислювальна потужність одного пристрою не є обмежуючим фактором.

Движок кожної комп'ютерної програми, що виконує віртуальну симуляцію базується на певному шаблоні проектування програмного забезпечення (англ. software design patterns) [3]. Більшість з них поділяє програмне забезпечення на окремі програмні модулі за функціональним призначенням. Ці модулі можуть розроблятися паралельно різними фахівцями або командами. Наприклад, одним з найбільш відомих шаблонів є MVC (модель–представлення–контролер, англ. Model-view-controller) [4; 5]. Згідно цього шаблону програмна система поділяється на три елемента: модель даних, інтерфейс та контролер. У загальному випадку кожен з цих елементів також може складатися з окремих модулів. Наприклад, інтерфейс може реалізовувати взаємодію з користувачем, іншими програмами, комп'ютерною мережею або зовнішніми пристроями. Під час одного циклу виконання програмної системи обробляються пристрої введення, тоді як обчислена фізика, логіка, штучний інтелект і відтворена графіка відображаються на екрані. Вищезазначені кроки в класичному підході є послідовними. Лише після зупинки циклу може початися інший.

Розглянемо типовий цикл функціонування системи моделювання на прикладі шаблону MVC з урахуванням, що кожен компонент шаблону може складатися з декількох програмних модулів (рис. 1).

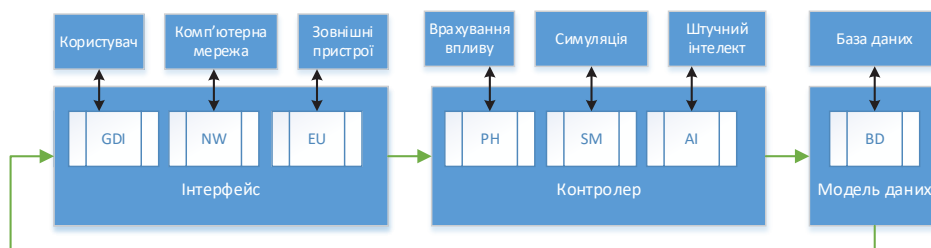


Рис. 1. Послідовне виконання процесу симуляції

На цьому рисунку можна продемонструвати, що кожен з модулів шаблону може мати свої окремі модулі: інтерфейс складається з модулів GDI (Graphic Design Interface), що забезпечує візуалізацію на екрані, модуля мережевої взаємодії NM (Network) та іншими зовнішніми пристроями EU (External Units), до яких можуть відноситись клавіатура, датчики та інше. Так же саме контролер може включати модулі моделювання SM (simulation), штучного інтелекту AI та інших модулів, наприклад, бібліотек моделей фізичних явищ PH (physic).

Щоб підтримувати процес моделювання, а зображення у користувача, що відображає процес моделювання було реалістичним, кадри екрана повинні формуватися з певною частотою. Щоб отримати 60 кадрів на секунду, усі обчислення, пов'язані з одним циклом, мають тривати приблизно 17 мілісекунд. Допустима нижня межа для нормального сприйняття – 16 кадрів []. В іншому випадку динамічне зображення не буде стабільним. У табл. 1 показано це явище шляхом порівняння кількості об'єктів із кадрами, що відтворюються за секунду. Дані були отримані в проєкті моделювання системи візуалізації 3D об'єктів, виконаному на віртуальних машинах, з такими параметрами: 4 ядра процесора Intel Core i7-9700K/3,6GHz/ з 12MB оперативної пам'яті.

Таблиця 1

Порівняння кількісних параметрів для однієї віртуальної машини

Кількість циклів	Кількість об'єктів	Час формування кадру, сек.	Кількість кадрів в секунду
10	100	16	60
10	500	18	55
10	1000	22	45
15	100	24	42
15	500	28	35
15	1000	32	31
20	100	33	30
20	500	45	22
20	1000	57	17

Як можна побачити з табл. 1, зі зростанням кількості ітерацій моделювання та кількості об'єктів, що моделюються в системі, зростає час формування одного кадру зображення, тож зменшується кількість кадрів, що система може відобразити на екрані. Те ж саме стосується і інших модулів системи. Зростання кількості зовнішніх джерел впливу, розмірності, наприклад, нейромереш в системах штучного інтелекту, призводить до аналогічного результату.

При впровадженні архітектури багатоядерних процесорів виявилось, що послідовні системи моделювання виявились неефективними. Тому ідеальним рішенням є асинхронний цикл, де завданням не потрібно чекати результатів інших завдань. Замість цього враховується останній обчислений результат, взятий зі спільного ресурсу (рис. 2). На жаль, така модель може бути надто складною для реалізації на практиці. Деякі завдання необхідно виконувати послідовно.

У випадку з комп'ютерним моделюванням однорангова мережа та клієнт-сервер є найбільш часто використовуваними типами архітектури багатокористувацької програмної системи. Головною перевагою однорангового зв'язку є відсутність центрального сервера. Вартість створення та підтримки такої мережі невисока. На жаль, рішення не масштабується. Швидкість з'єднань обмежує пропускну здатність, а впровадження є складним. Повільне підключення одного з клієнтів може спричинити затримки в процесі моделювання.

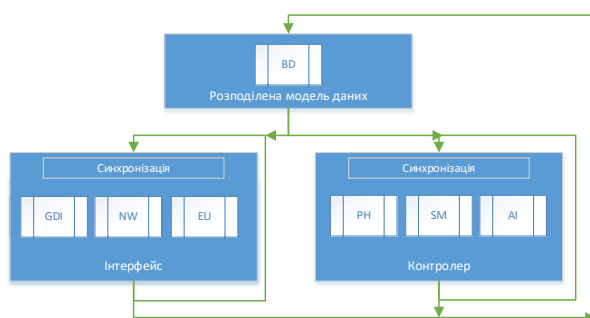


Рис. 2. Паралельне виконання процесу симуляції

Виникають не тільки деякі проблеми з синхронізацією, але і необхідно підтримувати фіксовану кількість навантаження для всіх клієнтів, що призводить до необхідності вирішувати завдання балансування навантаження [6]. Архітектура клієнт-сервер вимагає одного комп'ютера, який використовується як сервер і робить послугу доступною для клієнтів. Користувачі використовують клієнтські програми, які взаємодіють із сервером. Програми обмінюються повідомленнями та отримують список змін, які необхідно зробити в локальному віртуальному просторі [7].

Сервер може виступати в якості посередника в процесі обміну повідомленнями між клієнтами або брати активну участь в процесі моделювання. У такому випадку саме сервер приймає рішення щодо подій, що відбуваються. Деякі затримки, спричинені мережевою інфраструктурою, можуть ускладнити процес моделювання та забезпечення його реалістичності. В результаті можуть виникати відмінності в статусі об'єкта на сервері і клієнтських пристроях.

Можливим вирішенням цієї проблеми є використання механізму прогнозування, який оцінює майбутні властивості об'єкта на основі поточних даних (наприклад, положення, швидкість, напрямок). Архітектура традиційних мережевих симуляторів передбачала використання одного сервера в архітектурі клієнт-сервер. У більш складному випадку одного сервера недостатньо для обробки такої кількості з'єднань і даних. Тому потрібно багато серверів. Такі сервери можуть бути незалежними (статуси про стан моделювання зберігаються на кожному сервері окремо, без синхронізації), або мають загальну базу даних. У першому випадку користувач може вибрати сервер для входу. У другому випадку є машини, які протидіють переміщенню на серверах і призначають користувачів до найменш завантаженої машини [7]. У контексті симуляторів найчастіше використовуються наступні два типи архітектури: розподілене інтерактивне моделювання (DIS) і архітектура високого рівня (HLA). DIS є стандартом обміну інформацією між симуляторами. Він не має центрального сервера керування. Симулятори можуть приєднуватися до симуляції та залишати її в будь-який момент. Статус симуляції зберігається в повідомленні під назвою Protocol Data Unit (PDU) і обмінюється між симуляторами через доступний протокол транспортного рівня, використовуючи багатоадресний або широкомовний метод. Поточна версія DIS 7 визначає 72 різних типи PDU [8].

Архітектура високого рівня (HLA) – це архітектура, розроблена для комп'ютерних систем (зокрема, систем моделювання). Ідея цього рішення полягає в тому, щоб зробити зв'язок незалежним від платформ, на яких встановлені системи. Тренажер відповідно до HLA називається федеративним. Системи пов'язані з інфраструктурою

часу виконання (RTI) і разом створюють так звані федерації. Елементи системи спільно використовують дані про об'єкти, які знаходяться в об'єктній моделі об'єднання (FOM). Додатково деякі події (взаємодії) з параметрами пересилаються між симуляторами. На жаль, застосування вищезазначених типів архітектури для багатьох симуляторів має один головний недолік. З логічної точки зору, віртуальний світ моделюється на кожному федераті. Основним призначенням архітектури DIS і HLA є синхронізація різних типів симуляторів. Це не дозволяє розподілити віртуальний світ між різними симуляторами.

Формулювання мети дослідження

Мета даної роботи полягає у підвищенні ефективності розподіленого комп'ютерного моделювання шляхом створення моделі використання хмарного середовища для виконання окремих програмних модулів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Використання обчислювальних хмарних рішень у віртуальному моделюванні (рис. 3) передбачає використання тонких клієнтів. Зараз використовуються товсті клієнти з швидкими процесорами та відеокартами. Використовувати тонкі клієнти можна лише за умови обробки завдань кожного клієнта сервером. У середовищі моделювання це називається хмарним моделюванням. Наприклад щодо комп'ютерної графіки, фірма NVIDIA під комерційною назвою NVIDIA GRID пропонує таку послугу. Рішення дозволяє відправляти вхідні дані від клієнта до сервера. Клієнт отримує відеопотік, який декодується і виводиться на екран. Тому симуляція не залежить від платформи, яку повинен мати клієнт.



Рис. 3. Імітаційна хмарна модель

Однією з особливостей хмари моделювання є асинхронний механізм, який дозволяє масштабувати в горизонтальному напрямку. Таким чином можна ініціалізувати обчислювальні вузли, якщо виникне потреба. Важливо, щоб кожен вузол відповідав за різні об'єкти моделювання та дозволяв взаємодію між об'єктами, які керуються іншими вузлами. Об'єкти можуть бути закріплені за обчислювальними вузлами за територіальною ознакою. Коли об'єкт знаходиться в зоні, керованою даним вузлом, то ним керує такий вузол. Розміри зони можуть відрізнятися. Наприклад, міста щільніше заповнені симуляційними об'єктами, ніж ліси. Вузли ініціалізуються та призначаються як статично, так і динамічно. Під час моделювання та аналізу можна підготувати задовільний розподіл призначених обчислювальних вузлів. Операцію слід повторювати для кожного сценарію. Динамічне призначення означає постійний аналіз завантаження обчислювальних вузлів, ініціювання нових і звільнення таких вузлів.

Такий механізм дозволяє масштабувати ресурси в залежності від складності моделювання [7]. Перевагою динамічного розподілу є гнучкість і економія хмарних ресурсів, якщо їх використання є обов'язковим. З іншого боку, може виникнути певне навантаження через тестування та аналіз поточного та прогнозованого навантаження вузлів. Ще однією перевагою динамічного розподілу обчислювальних вузлів є більша стійкість до збоїв. У разі несподіваної втрати функціональності вузла, ініціюється новий вузол і моделювання продовжується. Крім стандартних обчислювальних блоків, можна використовувати спеціальні та спеціалізовані блоки. Проста модель симулятора підтримує фізику, логіку та штучний інтелект. Виділені вузли можуть використовувати спеціальні графічні карти, процесори або компоненти, що підтримують мобільні пристрої для організації хмари [9].

Платформа SpatialOS від Improbable є одним із комерційних продуктів, які використовують розподілену обробку в обчислювальній хмарі для віртуального моделювання. Рішення базується на платформі Google Cloud. Віртуальна симуляція в SpatialOS управляється обчислювальними вузлами, відомими як Workers. Якщо зростає потреба в обчислювальній потужності моделювання, ініціюються нові екземпляри обчислювальних вузлів. Розрізняють два види працівників: керовані та зовнішні. Керовані працівники – це ті, життєвим циклом яких керує SpatialOS. Зовнішні працівники зазвичай є клієнтами. SpatialOS не визначає, коли зовнішній робочий пристрій підключається або відключається. До платформи SpatialOS підключені всі типи працівників. Якщо подія відбувається в одному з вузлів (клієнт або робочий), вона надсилається в SpatialOS, яка інформує про це інші вузли. У випадку з клієнтами події обробляються лише для відображення 3D-моделей, текстур і анімації. Керовані

працівники займаються обчисленнями частини світу, призначеної їм платформою SpatialOS. Зовнішні працівники знають лише ту частину світу, яка оточує об'єкт симуляції, з якою вони пов'язані. В рамках проекту можливе налаштування способу організації обчислювальних вузлів. У разі статичного розподілу встановлюються координати та номер вузла. Динамічний розподіл вимагає визначення максимальної кількості вузлів, а також автоматичного масштабування на основі максимальної кількості керуваних об'єктів [15].

Мета наших тестів полягала в тому, щоб виявити різницю в потужності між симуляціями на основі 1, 2 або 4 обчислювальних вузлів. Моделювання проводилось на платформі SpatialOS. У сценарії використовувався статичний метод розподілу вузлів. Визначено 4 положення вузлів за координатами: <-250,-250>, <-250,250>, <250,-250> та <250,250>. Об'єкти були розміщені випадковим чином, на відстань 500 одиниць від позиції <0,0>.

Тест проводився в конфігурації 1, 2, 4 вузлів і 300, 600, 900, 1200, 1500 об'єктів, з яких 30 були статичними елементами оточення. Решта були динамічними об'єктами, що рухалися у випадковому напрямку. Результати тестування наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння кількості циклів моделювання, об'єктів і кадрів для різної кількості віртуальних машин

Кількість об'єктів	Кількість робочих вузлів					
	1		2		4	
	Кількість кадрів в секунду	Кількість об'єктів на вузел	Кількість кадрів в секунду	Кількість об'єктів на вузел	Кількість кадрів в секунду	Кількість об'єктів на вузел
300	45	300	55	150	60	75
600	31	600	52	300	58	150
900	15	900	34	450	49	225
1200	8	1200	17	600	25	300
1500	3	1500	9	750	13	375

Результати тестування показують, що збільшення кількості кадрів в секунду не є лінійним у порівнянні зі збільшенням кількості обчислювальних вузлів. Одного вузла не вистачає на 780 об'єктів. На рисунку 4 показана панель діаграми, що представляє дані з табл. 2. Застосування 4 вузлів дозволило плавне моделювання на заданому рівні з 1200 об'єктами.

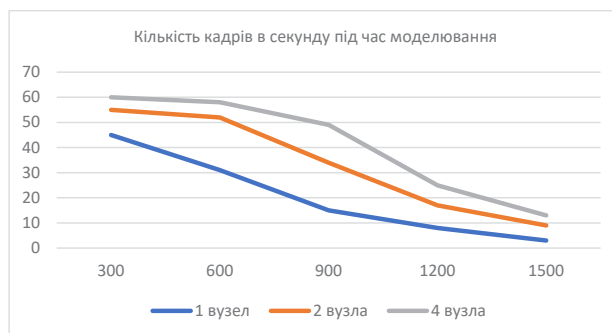


Рис. 4. Діаграма залежності кількості кадрів від кількості об'єктів для різної кількості обчислювальних вузлів

Найбільший приріст FPS помітний при переході з 1 вузла на 2 вузла. Найменший приріст FPS помітний при переході з 2 вузлів на 4 вузла. Отже, очевидно, що використання більшої кількості вузлів вимагає використання додаткових ресурсів для роботи та синхронізації таких вузлів.

Низьке збільшення потужності, ймовірно, є результатом високої надлишковості об'єктів, призначених вузлам. У випадку 4 обчислювальних вузлів загальна сума всіх об'єктів у вузлах вдвічі перевищує кількість усіх об'єктів у моделюванні. Це викликано перекриттям зон відповідальності вузлів і високою щільністю розподілу об'єктів між усіма вузлами.

Висновки

У статті розглянуто концепцію використання розподіленого віртуального моделювання. Показані типові проблеми, з якими зараз стикається моделювання складних систем. Представлено рішення з використанням обчислювальної хмари для розподіленого моделювання. Застосування багатьох вузлів вимагає великої обчислювальної потужності для керування та обміну повідомленнями між ними, тому залежність з залученням додаткових хмарних вузлів не є лінійною. Використання розподіленого середовища дозволило подвоїти розмір симуляції з 4 обчислювальними вузлами.

Чим більше вузлів, тим менше збільшення продуктивності. Для тестування використовувався сценарій, за якого об'єкти не змінювали свого розташування протягом короткого часу. На практиці мінливе віртуальне середовище може викликати різницю в навантаженні обчислювальних вузлів для різних сценаріїв. Подальші дослідження будуть присвячені методам і прийомам призначення завдань (об'єктів моделювання) обчислювальним вузлам, розробці ефективної моделі управління та зв'язку обчислювальних вузлів як одного з хмарних модулів моделювання.

Список використаної літератури

1. Farhanaaz, Sanju V. Compiling with MultiCores. 2nd International Conference for Innovation in Technology, INOCON 2023. P. 1–8 DOI: 10.1109/INOCON57975.2023.10101054
2. Weatherly R. M., Wilson A. L., Canova B. S., Page E. H., Zabeck A. A., Fisher M. C. Advanced Distributed Simulation through the Aggregate Level Simulation Protocol, *Proceedings of the 29th Hawaii International Conference on Systems Sciences*. 1996. P. 407–414. DOI: 10.1109/HICSS.1996.495488
3. Aratchige R., Manujaya K., Weerasinghe P. An Overview of Structural Design Patterns in Object-Oriented Software Engineering. *Software Modeling*. 2024. P.1-3. DOI: 10.13140/RG.2.2.16089.90724.
4. García R. MVC: Model–View–Controller. *iOS Architecture Patterns*. 2023. P.45-106. DOI: 10.1007/978-1-4842-9069-9_2.
5. Thakur R.N., Pandey U.S. The Role of Model-View Controller in Object Oriented Software Development. *Nepal Journal of Multidisciplinary Research*. No 2. 2019. P. 1–6. DOI: 10.3126/njmr.v2i2.26279.
6. Ivanisenko I.M., Volk M.O. Simulation methods for load balancing in distributed computing. *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017)*, Novi Sad, Serbia, September 27 – October 2, 2017. P. 690–695. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110078
7. Filimonchuk T., Volk M., Ruban I., Tkachov V. Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*, 2016. Vol. 3/9 (81). Pp. 45–53.
8. Peng Y., Dang W., Yin Q. Distributed simulation of MAS-based interactive applications with HLA. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*. No60. 2014. P. 229–238. DOI: 10.2495/CTA140281.
9. Mamchych O., Volk M. Smartphone Based Computing Cloud and Energy Efficiency. *12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Athens, Greece, 2022, pp. 1–5, DOI: 10.1109/DESSERT58054.2022.10018740

References

1. Farhanaaz, Sanju, V. (2023) Compiling with MultiCores. 2nd International Conference for Innovation in Technology, INOCON 2023. P. 1–8 DOI: 10.1109/INOCON57975.2023.10101054
2. Weatherly, R., M., Wilson, A.,L., Canova, B., S., Page, E., H., Zabeck, A., A., Fisher, M., C. (1996) Advanced Distributed Simulation through the Aggregate Level Simulation Protocol, *Proceedings of the 29th Hawaii International Conference on Systems Sciences*. P. 407–414. DOI: 10.1109/HICSS.1996.495488
3. Aratchige, R., Manujaya, K., Weerasinghe, P. (2024) An Overview of Structural Design Patterns in Object-Oriented Software Engineering. *Software Modeling*. P. 1–3. DOI: 10.13140/RG.2.2.16089.90724.
4. García, R.(2023) MVC: Model–View–Controller. *iOS Architecture Patterns*. P.45-106. DOI: 10.1007/978-1-4842-9069-9_2.
5. Thakur, R.,N., Pandey, U.,S. (2019) The Role of Model-View Controller in Object Oriented Software Development. *Nepal Journal of Multidisciplinary Research*. No 2. P. 1–6. DOI: 10.3126/njmr.v2i2.26279.
6. Ivanisenko, I.,M., Volk, M.,O. (2017) Simulation methods for load balancing in distributed computing. *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017)*, Novi Sad, Serbia, September 27 – October 2. P. 690–695. DOI: 10.1109/EWDTS.2017.8110078
7. Filimonchuk, T., Volk, M., Ruban, I., Tkachov, V. (2016) Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*. Vol. 3/9 (81). pp. 45–53.
8. Peng, Y., Dang, W., Yin, Q. (2014) Distributed simulation of MAS-based interactive applications with HLA. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*. Vol. 60. P.229-238. DOI: 10.2495/CTA140281
9. Mamchych, O., Volk, M. (2022) Smartphone Based Computing Cloud and Energy Efficiency. *12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Athens, Greece, pp. 1–5, DOI: 10.1109/DESSERT58054.2022.10018740

Д. Л. КИРИЙЧУК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4905-6932

А. В. ЯЦКЕВИЧ

студент кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5823-7334

О. М. ЛЯШЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5429-8389

ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРВІСУ СКЛАДАННЯ ПОЗОВНИХ ЗАЯВ «PROSHUSUD»

Метою роботи є проєктування програмного сервісу складання позовних заяв «ProshuSud».

Програмний сервіс дозволяє користувачеві грамотно скласти позовну заяву, висвітлити основні нюанси, головні обставини юридичної справи, скласти перелік відповідних документів, визначити суд, до якого подається позов, розрахувати розмір судового збору для відповідної категорії справи.

За допомогою програмного сервісу «ProshuSud» користувач може отримати консультації з будь-яких юридичних питань в онлайн режимі, замовити складання позову та супровід в суді по всій території України.

При розробці програмного сервісу було використано методологію об'єктно-орієнтованого програмування, технології крос-платформної розробки Node.js та React, перевагою яких є можливість асинхронного виконання коду, тобто сервер може обробляти безліч запитів одночасно, не очікуючи на завершення кожного з них, що призводить до більш ефективного використання ресурсів та швидкого відгуку сервера.

В роботі розроблено архітектуру програмного сервісу із застосуванням патерну MVC. Описано функціональні можливості програмного сервісу «ProshuSud». Побудовано діаграму варіантів використання в UML, на якій відображено взаємодію між варіантами використання, що представляють функції системи, та дійовими особами, які представляють людей або системи, які отримують або передають інформацію до програмного сервісу. Також описано процес завантаження проєкту до хмарного сервісу GitHub та роботу із системою контролю версії Git, що дозволяє захищати вихідний код від втрати, забезпечує командну та розподілену роботу та допомагає скасувати зміни, що зроблені у проєкті.

Також в роботі розроблено БД програмного сервісу, описано файлову структуру проєкту, розроблено інтерфейс користувача, наведено програмні методи роботи з формами та описано процес керування функціональними компонентами, що були використані при розробці проєкту.

Ключові слова: програмний сервіс, позовні заяви, технології крос-платформної розробки, методологія об'єктно-орієнтованого програмування.

D. L. KYRYICHUK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Software Tools and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-4905-6932

A. V. YATSKEVYCH

Student at the Department of Software Tools and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-5823-7334

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

DESIGN A SOFTWARE SERVICE FOR DRAFTING CLAIMS “PROSHUSUD”

The purpose of the work is to design a software service for drafting claims “ProshuSud”. The software service allows the user to competently draw up a statement of claim, highlight the main nuances, the main circumstances of the legal case, make a list of relevant documents, determine the court to which the lawsuit is filed, and calculate the amount of court fee for the corresponding category of the case. With the help of the software service “ProshuSud”, the user can get advice on any legal issues online, order a lawsuit and support in court throughout Ukraine. When developing the software service, the methodology of object-oriented programming, cross-platform development technologies Node.js and React were used, the advantage of which is the possibility of asynchronous code execution, that is, the server can process many requests simultaneously without waiting for the completion of each of them, which leads to more efficient use of resources and fast server response.

The architecture of the software service using the MVC pattern was developed. The functionality of the “ProshuSud” software service is described. A UML use case diagram is constructed, which shows the interaction between use cases representing system functions and actors representing people or systems that receive or transmit information to a software service. The process of loading the project into the GitHub cloud service and working with the Git version control system is described, which allows protecting the source code from loss, provides teamwork and distributed work and helps to cancel changes made in the project.

The work also developed a database of the software service, describes the file structure of the project, developed a user interface, provides software methods for working with forms and describes the process of managing the functional components that were used in the development of the project.

Key words: *software service, claims, cross-platform development technologies, object-oriented programming methodology.*

Постановка проблеми

Нині все більш поширеними стають програмні сервіси, які надають консультаційні послуги з будь-яких юридичних питань в онлайн режимі. Такі програмні рішення також дозволяють суб'єктам юридичної діяльності зберігати, керувати та обмінюватися інформацією із захищених баз даних.

Таким чином, розроблення програмного сервісу складання позовних заяв 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

Близькою за підходом до проектування сервісів для суб'єктів юридичної діяльності є робота [1], в якій описано процес розроблення інтегрованої інформаційної системи для комплексного забезпечення адвокатської діяльності. Описано практику застосування інформаційної системи та проаналізовано проблеми, що виникли під час її використання.

Проблемам інформаційної безпеки адвокатської діяльності присвячено роботу [2]. Автором виділено класи загроз інформаційної безпеки: внутрішні загрози адвокатської діяльності (незаконна діяльність інсайдерів), зовнішні загрози кіберпростору (віруси, хакерські атаки тощо), змішані форми загроз, тобто поєднання зусиль зовнішніх і внутрішніх порушників інформаційної безпеки.

В роботі [3] проведено дослідження, що дозволяє оцінити перспективи впровадження інформаційних систем в роботу суб'єктів юридичної діяльності. Розглянуто виклики, що виникають внаслідок значного та радикального впливу інформаційних технологій на закон та юридичну практику.

В роботі [4] описано процес розроблення та впровадження інформаційних технологій у діяльність юридичних компаній. В роботі також розглянуто питання впливу інформаційних технологій на сучасну юридичну практику.

В роботі [5] описано процес впровадження інформаційних технологій в юридичних фірмах. Розглянуто питання державної підтримки процесів діджиталізації юридичних послуг.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є проектування програмного сервісу складання позовних заяв «ProshuSud» із застосуванням методології об'єктно-орієнтованого програмування, технології крос-платформної розробки Node.js та React.

Викладення основного матеріалу дослідження

За допомогою програмного сервісу «ProshuSud» користувач може отримати консультації з будь-яких юридичних питань в онлайн режимі, замовити складання позову та супровід в суді по всій території України.

Таким чином, до основних функціональних особливостей програмного сервісу можна віднести такі:

1. Розірвання шлюбу.
2. Стягнення аліментів на утримання неповнолітніх дітей.
3. Позовна заява про оспорування батьківства.
4. Позбавлення батьківських прав.
5. Розділ майна подружжя.
6. Стягнення аліментів на утримання повнолітніх дітей.
7. Встановлення режиму спілкування з дитиною.
8. Наказ про стягнення аліментів.
9. Стягнення додаткових витрат на утримання дитини.
10. Визначення місця проживання дитини з батьком.

Для підготовки позову треба зареєструватися в програмному сервісі «ProshuSud» та заповнити анкету.

Діаграму варіантів використання в UML подано на рис. 1. На діаграмі відображається взаємодія між варіантами використання, що представляють функції системи, та дійовими особами, які представляють людей або системи, які отримують або передають інформацію до програмного сервісу. Діаграма на рис. 1 визначає загальну функціональність сервісу.

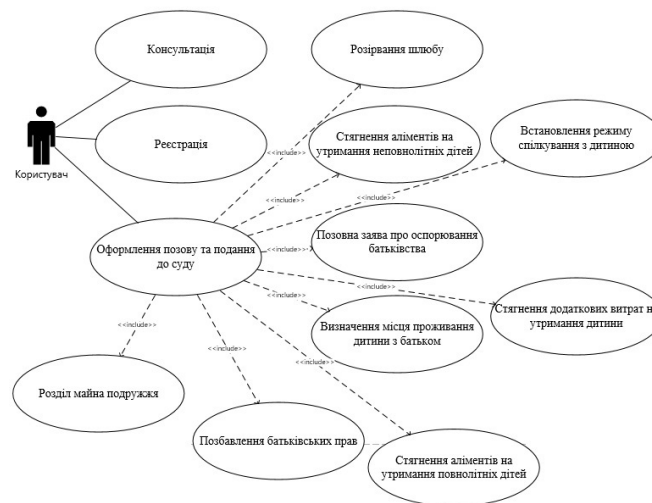


Рис. 1. Діаграма варіантів використання програмного сервісу

Архітектуру програмного сервісу розроблено із застосуванням патерну MVC (рис. 2).

Модель визначає структуру та логіку даних, що використовуються у програмі. В межах програмного сервісу Модель визначає структуру бази даних та модулі програми, які взаємодіють з базою даних.

Подання визначає візуальну частину програмного сервісу.

Контролери обробляють вхідні http-запити, використовуючи для обробки Модель та Подання, і відправляють у відповідь клієнту деякий результат обробки (html-код). Контролери дозволяють зв'язувати Подання і Модель та виконувати певну логіку для обробки запиту. Контролер взаємодіє з Моделлю та обслуговує реакцію та функціональність перегляду. Коли кінцевий користувач робить запит, він надсилається до контролера, який взаємодіє з базою даних.

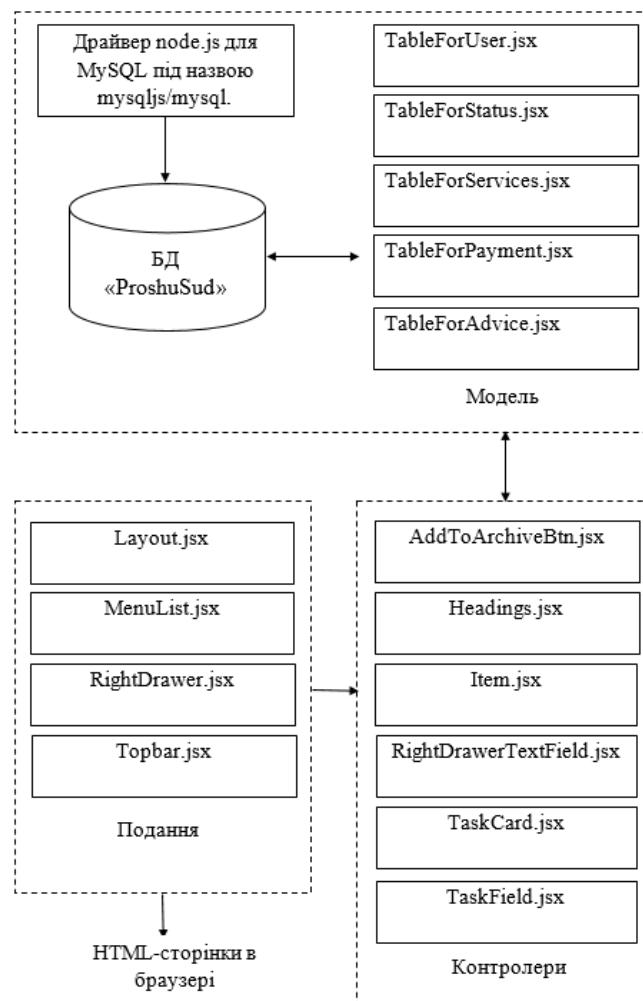


Рис. 2. Архітектура програмного сервісу із застосуванням патерну MVC

Для розроблення БД програмного сервісу було використано MySQL Workbench. Розроблювана БД включає такі об'єкти: Користувач, Замовлення, СтатусЗамовлення, Оплата, ОплатаЗамовлення, Послуга, ТипПослуги.

Зв'язки між об'єктами БД програмного сервісу (рис. 3):

1. Користувач – Послуга (M:N), зв'язок забезпечено за допомогою додаткової таблиці «Замовлення».
2. Замовлення – Оплата (M:N), зв'язок забезпечено за допомогою додаткової таблиці «ОплатаЗамовлення».
3. Замовлення – СтатусЗамовлення (1:N).
4. Послуга – ТипПослуги (1:N).

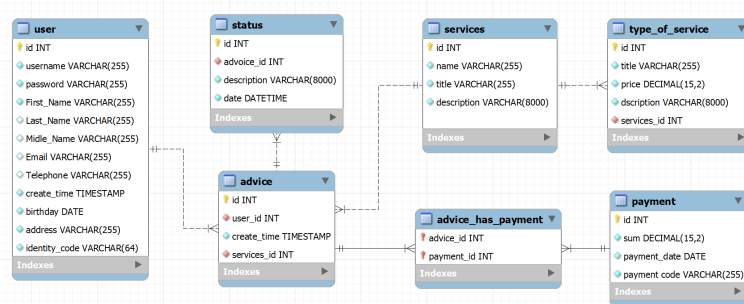


Рис. 3. Зв'язки між об'єктами БД

Для завантаження проєкту до хмарного сервісу GitHub та роботи із системою контролю версії Git було використано GitHub Desktop.

Програма GitHub Desktop синхронізується з віддаленим репозиторієм Git і надає можливість розробнику додавати нові файли у віддалений репозиторій. Структуру каталогів проєкту в GitHub подано на рис. 4.

Каталог public/ містить усі статичні файли програми, такі як index.html, favicon.ico.

Каталог src/ містить усі вихідні файли програми.

Каталог components/ містить всі компоненти React-програми, які використовуються для створення інтерфейсу користувача.

Каталог containers/ містить компоненти, які є «контейнерами» для інших компонентів і пов'язують Redux-стан з компонентами. При використанні Redux, основні дані для всієї програми представлені єдиним JavaScript об'єктом з посиланням на стан або дерево станів.

Каталог actions/ містить усі файли дій, які визначають, які типи дій можна виконувати у програмі.

Каталог reducers/ містить усі файли редьюсерів, які визначають, як змінюється стан програми у відповідь на дії.

Каталог services/ містить усі сервіси, які використовуються в програмі, такі як запити до API або маніпуляції з даними.

Файл index.js є головним файлом програми, який є точкою входу у програму.

Файл App.js є основним компонентом програми і містить маршрутизацію та загальну структуру програми.

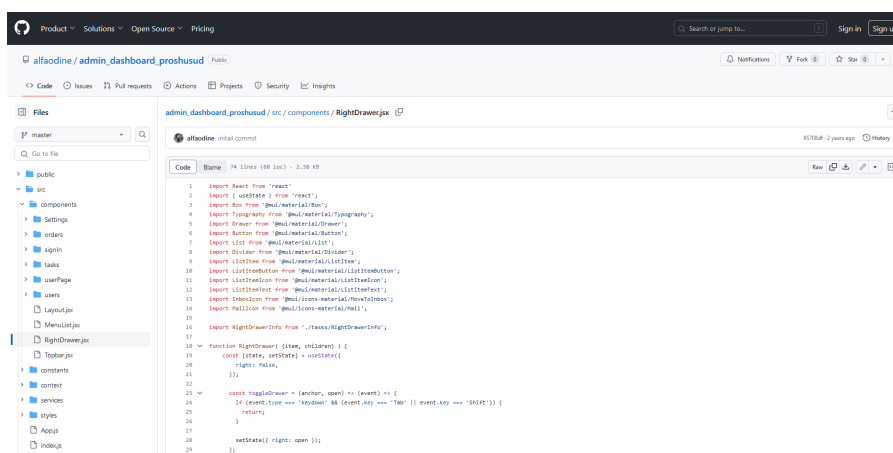


Рис. 4. Структура каталогів проєкту в GitHub

Для розроблення та візуалізації інтерфейсу користувача було використано React – бібліотеку JavaScript. В React розробнику доступні для використання всі стандартні елементи форм, які є в html.

Головним у React є стан. Будь-яку зміну у формі має бути перенесено до стану. Елементи форм, дані яких зберігаються в стані React, називаються керованими компонентами (controlled components) [6; 7].

Реалізація валідації форм в React передбачає перевірку їх введених значень, і якщо ці значення відповідають вимогам, тоді відбувається зміна стану компонента.

На рис 5 форма містить поля для введення даних позивача: дата народження, адреса реєстрації, ідентифікаційний код, телефон і т.д.

Наказ про стягнення аліментів

Це найшвидший і найпростіший спосіб. Розгляд проводиться навіть без судового засідання.

Можуть бути розглянуті вимоги про стягнення аліментів у розмірі: на одну дитину – 1/4, на двох дітей – 2/3, на трьох та більше дітей – 1/2 заробітку (доходу) платника аліментів.

Мінімальний розмір аліментів становить (для дітей віком до 6 років – 1050,00 грн., для дітей віком від 6 до 18 років – 1309,00 грн.).

Складання позову: **1500 грн.**

- ✓консультація з питання стягнення аліментів
- ✓визначення розміру та способу виплат
- ✓визначення підсудності
- ✓підготовка заяви

Складання позову + супровід в суд: **3500 грн.**

- ✓оформлення позову та подання до суду
- ✓отримання номеру справи в суді
- ✓контроль за рухом справи та інформування клієнта
- ✓представництво інтересів в суді (працюємо у всіх судах на території України)

Для підготовки позову зареєструйся та заповни анкету.

Щоб отримати послуги без реєстрації замовляй консультацію (вартість консультації входить до суми послуг).

Заповніть дані позивача (особа, яка звертається до суду)

дата народження

Адреса реєстрації

Ідентифікаційний код

Телефон

Рис. 5. Форма «Дані позивача»

Додаткові значення dataValid та codValid дозволяють встановити коректність введених дати народження та ідентифікаційного коду користувача відповідно. Ці значення необхідні для стилізації полів. Так, якщо введене значення некоректне, то поле введення матиме червону межу, інакше зелену [6; 7]:

```
var nameColor = this.state.dataValid===true?"green":"red";
var ageColor = this.state.codValid===true?"green":"red";
```

При визначенні поля введення кожне поле зв'язується з певним значенням у стані [6]:

```
<input type="text" value={this.state.data} onChange={this.onDataChange} style={{borderColor:dataColor}} />
<input type="number" value={this.state.code} onChange={this.onCodeChange} style={{borderColor:codeColor}} />
```

І для кожного поля введення визначено свій обробник onChange, в якому відбувається валідація та зміна введеного значення.

Приклади форм програмного сервісу подано на рис. 6–7.

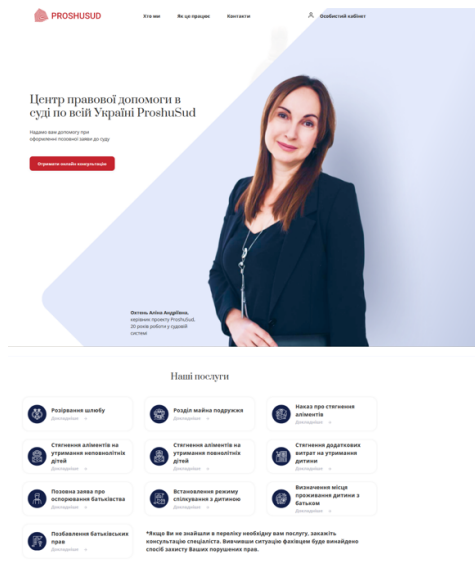


Рис. 6. Головна форма програмного сервісу

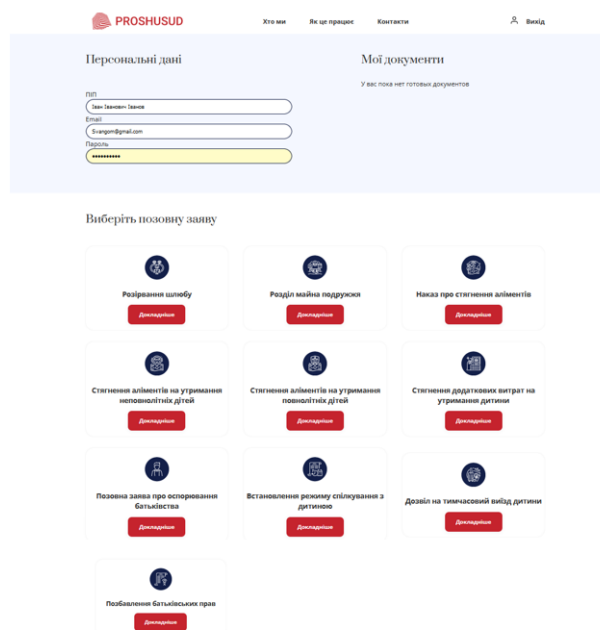


Рис. 7. Форма «Персональний кабінет»

Висновки

Описано функціональні можливості програмного сервісу «ProshuSud». Побудовано діаграму варіантів використання програмного сервісу. Описано процес завантаження проекту до хмарного сервісу GitHub. Описано файлову структуру проекту. Розроблено інтерфейс користувача за допомогою React – бібліотеки JavaScript. Наведено програмні методи роботи з формами. Побудовано діаграму об'єктів бази даних «ProshuSud». Описано зв'язки об'єктів БД. Наведено приклади роботи програмного сервісу.

Список використаної літератури

1. Lawlor R.C. Information Technology and the Law. *Advances in Computers*. 3(1).2021. Pp. 299–352.
2. Резнікова Г.І. Інформаційна безпека адвокатської діяльності: Криміналістичний погляд. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія Юриспруденція*. 29(2). 2017. С. 117–122.
3. Julian Webb. Information technology and the future of legal education: a provocation. *Griffith journal of law & human dignity*. 1(1).2019. Pp. 1–33.
4. Tanya Du Plessis. Competitive Legal Professionals' use of Technology in Legal Practice and Legal Research. *Potchefstroom Electronic Law Journal/Potchefstroomse Elektroniese Regsblad*. 11(4).2008. pp. 32–60.
5. Owoeye J.E. Information Communication Technology (ICT) Use as a Predictor of Lawyers' Productivity. *Library Philosophy and Practice*. 11(1). 2011. Pp. 662–773.
6. Alex Banks, Eve Porcello. Learning React: Modern Patterns for Developing React Apps. *O'Reilly Media*. 2020. P. 307.
7. David Griffiths, Dawn Griffiths. React Cookbook: Recipes for Mastering the React Framework. *O'Reilly Media*. 2021. P. 510.

References

1. Lawlor R.C.(2020) Information Technology and the Law. *Advances in Computers*, 3(1), pp. 299–352 [in English].
2. Reznikova H.I (2017) Informatsiina bezpeka advokatskoi diialnosti: Kryminalistychnyi pohliad [Information security of advocacy: a criminalistic view]. *Naukovyi visnyk Mizhnarodnoho humanitarnoho universytetu. Seriiia Yurysprudentsiia [Scientific Bulletin of the International Humanities University. Series: Jurisprudence]*, 29(2), P. 117–122 [in Ukrainian].
3. Julian Webb. (2019) Information technology and the future of legal education: a provocation. *Griffith journal of law & human dignity*, 1(1), pp. 1–33 [in English].
4. Tanya Du Plessis. (2008) Competitive Legal Professionals' use of Technology in Legal Practice and Legal Research. *Potchefstroom Electronic Law Journal/Potchefstroomse Elektroniese Regsblad*, 11(4), pp. 32–60 [in English].
5. Owoeye J.E. (2011) Information Communication Technology (ICT) Use as a Predictor of Lawyers' Productivity. *Library Philosophy and Practice*, 11(1), pp. 662–773 [in English].
6. Alex Banks, Eve Porcello. (2020) Learning React: Modern Patterns for Developing React Apps. *O'Reilly Media*, 307 p. [in English].
7. David Griffiths, Dawn Griffiths. (2021) React Cookbook: Recipes for Mastering the React Framework. *O'Reilly Media*, 510 p. [in English].

Н. А. КУЛИКОВСЬКА

старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0003-4691-5102

А. В. ТІМЕНКО

старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0002-7871-4543

В. Є. ТРОХИМЧУК

студент кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0009-0000-1733-171X

М. Б. ІЛ'ЯШЕНКО

кандидат технічних наук,
доцент комп'ютерних систем та мереж
Національний університет «Запорізька політехніка»
ORCID: 0000-0003-4624-4687

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ТОНАЛЬНОСТІ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ

Актуальність теми дослідження визначається лавиноподібним зростанням обсягів неструктурованих текстових даних в Інтернеті та потребою в ефективних методах аналізу тональності. Мета роботи – систематично вивчити сучасний стан методології аналізу тональності, порівняти провідні підходи і окреслити подальші перспективи. У статті детально проаналізовано популярні бібліотеки Python для обробки природної мови – NLTK, spaCy, TextBlob, Gensim. Порівняння проведено за критеріями обчислювальної ефективності, зручності використання, гнучкості екстракції ознак та можливостей кастомізації. Методологічне ядро дослідження становить експериментальне порівняння NLTK і TextBlob для класифікації тональності україномовних текстів. Оцінки можуть варіюватися в залежності від конкретного сценарію використання та налаштувань. NLTK, де він може бути більш точним, коли його правильно налаштовано, але вимагає більше зусиль у налаштуванні. TextBlob, навпаки, є більш простим для використання, але може бути менш точним для спеціалізованих завдань. Результати засвідчили переваги TextBlob у швидкодії та NLTK у точності. Аналіз тональності має величезний потенціал для вдосконалення аналітичних можливостей в багатьох сферах – від оптимізації бізнес-процесів до протидії поширенню фейкових новин. Подальші дослідження повинні фокусуватися на розробці спеціалізованих рішень під конкретні прикладні задачі. Визначено перспективи вдосконалення етичних принципів аналізу тексту, урахування лінгвістичного та культурного контексту, а також інтеграції функціоналу аналізу тональності в системи підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: аналіз тональності, обробка природної мови, машинне навчання, Python, NLTK, spaCy, TextBlob, Gensim.

N. A. KULYKOVSKA

Senior Lecturer at the Department of Computer Systems and Networks
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0003-4691-5102

A. V. TIMENKO

Senior Lecturer at the Department of Computer Systems and Networks
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0002-7871-4543

V. E. TROKHYMCHUK

Student at the Department of Computer Systems and Networks
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0009-0000-1733-171X

M. B. ILYASHENKO

Ph.D., Associate Professor at the Department of Computer Systems
and Networks
National University Zaporizhzhia Polytechnic
ORCID: 0000-0003-4624-4687

STUDY ON SENTIMENT ANALYSIS METHODS FOR TEXT DATA

The relevance of the research topic is determined by the avalanche-like growth of unstructured text data on the Internet and the need for effective methods of tonality analysis. The purpose of the work is to systematically study the current state of the tonality analysis methodology, compare the leading approaches and outline further prospects. The article analyzes in detail popular Python libraries for natural language processing – NLTK, spaCy, TextBlob, Gensim. The comparison was made according to the criteria of computational efficiency, ease of use, flexibility of feature extraction, and customization options. The methodological core of the study is an experimental comparison of NLTK and TextBlob for tonality classification of Ukrainian-language texts. Estimates may vary depending on specific usage scenario and settings. NLTK, where it can be more accurate when configured correctly, but requires more effort to configure. TextBlob, on the other hand, is easier to use, but may be less accurate for specialized tasks. The results proved the superiority of TextBlob in speed and NLTK in accuracy. Tonality analysis has a huge potential for improving analytical capabilities in many areas – from optimizing business processes to countering the spread of fake news. Further research should focus on the development of specialized solutions for specific applied tasks. Prospects for improving the ethical principles of text analysis, taking into account the linguistic and cultural context, as well as the integration of the tonality analysis functionality into decision support systems have been determined.

Key words: sentiment analysis, natural language processing, machine learning, Python, NLTK, spaCy, TextBlob, Gensim.

Постановка проблеми

В тенденції сучасного розвитку цифрової інформації обсяги текстових даних, які генеруються в Інтернеті, зростають з неймовірною швидкістю. Соціальні мережі, блоги, форуми, відгуки на товари та послуги – все це стало не лише засобом вираження думок та почуттів людей, а й важливим джерелом інформації для компаній, науковців, урядових та некомерційних організацій. Аналіз тональності, або сентимент-аналіз, стає ключовим інструментом для розуміння громадської думки, реакцій споживачів, політичних настроїв та багатьох інших аспектів суспільного життя. Враховуючи актуальність та масштабність задачі, дослідження методів аналізу тональності у текстових даних набуває особливого значення [1, с. 72; 2, с. 10; 3, с. 42].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз останніх досліджень свідчить, що аналіз тональності текстів є активною галуззю досліджень в останні роки. Багато робіт присвячено застосуванню методів машинного навчання, зокрема нейронних мереж, для аналізу тональності [4, с. 55]. Поряд з цим, активно вивчаються лінгвістично-орієнтовані методи, що враховують морфологічні та синтаксичні особливості конкретних мов [5, с. 1]. Значна увага приділяється питанням аналізу тональності текстів соціальних мереж та відгуків споживачів в Інтернеті [6, с. 10]. Це дозволяє оцінювати ставлення користувачів до брендів, продуктів, послуг тощо.

Ряд досліджень присвячено порівнянню ефективності різних підходів до аналізу тональності за показниками точності, швидкодії тощо [7, с. 57; 8, с. 63; 9, с. 79]. Зокрема аналізуються такі поширені бібліотеки як NLTK, TextBlob, spaCy.

Виокремлюється напрям, пов'язаний з розробкою гібридних методів аналізу тональності, що поєднують підходи машинного навчання і обробки природної мови [10, с. 476]. Такі комбіновані методи дозволяють досягти вищої ефективності для конкретних задач [11, с. 569].

Отже, актуальними тенденціями є удосконалення існуючих алгоритмів аналізу тональності, розробка спеціалізованих рішень для конкретних мов і практичних завдань, а також створення гібридних підходів шляхом поєднання методів.

Формулювання мети дослідження

Об'єкт дослідження це методи аналізу тональності текстових даних. Предмет дослідження це ефективність та застосовність різних методів аналізу тональності тексту, таких як методи машинного навчання та обробки природної мови. Мета дослідження: дослідити сучасний стан у галузі аналізу тональності тексту, визначити основні виклики та перспективи розвитку, порівняти ефективність різних підходів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Технологічний сегмент штучного інтелекту, який займається вивченням взаємодії між комп'ютерами та людською мовою, відомий як обробка природної мови (NLP) [12, с. 260]. Цей напрямок фокусується на тому, як комп'ютери можуть інтерпретувати, обробляти та створювати мову, яку люди використовують для комунікації. Тест Тюрінга виступає як критерій, що вимірює здатність комп'ютера вести діалог з людиною так, щоб його не можна було відрізнити від спілкування з іншою людиною, що є важливим етапом у розвитку NLP. У контексті дослідження, Python виступає як вирішальний інструмент, надаючи значні переваги для аналізу тональності в текстових даних, завдяки своїй універсальності та зручності. Python пропонує розширені можливості для ефективного керування складними проектами.

В дослідженні розглянуті такі методи обробки природної мови як NLTK, spaCy, TextBlob і Gensim, кожен з яких відрізняється за цільовим призначенням, легкістю використання, функціональністю та областями застосування (табл. 1).

Таблиця 1

Методи обробки природної мови як NLTK, spaCy, TextBlob і Gensim

Критерій	NLTK	spaCy	TextBlob	Gensim
Цільове призначення	Інструмент для дослідження і розробки NLP-рішень	Орієнтований на продуктивність для швидкого аналізу тексту в реальному часі	Спрощення обробки тексту та аналізу настрою	Робота з векторними представленнями слів і тематичним моделюванням
Легкість використання	Має багато функцій, може бути складним для новачків	Дружній API і простий інтерфейс, легкий для новачків	Надзвичайно простий у використанні, інтуїтивно зрозумілий API	Простий інтерфейс для спеціалізованих задач
Функціональність	Широкий набір функцій для різних завдань NLP	Швидка обробка з виявленням сутностей, частин мови тощо	Зосереджено на аналізі настрою та токенизації	Спеціалізований на векторних представленнях і тематичному моделюванні
Типові використання	Дослідницькі роботи, навчальні цілі	Розробка продуктів, що потребують обробки тексту в реальному часі	Прості завдання аналізу настрою і швидкий аналіз тексту	Векторне представлення слів та тематичне моделювання в текстових даних

У термінах легкості використання, NLTK, хоча і потужний, може бути складним для новачків через свою багатофункціональність. SpaCy та TextBlob вирізняються своєю простотою та інтуїтивно зрозумілими API, що робить їх зручними для ширшого кола користувачів. Gensim також пропонує простий інтерфейс, особливо для задач, пов'язаних з векторними представленнями та тематичним моделюванням.

З точки зору функціональності, NLTK надає комплексні можливості для різноманітних завдань NLP, від токенизації до аналізу настрою. SpaCy оптимізований для швидкої обробки з виявленням сутностей та аналізом частин мови. TextBlob зосереджується на аналізі настрою і токенизації, але має більш обмежений набір функцій порівняно з іншими бібліотеками. Gensim є ідеальним інструментом для роботи з великими текстовими наборами даних для векторного представлення слів та тематичного моделювання.

Для аналізу перелічених бібліотек були взяті кількісні показники їх використання на GitHub (рис. 1).

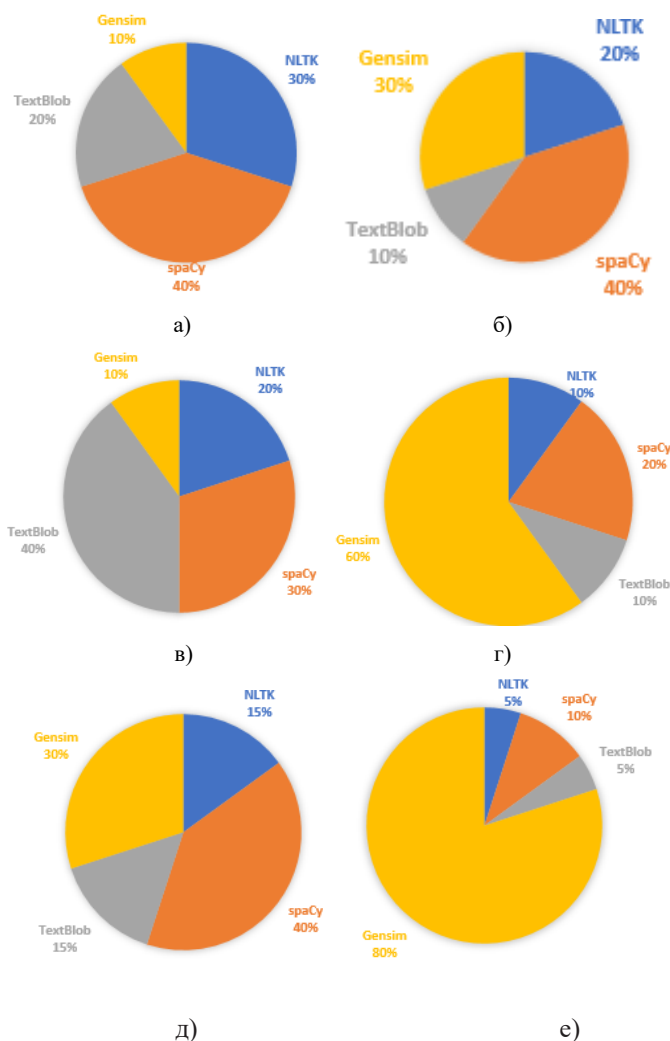


Рис. 1. Порівняння методів обробки природної мови як NLTK, spaCy, TextBlob і Gensim
 а) відсоток використання бібліотек для обробки тексту та виконання основних NLP завдань; б) відсоток використання бібліотек для розробки пошукової системи; в) відсоток використання бібліотек для аналізу настроїв; г) відсоток використання бібліотек для векторного представлення слів та тематичне моделювання; д) відсоток використання бібліотек для створення продуктів, які вимагають обробки тексту в реальному часі; е) відсоток використання бібліотек для векторного представлення слів та тематичного моделювання у текстових даних

Порівняння бібліотек NLTK і TextBlob є особливо актуальним у контексті аналізу тональності тексту, оскільки обидва інструменти пропонують унікальні підходи та можливості для вирішення поставленого завдання.

У дослідженні було використано, два інструменти NLTK:

- інструмент «Аналіз настроїв VADER» (генерує позитивні, негативні і нейтральні оцінки настроїв для заданих вхідних даних);
- інструмент токенизатора «word_tokenize» (розбиває великий текст на послідовність більш дрібних одиниць, таких як речення або слова).

Попередня обробка тексту використовується для поліпшення роботи алгоритмів. Тож, буде виконано очищення від стоп-слів та приведення слова в нормальну форму. Т.к. у NLTK, поки немає корпусу української мови, то для морфологічного аналізу було використано rutmorphu2.

Було пораховано оцінку настрою для наданих заголовків за допомогою VADER, щоб зрозуміти, на що здатний цей інструмент. Рисунок 2 ілюструє вивід оцінки для 4 класів настроїв.

```

0 Палестинські бойовики захопили в полон понад 130 Ізраїльтян RAM: -0.25 NORM: -0.25
1 8 Ізраїль загинув найбільше: метод емеркації - SVM RAM: 0.0 NORM: -0.4588
2 Російські війська відступили після ожесточеної ділянки фронту на Запоріжжі - SVM RAM: 0.0 NORM: 0.0
3 Ізраїль попросив у США високоточні бомби та ППО RAM: 0.0 NORM: -0.25
4 За підсумками засідання Ради Безпеки ООН жодних рішень не прийнято - SVM RAM: 0.0 NORM: 0.4588
5 Директор ЦАХАЛ на вчорашній нараді в Ізраїлі спробував скористатися фокусом на Україні RAM: -0.4588 NORM: -0.6124
6 ХАМАС атакував місто Ашдолон в Ізраїлі сотнями ракет - SVM RAM: 0.0 NORM: -0.25
7 ВМС Ізраїлю взяли в полон заступника командувача ХАМАС RAM: -0.4588 NORM: -0.4588
8 Гран дотопити спланувати атаку на Ізраїль - SVM RAM: 0.0 NORM: 0.0
9 Свіа готує евакуацію з Ізраїлю на кораблі ВМС - SVM RAM: 0.0 NORM: 0.0
10 Театр: Поки одні борються країну - інші прикидаються, що не можуть закрити клуб вночі в Києві RAM: 0.0 NORM: 0.0
11 У Нью-Йорку влаштували пропалестинський мітинг, навпроти буда акція Ізраїльтян RAM: 0.0 NORM: 0.0
12 8 Ізраїль загинув британець, який поламав у ЦАХАЛ RAM: 0.0 NORM: -0.4588
13 Російські обстріли Антонової на Кривому, загинув чоловік RAM: 0.0 NORM: -0.4588
14 Сильні землетруси в Афганістані: майже 2,5 тисячі загиблих RAM: 0.0 NORM: 0.0
15 Пенс про Трамп, десантіса, Франсвасі: Через такий відбувається війна в Ізраїлі та Україні RAM: -0.25 NORM: -0.25
16 На місці музичного фестивалю в Ізраїлі після атаки ХАМАС знайшли понад 250 тіл RAM: 0.25 NORM: 0.25
17 Понад 100 українців звернулося до посольства в Ізраїлі - Зеленський RAM: 0.25 NORM: 0.25
18 У Європі посилюють захист єврейських об'єктів після нападу ХАМАС на Ізраїль RAM: 0.25 NORM: -0.4588
19 Пентагон закликає про передислокацію авіаційної ударної групи ВМС на Близький Схід RAM: 0.25 NORM: 0.0
Час виконання: 0.20558469595310059 секунд
    
```

Рис. 2. Результат оцінки настрою для наданих заголовків NLTK

Наступний крок дослідження була використана бібліотека TextBlob. Рисунок 3 ілюструє вивід оцінки настроїв для алгоритму TextBlob.

```

Слово 'this' має нейтральне значення тональності
Слово 'is' має нейтральне значення тональності
Слово 'a' має нейтральне значення тональності
Слово 'very' має позитивне значення тональності
Слово 'wonderful' має позитивне значення тональності
Слово 'day.' має нейтральне значення тональності
Слово 'I' має нейтральне значення тональності
Слово 'feel' має нейтральне значення тональності
Слово 'so' має нейтральне значення тональності
Слово 'happy.' має позитивне значення тональності
Час виконання: 0.012833595275878906 секунд
    
```

Рис. 3. Результат обчислення тональності тексту TextBlob

Для порівняння двох методів був розроблено програмний модуль, який рахує час роботи кожного алгоритму за однаковими вхідними текстовими даними (рис. 4).

```

11
12 # Аналіз тональності з використанням NLTK
13 start_time = time.time()
14 sentiment_scores = sia.polarity_scores(text)
15 end_time = time.time()
16 # Виведення тональності з використанням NLTK
17 if sentiment_scores['compound'] >= 0.05:
18     sentiment = "Positive"
19 elif sentiment_scores['compound'] <= -0.05:
20     sentiment = "Negative"
21 else:
22     sentiment = "Neutral"
23 print(f"NLTK Sentiment: {sentiment}")
24 print(f"NLTK Execution Time: {end_time - start_time:.6f} seconds")
25 # Аналіз тональності з використанням TextBlob
26 start_time = time.time()
27 blob = TextBlob(text)
28 sentiment = blob.sentiment.polarity
29 end_time = time.time()
30 # Виведення тональності з використанням TextBlob
31 if sentiment > 0:
32     sentiment_label = "Positive"
33 elif sentiment < 0:
34     sentiment_label = "Negative"
35 else:
36     sentiment_label = "Neutral"
37 print(f"TextBlob Sentiment: {sentiment_label}")
38 print(f"TextBlob Execution Time: {end_time - start_time:.6f} seconds")
    
```

Рис. 4. Порівняння за швидкістю методи NLTK та TextBlob

Таблиця 2 наводить оцінки, які можуть варіюватися в залежності від конкретного сценарію використання та налаштувань. NLTK, де він може бути більш точним, коли його правильно налаштовано, але вимагає більше зусиль у налаштуванні. TextBlob, навпаки, є більш простим для використання, але може бути менш точним для спеціалізованих завдань.

Таблиця 2

Порівняння методів за точністю, зручністю, гнучкістю та налаштованістю

Метод	Точність виявлення	Зручність у використанні	Гнучкість та налаштованість
NLTK	80%	70%	90%
TextBlob	70%	90%	60%

Висновки

У статті проаналізовано можливості поширених бібліотек Python для обробки природної мови, таких як NLTK, spaCy, TextBlob, Gensim. Встановлено, що кожна з них має свої переваги і недоліки залежно від конкретних цілей та завдань. Експериментально порівняно ефективність алгоритмів NLTK (VADER) і TextBlob для аналізу тональності україномовних текстів. З'ясовано, що TextBlob продемонстрував кращу швидкість, проте гіршу точність в порівнянні з VADER. Обґрунтовано доцільність розробки спеціалізованих алгоритмів аналізу тональності для конкретних мов, предметних областей і практичних задач. Визначено перспективні напрями

досліджень в етичних аспектах аналізу тексту та інтеграції функціоналу аналізу тональності в комплексні системи підтримки прийняття рішень.

Список використаної літератури

1. Ivokhin E., Makhno M., Rets V. Про один спосіб аналізу тональності текстів за допомогою штучних нейронних мереж. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2022. Т. 3, № 69. С. 71–74.
2. Orel A. Social media analyzing for evaluation opinions determination based on sentiment analysis. *International scientific journal "Internauka"*. 2018. No. 10.
3. Deng Y. Research on sentiment analysis methods for text-oriented data. *Frontiers in computing and intelligent systems*. 2023. Vol. 3, no. 1. P. 42–47.
4. Mukasheva A. Tasks and methods of text sentiment analysis. *Scientific journal of astana IT university*. 2021. No. 7. P. 55–62.
5. Abonizio H. Q., Paraiso E. C., Barbon Junior S. Toward text data augmentation for sentiment analysis. *IEEE transactions on artificial intelligence*. 2021. P. 1.
6. Samigulin T. R., Djurabaev A. E. U. Sentiment analysis of text by machine learning methods. *Research result. Information technologies*. 2021. Vol. 6, no. 1.
7. Yao J. Automated sentiment analysis of text data with NLTK. *Journal of physics: conference series*. 2019. Vol. 1187, no. 5. P. 60–78.
8. A review of text sentiment analysis methods and applications / Y. Jin et al. *Frontiers in business, economics and management*. 2023. Vol. 10, no. 1. P. 58–64.
9. Poria S., Hussain A., Cambria E. Concept extraction from natural text for concept level text analysis. *Multimodal sentiment analysis*. Cham, 2018. P. 79–84.
10. Maran S. M., Esh P. S. Text analysis for product reviews for sentiment analysis using NLP methods. *International journal of engineering trends and technology*. 2017. Vol. 47, no. 8. P. 474–480.
11. Sarkar D. Sentiment analysis. *Text analytics with python*. Berkeley, CA, 2019. P. 567–629.
12. Text as data: text mining and sentiment analysis. *Data mining and business analytics with R*. Hoboken, NJ, USA, 2013. P. 258–271.

References

1. Ivokhin, E., Makhno, M., & Rets, V. (2022). Pro odyin sposib analizu tonal'nosti tekstiv za dopomohoyu shtuchnykh neyronnykh merezh. *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku. Zbirnyk naukovykh prats'* [About one way to analyze the tonality of texts using artificial neural networks], 3(69), 71–74. <https://doi.org/10.26906/sunz.2022.3.071> [in Ukrainian].
2. Orel, A. (2018). Social media analyzing for evaluation opinions determination based on sentiment analysis. *International Scientific Journal "Internauka"*, (10). <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2018-10-3858>
3. Deng, Y. (2023). Research on sentiment analysis methods for text-oriented data. *Frontiers in computing and intelligent systems*, 3(1), 42–47. <https://doi.org/10.54097/fcis.v3i1.6022>
4. Mukasheva, A. (2021). Tasks and methods of text sentiment analysis. *Scientific journal of astana IT university*, (7), 55–62. <https://doi.org/10.37943/aitu.2021.57.68.005>
5. Abonizio, H. Q., Paraiso, E. C., & Barbon Junior, S. (2021). Toward text data augmentation for sentiment analysis. *IEEE transactions on artificial intelligence*, 1. <https://doi.org/10.1109/tai.2021.3114390>
6. Samigulin, T. R., & Djurabaev, A. E. U. (2021). Sentiment analysis of text by machine learning methods. *Research result. Information technologies*, 6(1). <https://doi.org/10.18413/2518-1092-2021-6-1-0-7>
7. Yao, J. (2019). Automated sentiment analysis of text data with NLTK. *Journal of physics: conference series*, 1187(5), 60–78. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1187/5/052020>
8. Jin, Y., Cheng, K., Wang, X., & Cai, L. (2023). A review of text sentiment analysis methods and applications. *Frontiers in business, economics and management*, 10(1), 58–64. <https://doi.org/10.54097/fbem.v10i1.10171>
9. Poria, S., Hussain, A., & Cambria, E. (2018). Concept extraction from natural text for concept level text analysis. *Y Multimodal sentiment analysis* (c. 79–84). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95020-4_4
10. Maran, S. M., & Esh, P. S. (2017). Text analysis for product reviews for sentiment analysis using NLP methods. *International journal of engineering trends and technology*, 47(8), 474–480. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v47p278>
11. Sarkar, D. (2019). Sentiment analysis. *Y Text analytics with python* (c. 567–629). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4354-1_9
12. Text as data: text mining and sentiment analysis. (2013). *Y Data mining and business analytics with R* (c. 258–271). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118596289.ch19>

Д. В. ЛУБКО

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
ORCID: 0000-0002-2506-4145

М. Ю. МИРОШНИЧЕНКО

кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
ORCID: 0000-0003-4596-3110

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДИК В ОБЛАСТІ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ТА ДАНИХ

У даній роботі на тему «Аналіз сучасних підходів та методик в області захисту інформації та даних» авторами Лубко Д. В. та Мірошніченко М. Ю. розглядається класифікація даних за ступенем конфіденційності та доступності як важливий компонент управління інформаційною безпекою. Метою статті є аналіз сучасних підходів до класифікації в області захисту інформації та використання цих методик для запобігання зловмисному впливу. Існує ряд технологій безпеки, які можуть допомогти захистити дані від несанкціонованого доступу, розголошення, змін або знищення; потрібно регулярно проводити аудити безпеки (аудити безпеки допоможуть вам визначити, чи ефективні ваші заходи безпеки). Автори у статті вказують, що класи безпеки можуть бути використані для різних цілей, включаючи: розробку політики безпеки (політика безпеки – це документ, який визначає правила та процедури, які повинні дотримуватися організації для захисту своїх даних, а також класи безпеки можуть бути використані для розробки політики безпеки, яка забезпечує адекватний захист для всіх даних, які використовує організація); вимірювання ефективності заходів безпеки (тобто організації повинні регулярно проводити аудити своїх заходів безпеки, щоб переконатися що вони ефективні, а самі класи безпеки можуть бути використані для оцінки ефективності заходів безпеки, оскільки вони допомагають визначити, чи достатньо захищені дані з урахуванням їхнього рівня чутливості); аудит безпеки (аудит безпеки – це незалежне дослідження, яке проводиться для оцінки стану безпеки організації, а самі класи безпеки можуть бути використані для аудиту безпеки, оскільки вони допомагають визначити, чи відповідає організація вимогам до безпеки даних). У роботі зазначається, що загрози для приватної інформації можуть виникати з різних джерел, і важливо мати широкий набір заходів безпеки для захисту даних. Це може включати криптографічне шифрування, двофакторну автентифікацію, регулярні аудити безпеки, навчання персоналу щодо соціальної інженерії та регулярне оновлення систем захисту інформації та даних.

Ключові слова: класи безпеки, конфіденційність, захист інформації та даних, інформаційна безпека, загрози, заходи безпеки.

D. V. LUBKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Computer Science
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
ORCID: 0000-0002-2506-4145

M. YU. MIROSHNICHENKO

Candidate of technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Computer Science
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
ORCID: 0000-0003-4596-3110

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES AND METHODOLOGIES IN THE FIELD OF INFORMATION AND DATA PROTECTION

In this work on the topic "Analysis of modern approaches and methods in the field of information and data protection" by D. V. Lubko. and Miroshnichenko M. Yu. the classification of data according to the degree of confidentiality and

availability is considered as an important component of information security management. The purpose of the article is the analysis of modern approaches to classification in the field of information protection and the use of these techniques to prevent malicious influence. There are a number of security technologies that can help protect data from unauthorized access, disclosure, alteration or destruction; security audits should be conducted regularly (security audits will help you determine whether your security measures are effective). The authors of the article indicate that security classes can be used for a variety of purposes, including: developing a security policy (a security policy is a document that defines the rules and procedures that an organization must follow to protect its data, and security classes can be used to developing a security policy that provides adequate protection for all data used by the organization); measuring the effectiveness of security measures (i.e. organizations should regularly audit their security measures to ensure they are effective, and security classes themselves can be used to assess the effectiveness of security measures, as they help determine whether data is adequately protected given its level of sensitivity); security audit (a security audit is an independent study conducted to assess the security posture of an organization, and the security classes themselves can be used for a security audit because they help determine whether an organization meets data security requirements). The paper notes that threats to private information can come from a variety of sources, and it is important to have a broad set of security measures in place to protect data. This may include cryptographic encryption, two-factor authentication, regular security audits, social engineering training for staff, and regular updates to information and data protection systems.

Key words: security classes, confidentiality, information and data protection, information security, threats, security measures.

Постановка проблеми

Області інформаційної безпеки існує кілька класів безпеки, які використовуються для класифікації даних та систем відповідно до їхньої важливості та чутливості. Ці класи безпеки допомагають організаціям розробляти та впроваджувати ефективні заходи безпеки для захисту своїх даних. Нажаль кількість кібер-злочинів росте з кожним днем, велика частка цих злочинів це крадіжка особистих даних. Частіше всього це стається через халатність та необізнаність користувачів. Саме тому все це і є проблемою, яку потрібно вирішувати як особисто там і колективно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як показує проведений аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблемою області (питань захисту інформації та даних, питань інформаційної безпеки підприємства, питань безпеки, тощо) багато вчених та науковців активно працювали в цьому. А саме, це такі фахівці та науковці як: Камлик М. І., Козаченко Г. В., Остроухов В. В., Пономарьов В. П., Стрельцов А. А., Расторгуев С. П., Цимбалюк В. Л., Чубарук Т. І., Щербина В. М., Близнюк І. М., Братель О. Р., Бондаренко В. О., Бучило І. Л., Горбатюк О. М., Гуцалюк М. О., Ляшенко О. М., Гуцу С. Ф., Кормич Б. А., Марущак А. І., Сороківська О. А. [1–4]. Незважаючи на велику кількість праць та досліджень у цій сфері, недостатньо висвітлено ще багато аспектів питань забезпечення інформаційної безпеки та захисту даних.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є аналіз сучасних підходів та методик в області захисту інформації та даних та використання цих методик для запобігання зловмисному впливу та дотримання безпеки.

Викладення основного матеріалу дослідження

Сьогодні кібербезпеку можна розглядати як важливий аспект політики будь-якої держави в умовах існування глобального інформаційного простору, широкого спілкування та взаємодії через Інтернет. Для її адекватного забезпечення розробляються відповідні технології захисту інформації, законодавство на державному рівні, апаратне та програмне забезпечення тощо [5].

Одним із найпоширеніших класів безпеки є класифікація за ступенем конфіденційності. Ця класифікація ґрунтується на тому, наскільки важливою є інформація для організації та чиї інтереси вона захищає. Дані класифікуються як конфіденційні, приватні, загальнодоступні або публічні. Конфіденційна інформація є найчутливішою та вимагає найвищого рівня захисту. До цієї інформації належать: таємниці держави, комерційні секрети та особиста інформація, наприклад, фінансові дані або медичні записи; дані про системи життєзабезпечення, такі як енергетичні мережі або мережі водопостачання; дані про критичну інфраструктуру, такі як транспортні системи або системи зв'язку; дані про наукові дослідження або розробки, які можуть бути використані конкурентами; дані про стратегічні плани та маркетингові цілі, які можуть бути використані для отримання конкурентної переваги; дані про інтелектуальну власність, яка має високу вартість, наприклад, патенти на нові технології [6]. Наведемо складові державного контролю у галузі захисту інформації (див. рис. 1).

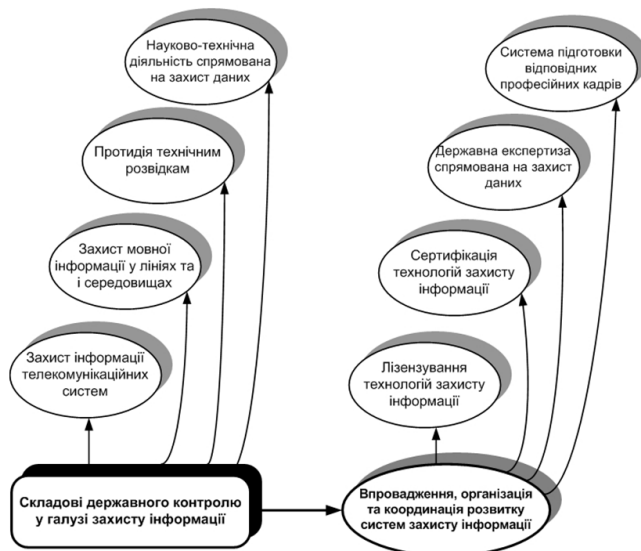


Рис. 1. Складові державного контролю у галузі захисту інформації

Також наведемо критичні загрози для конфіденційної інформації [6]:

1) Кібератаки на особисті дані: втрата конфіденційної інформації, такої як медичні записи чи фінансові дані через хакерські атаки [7].

2) Зловживання даними внутрішніми користувачами: несанкціонований доступ до конфіденційних даних зсередини організації.

Проаналізуємо заходи безпеки для захисту конфіденційної інформації: шифрування даних (використання сучасних алгоритмів шифрування для захисту конфіденційних даних); строгий контроль доступу (обмеження доступу до конфіденційної інформації тільки авторизованим користувачам); адміністрування безпеки (розробка та впровадження політики безпеки, яка відповідає характеру даних та загрозам); обізнаність з питань безпеки (регулярне навчання персоналу щодо безпеки даних).

Розглянемо також існуючі рівні безпеки (див. рис. 2). Якщо коротко, то вони мають три основних блока: міжнародний рівень безпеки, національний рівень безпеки та персональний.

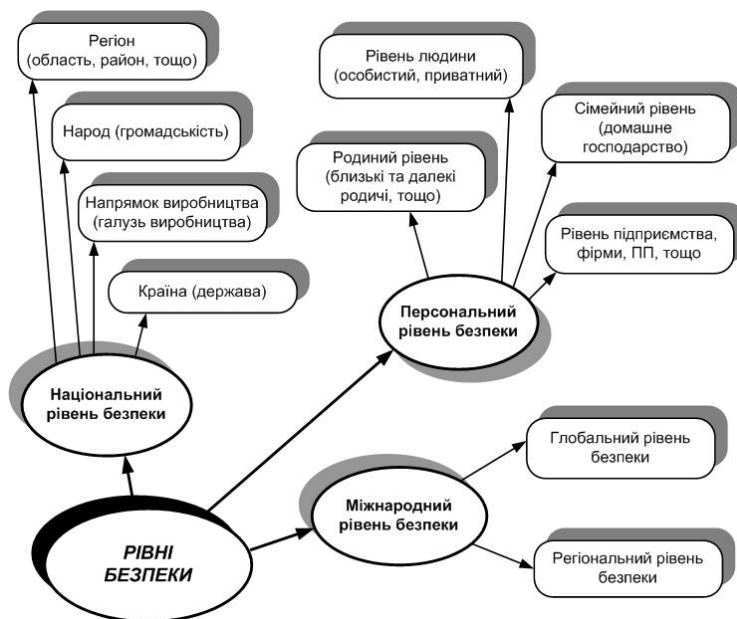


Рис. 2. Рівні безпеки

Для захисту конфіденційної інформації організації повинні застосовуватися такі наступні стандарти безпеки [8]:

- ISO/IEC 27005 – міжнародний стандарт, який визначає вимоги до системи управління інформаційною безпекою (СУІБ) [9].
- NIST SP 800-53 – стандарт Національного інституту стандартів і технологій США, який визначає вимоги до СУІБ для державних органів.
- PCI DSS – стандарт вимог до безпеки платіжних карток.

Приватна інформація є менш чутливою, але все одно вимагає захисту.

До цієї інформації належать: дані про співробітників, клієнтів або постачальників, які можуть бути використані для шахрайства або інших злочинів; дані про маркетингові кампанії або дослідження ринку, які можуть бути використані конкурентами; дані про інтелектуальну власність, яка має меншу вартість, наприклад, авторські права на музичні твори.

Далі проаналізуємо критичні загрози для приватної інформації [10]: фішингові атаки на співробітників (несанкціонований доступ до приватних даних через маніпуляцію персоналу); втрата даних через необережне поводження та недбале використання особистої інформації співробітниками; заходи безпеки для захисту приватної інформації; тренінги з безпеки (регулярна навчання персоналу щодо технік фішингу та особистої безпеки); регулярні аудити безпеки (періодична перевірка доступу та політик захисту даних); адміністрування безпеки (розробка та впровадження політики безпеки, яка відповідає характеру даних та загрозам).

Для захисту приватної інформації організації (а також приватні особи) повинні (або їм рекомендується) застосовувати такі стандарти безпеки як: ISO/IEC 27001; NIST SP 800-53; HIPAA – стандарт, який визначає вимоги до захисту медичних даних.

Загальнодоступна інформація не є чутливою та не вимагає особливого захисту. До цієї інформації належать: відомості про товари та послуги, новини та інші дані; дані, які були опубліковані в загальнодоступних джерелах.

Схема взаємодії основних компонентів інформаційної безпеки наведена на рисунку 3.



Рис. 3. Схема взаємодії компонентів інформаційної безпеки

Загрози для загальнодоступної інформації можуть бути менш драматичними, ніж для конфіденційної або приватної інформації, але все одно важливими для забезпечення безпеки цієї категорії [6].

А саме: використання даних без дозволу (несанкціоноване використання загальнодоступної інформації для реклами, шахрайства або інших цілей); втрата або пошкодження даних, втрата або пошкодження загальнодоступної інформації може призвести до збитків для організації або користувачів; тощо).

Заходи безпеки для захисту загальнодоступної інформації:

А. Використання загальнодоступних протоколів безпеки. Загальнодоступні дані повинні захищатися за допомогою загальнодоступних протоколів безпеки, таких як HTTPS або TLS.

Б. Регулярні резервні копії. Регулярні резервні копії загальнодоступних даних допоможуть захистити їх від втрати або пошкодження.

В. Адміністрування безпеки. Розробка та впровадження політики безпеки, яка відповідає характеру даних та загрозам.

Публічна інформація є доступною для всіх. До цієї інформації належать: відомості про державні органи, вибори та інші громадські події; дані, які були відкриті для громадськості.

Класифікація даних за ступенем конфіденційності та доступності є важливим компонентом управління інформаційною безпекою. Вона допомагає розробити ефективні заходи безпеки для захисту своїх даних.

Використання класів безпеки для захисту даних: потрібно організувати регулярні тренінги для співробітників з питань безпеки; необхідно використовувати відповідні технології безпеки; потрібно регулярно проводити аудити безпеки. Аудити безпеки допоможуть вам визначити, чи ефективні ваші заходи безпеки.

Класи безпеки можуть бути використані для різних цілей, включаючи:

– Розробку політики безпеки. Політика безпеки – це документ, який визначає правила та процедури, які повинні дотримуватися організації для захисту своїх даних.

– Вимірювання ефективності заходів безпеки. Організації повинні регулярно проводити аудити своїх заходів безпеки, щоб переконатися, що вони ефективні.

– Аудит безпеки. Аудит безпеки – це незалежне дослідження, яке проводиться для оцінки стану безпеки організації.

Ось кілька ключових загроз інформації та даним, які варто врахувати: маніпуляція людьми; фізичний доступ до даних (фізичні загрози); втрати даних через нещасні випадки; недбалість або недосконалість в захисті даних; внутрішні загрози; недостатня безпека в мережі; кібератаки; соціальні аспекти; законодавчі аспекти; фішинг.

Класифікація даних може бути використана для розробки та впровадження заходів безпеки [10]: конфіденційна інформація (організація може використовувати шифрування для захисту конфіденційної інформації, наприклад, фінансових даних або медичних записів; організація також може використовувати строгі правила контролю доступу, щоб обмежити доступ до конфіденційної інформації лише до авторизованих користувачів); приватна інформація (організація може використовувати тренінги з безпеки для підвищення обізнаності співробітників про фішингові атаки та інші загрози приватній інформації [7]; організація також може використовувати регулярні аудити безпеки для перевірки доступу до приватної інформації та відповідності політикам безпеки); агально-доступна інформація (організація може використовувати загальнодоступні протоколи безпеки, такі як HTTPS, для захисту загальнодоступної інформації; організація також може використовувати регулярні резервні копії для захисту загальнодоступної інформації від втрати або пошкодження).

Класи безпеки є потужним інструментом, який може допомогти організаціям захистити свої дані. Розуміння класів безпеки та їх застосування є важливим для всіх, хто працює з інформацією. Критичні загрози для приватної інформації можуть бути різноманітними і походити з різних джерел. Критичні загрози постійно еволюціонують, оскільки з'являються нові технології та методи зламу.

Висновки

Загрози для приватної інформації можуть виникати з різних джерел, і важливо мати широкий набір заходів безпеки для захисту даних. Це може включати криптографічне шифрування, двофакторну аутентифікацію, регулярні аудити безпеки, навчання персоналу щодо соціальної інженерії та регулярне оновлення систем захисту інформації та даних. А загальні заходи безпеки, такі як використання сильних паролів, регулярні оновлення ПЗ, застосування шифрування та навчання персоналу щодо соціальної інженерії, можуть допомогти захистити приватну інформацію від цих загроз.

Список використаної літератури

1. Гуцу С.Ф. Правові основи інформаційної діяльності: навч. посіб. Харків: *Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т»*. 2009. 48 с.
2. Кормич Б.А. Організаційно-правові основи політики інформаційної безпеки України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. юрид. наук: спец. 12.00.07 «Адміністративне право і процес; фінансове право; інформаційне право». *Нац. ун-т внутр. справ*. Харків. 2004. 42 с.
3. Марущак А.І. Інформаційно-правові напрями дослідження проблем інформаційної безпеки. *Державна безпека України*. 2011. № 21. С. 92–95.
4. Сороківська О.А., Гевко В.Л. Інформаційна безпека підприємства : нові загрози та перспективи. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2010. № 2. т. 2. С. 32–35.
5. Lubko D., Sharov S., Strokan O. Software development for the security of TCP-connections. Modern development paths of agricultural production: trends and innovations. *Cham: Springer international publishing*. 2019. С. 99–109.
6. Michaelsen J.R., Vacca J.W. Information security risk management: A guide to managing risks to information assets. *Springer*. 2018.
7. Grossman J. et al. XSS Attacks: Cross site scripting exploits and defense. *MA: Syngress, Elsevier*. 2007. 463 p.
8. NIST. National institute of standards and technology. Cybersecurity framework. URL: <https://www.nist.gov/cyberframework> (дата звернення: 15.02.2024).
9. ISO/IEC 27005:2011. Information security risk management.

10. Michael Whitman, Herbert Mattord. Information security: principles and practices. *Publisher: Cengage learning*. 2017. 656 p.

References

1. Hutsu S.F. (2009) Pravovi osnovy informatsiyanoi diyal'nosti: navch. posib. Khar'kiv: *Nats. aerokosm. un-t «Khark. aviats. in-t»* [in Ukrainian].
2. Kormych B.A. (2004) Orhanizatsiyno-pravovi osnovy polityky informatsiyanoi bezpeky Ukrayiny : avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya dokt. yuryd. nauk: spets. 12.00.07 «Administratyvne pravo i protses; finansove pravo; informatsiyne pravo». *Nats. un-t vnutr. sprav. Khar'kiv* [in Ukrainian].
3. Marushchak A.I. (2011) Informatsiyno-pravovi napryamy doslidzhennya problem informatsiyanoi bezpeky. *Derzhavna bezpeka Ukrayiny*. № 21, pp. 92–95 [in Ukrainian].
4. Sorokivs'ka O.A., Hevko V.L. (2010) Informatsiyna bezpeka pidpryyemstva : novi zahrozy ta perspektyvy. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*. № 2. t. 2, pp. 32–35 [in Ukrainian].
5. Lubko D., Sharov S., Stokan O. (2019) Software development for the security of TCP-connections. Modern development paths of agricultural production: trends and innovations. *Cham: Springer international publishing*. Pp. 99–109 [in Ukrainian].
6. Michaelsen J.R., Vacca J.W. (2018) Information security risk management: A guide to managing risks to information assets. *Springer*.
7. Grossman J. et al. (2007) XSS Attacks: Cross site scripting exploits and defense. *MA: Syngress, Elsevier*.
8. NIST. National institute of standards and technology. Cybersecurity framework. Взято 15 лютого 2024 з <https://www.nist.gov/cyberframework>
9. ISO/IEC 27005:2011. Information security risk management.
10. Michael Whitman, Herbert Mattord. (2017) Information security: principles and practices. *Publisher: Cengage learning*.

YU. S. MANZHOS

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Software Engineering
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
ORCID: 0000-0002-4910-7285

YE. V. SOKOLOVA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Software Engineering
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
ORCID: 0000-0002-1497-4987

THE SOFTWARE DEVELOPMENT LIFECYCLE OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

This work provides a comprehensive overview of the Software Development Lifecycle (SDLC) of Cyber-Physical Systems (CPS). The successful development of CPS heavily relies on implementing a comprehensive SDLC model that integrates various established methodologies and techniques. This model includes Model in the Loop (MIL), Software in the Loop (SIL), Processor in the Loop (PIL), and Hardware in the Loop (HIL), complemented by N-version Programming and formal verification and validation, including compile-time verification. By incorporating these elements, developers gain a structured framework to optimize workflows, ensure process consistency, and manage risks associated with system complexity. Including compile-time verification enables the early detection and resolution of potential issues, further enhancing CPS solution reliability and robustness. Additionally, N-version programming allows developers to improve software quality and reliability while efficiently managing resources. Moreover, integrating Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) into CPS architectures presents a scalable and adaptable solution to address performance challenges encountered by embedded processors. FPGAs offer parallel processing capabilities and hardware acceleration features, enabling CPS developers to enhance system performance, responsiveness, and reliability. This capability proves invaluable in meeting the stringent requirements of critical applications across diverse domains, including aerospace, defense, healthcare, and industrial automation. Adopting a comprehensive SDLC model facilitates the delivery of CPS solutions that meet stringent quality standards, tackle evolving technological challenges, and fulfill diverse stakeholder requirements. By catalyzing innovation and progress, this approach empowers CPS developers to confidently navigate technological complexities and deliver solutions that have a meaningful impact on society and the world. Through continuous refinement and advancement, CPS technology continues to push the boundaries of what is possible, driving progress and shaping the future of interconnected systems and environments.

Key words: CPS, FPGA, HIL, MIL, PIL, SDLC, SIL.

Ю. С. МАНЖОС

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»
ORCID: 0000-0002-4910-7285

Є. В. СОКОЛОВА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»
ORCID: 0000-0002-1497-4987

ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ РОЗРОБЛЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

У данній роботі надається огляд комплексної моделі розроблення програмного забезпечення (ПЗ) для кіберфізичних систем (КФС) життєвого циклу (ЖЦ), що включає в себе різноманітні методології та методи: Model in the Loop (MIL), Software in the Loop (SIL), Processor in the Loop (PIL), та Hardware in the Loop (HIL), доповнені N-версійним програмуванням, формальною верифікацією та валідацією, включаючи верифікацію на етапі компіляції. Інтеграція цих елементів у ЖЦ надає розробникам можливість оптимізувати робочі процеси, забезпечити сталість процесів та управляти ризиками, пов'язаними зі складністю системи. Включення

верифікації на етапі компіляції дозволяє на ранніх етапах виявляти та вирішувати потенційні проблеми, що покращує коректність ПЗ. *N*-версійне програмування дозволяє розробникам не тільки покращувати якість та надійність ПЗ КФС, але й ефективно використовувати ресурси. Інтеграція елементів Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) у архітектуру КФС робить можливим створення масштабованих та адаптивних рішень для подолання проблем продуктивності, з якими стикаються вбудовані процесори. Використання паралельного оброблення даних та апаратного прискорення дозволяє розробникам КФС покращити продуктивність та надійність системи, що є надзвичайно важливим у задоволенні вимог до критичних застосувань у різних галузях, таких як авіація, оборона, охорона здоров'я та промислова автоматизація. Таким чином, впровадження комплексної моделі ЖЦ стає ключовим чинником у покращенні програмних рішень для КФС. Запропоновані рішення відповідають високим стандартам якості, ефективно вирішують різноманітні технологічні завдання та забезпечують задоволення різноманітних потреб користувачів. Зазначений підхід виступає каталізатором для інновацій та прогресу, надаючи розробникам КФС впевненість у здатності подолати технологічні виклики та розробити програмні рішення, які мають значний вплив на суспільство та світ у цілому. Ця стратегія дозволяє розробникам відмінно орієнтуватися в сучасних технологічних складнощах та створювати продукти, що відповідають сучасним вимогам ринку та мають значний соціальний вплив.

Ключові слова: КФС, ЖЦ, FPGA, HIL, MIL, PIL, SDLC, SIL.

Formulation of the problem

Developing software for cyber-physical systems (CPS) [1] involves utilizing various concepts and models covering various technologies and devices. The CPS has brought a new era of connected devices and systems with healthcare and transportation applications. However, the reliability and security of these systems are critical concerns that must be addressed to ensure their safe and effective operation [2].

To ensure the standardization of development processes and enhance the reliability of CPS, we introduce a comprehensive lifecycle model. This model integrates established methodologies like Model in the Loop (MIL) [3], Software in the Loop (SIL) [3], Processor in the Loop (PIL) [4], and Hardware in the Loop (HIL) [5]. Additionally, it incorporates formal verification and validation (FV&V) techniques [6]. This holistic approach aims to streamline development while ensuring rigorous testing and validation at every stage of the CPS lifecycle.

This will contribute to achieving high quality and reliability metrics, critical components of Industry 5.0 [7]. However, effectively implementing this model requires addressing issues related to integrating diverse technologies, optimal resource utilization, and ensuring interaction between different stages of the lifecycle.

Analysis of recent research and publications

MIL is a development concept based on utilizing mathematical and software models of CPS at the customer requirements stage [3]. This approach integrates the model into a closed loop with real hardware and software. The MIL concept is widely used in developing control systems in aviation, the automotive industry, space technology, and industrial automation. Its use allows for effective error detection and correction and increases the efficiency and reliability of embedded systems. The result of work using the MIL methodology is a set of models describing various elements of CPS: sensors, actuators, and the external environment (such as aircraft, automobiles, machines, etc.).

SIL is a development concept for embedded system software based on customer requirements [3; 5]. SIL is one of the stages in the software development lifecycle and is based on using models. This concept allows for software testing without the physical presence of CPS hardware, which helps reduce resource costs for development.

PIL is a development concept for future CPS software on an embedded processor based on customer requirements [4]. This approach allows for identifying and correcting errors related to software interaction with a specific processor.

HIL is a development concept for future CPS software on embedded hardware based on customer requirements [5]. This methodology allows for identifying and correcting errors related to the interaction of CPS hardware with its processor.

The interrelation of these concepts, resulting in an adequate and correct CPS, is shown in Fig. 1.

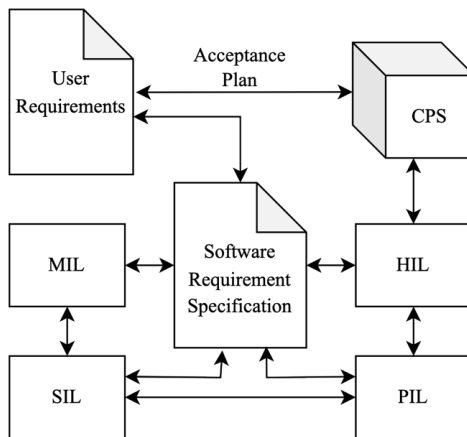


Fig. 1. CPS software development lifecycle

The development of CPS commences with defining requirements, drafting acceptance testing plans, and formulating detailed requirement specifications, accompanied by models depicting CPS components such as sensors, actuators, and the control entity. When constructing these models poses challenges, reverting to the customer's requirements is crucial. Precise mathematical and software models are employed to develop CPS algorithmic frameworks according to the SIL concept. Addressing any issues involves revisiting and refining the customer's requirements, creating new models, and resuming SIL processes.

Subsequently, in alignment with the PIL paradigm, rigorous validation of software algorithm models occurs on the embedded processor designated for the future CPS. Successful verification yields accurate software implementations meeting customer requirements and executable on the embedded processor. If algorithmic functions falter, revisiting customer requirements, refining or amending them, and resuming SIL processes are paramount.

Following the HIL principle, software functionality undergoes scrutiny within the CPS's hardware environment. If verifying within this context proves challenging, refining requirements becomes necessary.

Enhancing the existing software development life cycle entails leveraging formal verification techniques rooted in the physical dimension and orientation transformation checks. These methods ensure rigorous validation against physical parameters, bolstering CPS functionalities' reliability and performance.

Formulation of the research purpose

This research aims to devise a cohesive methodology tailored to the software development lifecycle of CPS, a cornerstone of the Industry 5.0 paradigm. Our principal aim is to augment the efficacy of established methodologies such as MIL, SIL, PIL, and HIL, integrating them with advanced FV&V techniques based on a specialized C++ type library [8], which implements the concept of the Hoare verifying compiler [9] and N-version programming to improve software reliability, as well as FPGA implementation to enhance performance. The ultimate objective is to ensure that CPS software achieves unparalleled quality and reliability, seamlessly meeting the demands of the contemporary environment.

Presentation of the main research material

As illustrated in Fig. 1, developing a comprehensive set of mathematical and software models becomes imperative after formulating requirement specifications outlined in Fig. 2.

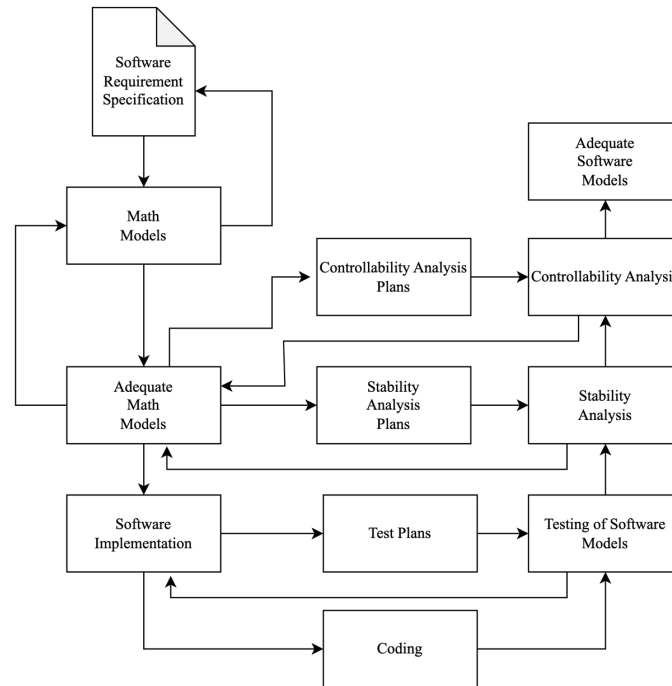


Fig. 2. Lifecycle of Cyber-Physical System Models Development

Initially, mathematical models of CPS are iteratively developed by software requirements specification and utilizing specialized tools such as Matlab /Simulink [10]. Based on these adequate mathematical models, their software implementations and stability and controllability verification plans are constructed. A specialized type library is employed to enhance the quality of software models, supporting physical dimensions and spatial orientation of software variables while providing additional checks during compilation and execution [11]. The software implementation of models forms the basis for constructing autonomous software model test plans. Subsequent stages involve coding and autonomous testing of software models. Following this, stability testing of models is conducted, and if necessary, we return to constructing adequate mathematical models with possible refinement of requirements. Then, stable software models are tested for controllability. If models fail to exhibit controllability, we must revisit requirement refinement. CPS's constructed adequate software models are further utilized (Fig. 3).

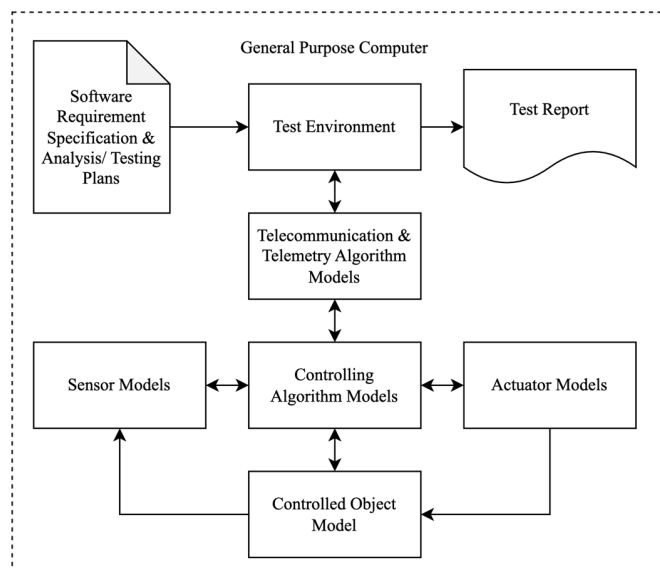


Fig. 3. Scheme of CPS Model Interaction Verification

Test verification plans are formulated based on the requirement specifications. These plans are then loaded into a testing environment, which interacts with models of telecommunication and telemetry algorithms. These algorithms further interact with models of control algorithms, sensors, actuators, and the controlled object. Actuator models control the object, while sensor models transmit information about the object's state to the control algorithms. Telecommunication and telemetry algorithms generate telemetry data for testing purposes and real-time maintenance. Telecommunication algorithms, based on Fourier & Chebyshev transform, are employed to reduce data volume [12; 13].

Control algorithms are developed based on customer requirements, and software models are created using a type library [11], which enables formal verification of the software code during compilation and execution. Software models of algorithms are developed for general-purpose computers. Autonomous testing is performed using tools such as CPPUnit [14]. The next stage, corresponding to the SIL concept, involves verifying software models of control algorithms (see Fig. 4).

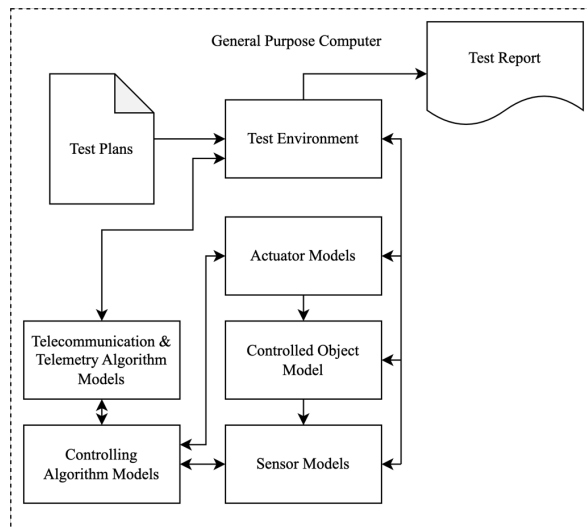


Fig. 4. Scheme for verifying software models of CPS algorithms

Dynamic testing is conducted based on test plans and allows for verifying the interaction of algorithms both among themselves and with sensors and actuators.

CPS software can be used sequentially in multiple configurations in the corresponding configuration file to perform various tasks in different hardware environments. According to the author's experiences, the flight software can include such configurations as orbit insertion, separation, Earth, Sun, and Moon orientation, targeting a specific star, forming a corrective impulse, stabilization, etc. Of course, over time, hardware may fail, but thanks to redundancy, the system can reconfigure itself. Therefore, sensors and actuators should be duplicated, and their operational status constantly monitored. A control object model allows for additional evaluation of the operation status of sensors and actuators by predicting the system's state and comparing it with the actual state obtained from sensors. To verify the sequential operation of the software in different configurations, the scheme depicted in Fig. 5 is used. The test plans define the set of configurations.

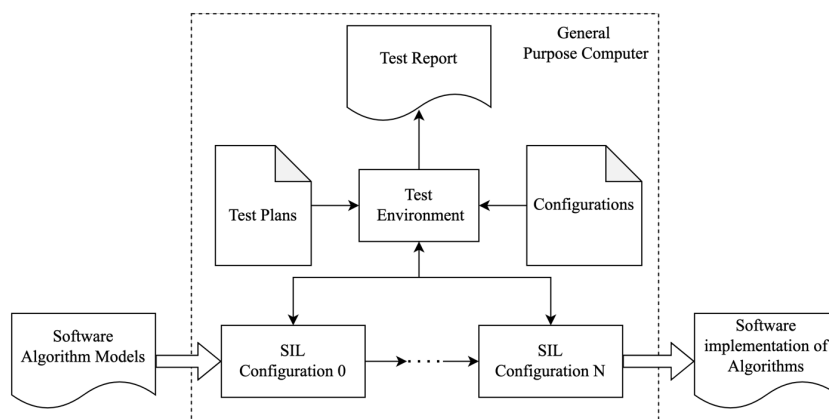


Fig. 5. Scheme for verifying the consistency of CPS software configurations

Each configuration defines the operating mode of the CPS software, corresponding to the current task of the CPS and the state of the hardware. In case of successful verification, we obtain a set of verified control algorithms; otherwise, modifying the corresponding algorithms with inter-mode interfaces is necessary. Next, according to the PIL concept, verifying the operation of the control program on the embedded processor is required (Fig. 6).

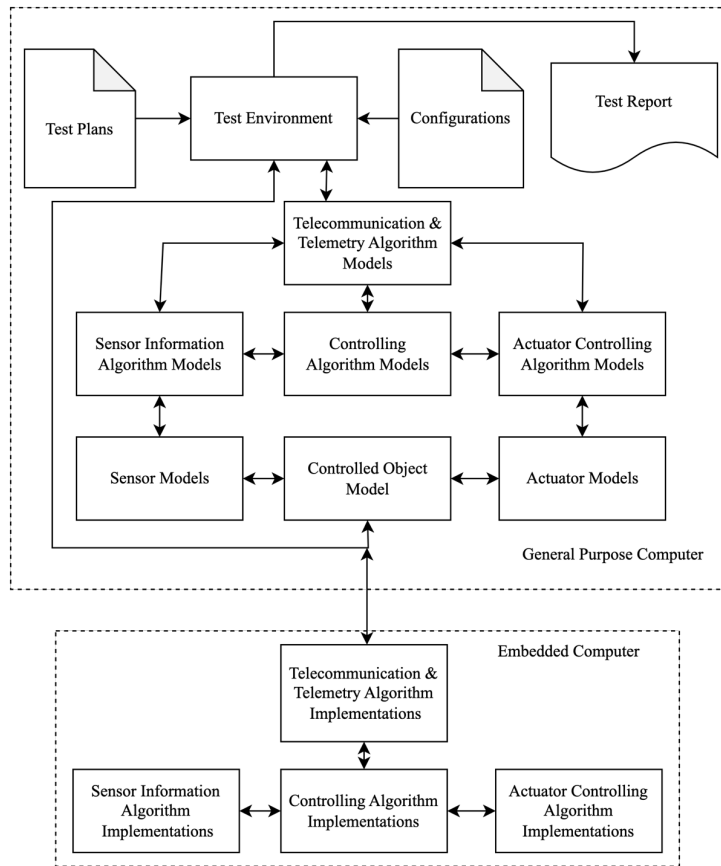


Fig. 6. Scheme for verifying the control program of the CPS on the target processor

To verify the operation of the control program on the embedded processor, two computers are used: a general-purpose computer running the test environment, algorithm models, devices, and the control object, and the embedded computer of the CPS running the program implementation of algorithms. According to the configuration and the test plan, the test environment configures the models on the general-purpose computer and the CPS program on the embedded computer. Additionally, data from sensor models are fed into the input of the embedded computer. The results of the control algorithms operating the actuators from the embedded computer are sent to the test environment of the general-purpose computer. This allows for comparing the results of the general-purpose and embedded computers' operation and detecting errors in the algorithm implementations. The verification results generate a test report.

Parallel development of multiple versions of software code is a beneficial practice that can significantly enhance program reliability. By concurrently working on different codebase versions, developers can cross-verify each version, thereby identifying and rectifying errors more effectively. This verification process leverages the assumption that errors in each version occur randomly, allowing for comprehensive coverage in error detection.

To illustrate, consider having one version of the program with a reliability factor of X and a second version with a reliability factor of Y . In this scenario, the overall reliability of the two programs, denoted as P , can be calculated using the formula $P = 1 - (1 - X) * (1 - Y)$. This formula accounts for the likelihood of errors in each version and computes the combined reliability of the programs. Such a substantial enhancement in reliability is only achievable when the control program is developed specifically for the target machine. In conclusion, parallel development fosters collaboration and innovation and significantly improves program reliability. By harnessing the collective efforts of developers and systematically verifying multiple versions of the code, organizations can ensure the delivery of robust and dependable software solutions [15].

In the subsequent phase (Fig. 7), the operational integrity of the CPS is assessed with actual devices, sensors, actuators, and the embedded computer governed by the developed program. Following the test plans and configurations, the

embedded computer is set up to execute designated tasks under predetermined conditions. In the final step, the developer employs the acceptance test plan to verify that the CPS software aligns with user requirements.

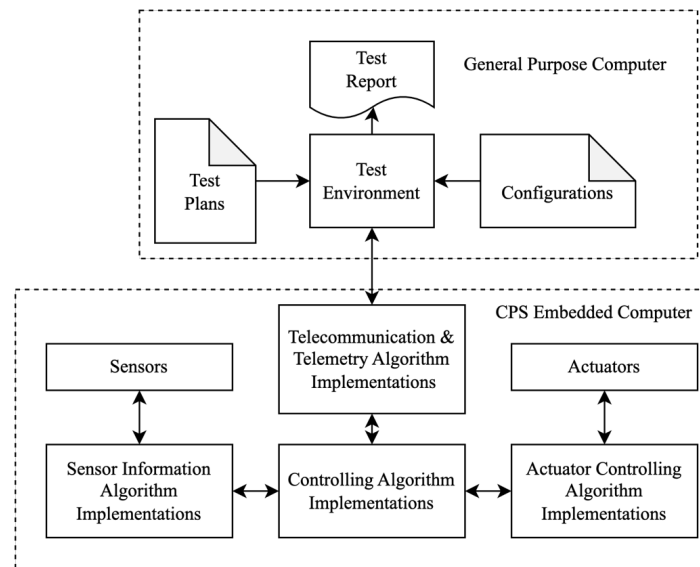


Fig. 7. Scheme of verification and validation of the CPS software

In critical CPS applications, the demands for processing power can often exceed the capabilities of traditional embedded processors. This shortfall in performance can arise due to the complexity of algorithms, the need for real-time data processing, or the sheer volume of computations required to maintain system responsiveness and reliability. In such scenarios, Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) [15; 16] emerge as a powerful solution to augment the capabilities of embedded processors. FPGAs offer the flexibility of hardware acceleration, enabling them to execute intensive tasks with remarkable efficiency. Their parallel processing capabilities allow for the simultaneous execution of multiple tasks, making them ideal for handling the high computational demands of critical CPS applications.

Moreover, FPGAs excel in real-time data processing thanks to their ability to process data at ultra-low latency. This ensures that critical data is processed and acted upon promptly, which is essential for maintaining CPS systems' responsiveness and effectiveness in dynamic environments.

Additionally, FPGAs can execute complex control algorithms with precision and reliability. Whether regulating autonomous systems, managing power distribution networks, or controlling robotic actuators, FPGAs provide the computational horsepower to ensure the smooth and efficient operation of CPS applications. FPGA-based solutions implementation involves several steps:

1. System Design: Define CPS architecture, identify critical functions, and partition between software and FPGA-based hardware.
2. FPGA Development: Develop and synthesize FPGA designs for hardware accelerators using HDLs like Verilog or VHDL.
3. Integration: Integrate FPGA-based accelerators into the CPS system, interfacing with software, sensors, actuators, and other devices.
4. Testing and Verification: Perform rigorous testing and verification of FPGA-based accelerators for correctness, reliability, and safety compliance.
5. Deployment and Maintenance: Deploy FPGA-based CPS software and provide ongoing maintenance and support for reliability and performance.

FPGA implementation enhances CPS performance, reliability, and responsiveness for critical aerospace, defense, healthcare, and industrial automation applications. Integrating FPGAs into CPS architectures offers a scalable and adaptable solution to address embedded processors' performance challenges. By leveraging FPGAs' parallel processing capabilities and hardware acceleration features, CPS developers can enhance system performance, responsiveness, and reliability, meeting critical applications' stringent requirements across various domains.

Conclusion

Implementing a comprehensive lifecycle model is vital for the success of the development of cyber-physical systems. By integrating established methodologies such as Model in the Loop, Software in the Loop, Processor in the Loop, and Hardware in the Loop, alongside N-version Programming and formal verification and validation techniques, along with compile-time verification, this model offers a structured and efficient framework for CPS software development.

This integrated approach empowers developers to optimize workflows, ensure consistency in development processes, and mitigate risks associated with system complexity. With compile-time verification, developers can proactively identify and address potential issues at an early stage of development, further enhancing the reliability and robustness of CPS solutions. Moreover, by incorporating N-version programming, developers can proactively improve software quality and reliability while minimizing resource usage for software development.

Incorporating FPGAs into CPS architectures provides a scalable and versatile solution to confront the performance hurdles embedded processors encounter. Harnessing the parallel processing capabilities and hardware acceleration features of FPGAs, CPS developers can bolster system performance, responsiveness, and reliability, meeting the rigorous demands of critical applications across diverse domains.

Ultimately, adopting a comprehensive lifecycle model facilitates the delivery of CPS solutions that meet stringent quality standards, address evolving technological challenges, and fulfill the diverse requirements of stakeholders. It serves as a cornerstone for fostering innovation, driving progress, and realizing the full potential of Cyber-Physical Systems across various domains. With this approach, CPS developers can confidently navigate the complexities of modern technology and deliver solutions that have a meaningful impact on the world.

References

1. Oks, S.J., Jalowski, M., Lechner, M. *et al.* (2022) Cyber-Physical Systems in the Context of Industry 4.0: A Review, Categorization and Outlook. *Inf Syst Front*. DOI: 10.1007/s10796-022-10252-x
2. Amit Kumar Tyagi, N. Sreenath. (2021) Cyber Physical Systems: Analyses, challenges and possible solutions. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 1, 22–33, DOI: 10.1016/j.iotcps.2021.12.002.
3. Dapynhunlang Shylla, Ayushi Jain, Pritesh Shah, Ravi Sekhar (2023). Model in Loop (MIL), Software in Loop (SIL) and Hardware in Loop (HIL) Testing in MBD. *4th IEEE Global Conference for Advancement in Technology (GCAT) At: Bangalore, India*. https://www.researchgate.net/publication/376658429_Model_in_Loop_MIL_Software_in_Loop_SIL_and_Hardware_in_Loop_HIL_Testing_in_MBD. DOI: 10.1109/GCAT59970.2023.10353323
4. Amr Mohamed, A.N. Ouda, Jing Ren, Moustafa El-Gindy (2020). Processor-in-the-loop co-simulations and control system design for a scaled autonomous multi-wheeled combat vehicle. *International Journal of Automation and Control*, 14(2): 138. https://www.researchgate.net/publication/339709349_Processor-in-the-loop_co-simulations_and_control_system_design_for_a_scaled_autonomous_multi-wheeled_combat_vehicle. DOI: 10.1504/IJAAC.2020.105516
5. Jonis Kiesbye, David Messmann, Maximilian Preisinger, Martin Langer (2019). Hardware-In-The-Loop and Software-In-The-Loop Testing of the MOVE-II CubeSat. *Aerospace*, 6(12): 130, https://www.researchgate.net/publication/337699363_Hardware-In-The-Loop_and_Software-In-The-Loop_Testing_of_the_MOVE-II_CubeSat, DOI: 10.3390/aerospace6120130
6. Krichen, Moez. (2023). A Survey on Formal Verification and Validation Techniques for Internet of Things. *Applied Sciences*, 13, no. 14: 8122. DOI: 10.3390/app13148122
7. Shanhe Lou, Zhongxu Hu, Yiran Zhang, Feng Yixiong *et al.* (2024). Human-Cyber-Physical System for Industry 5.0: A Review From a Human-Centric Perspective. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, PP(99): 1–18. https://www.researchgate.net/publication/378053098_Human-Cyber-Physical_System_for_Industry_5_0_A_Review_From_a_Human-Centric_Perspective. DOI: 10.1109/TASE.2024.3360476.
8. Manzhos, Y.; Sokolova, Y. (2023) A Practical Type System for Formal Verification CPS & IoT C/C++ Programs. *Preprints*, 2023052228. DOI: 10.20944/preprints202305.2228.v1
9. Yu Tan, Dlanfu Ma, Lel Qlao (2021). A Formal Verification Method of Compilation Based on C Safety Subset. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021:1–10. https://www.researchgate.net/publication/353633617_A_Forma_l_Verification_Method_of_Compilation_Based_on_C_Safety_Subset. DOI: 10.1155/2021/8352267
10. Siqi Lin, Wei Yao, Yongxin Xiong, Yifan Zhao, *et al.* (2023). MatPSST: A Matlab/Simulink-based power system simulation toolbox for research and education. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 17(10), https://www.researchgate.net/publication/368969051_MatPSST_A_MatlabSimulink-based_power_system_simulation_toolbox_for_research_and_education, DOI: 10.1049/gtd2.12805
11. Manzhos, Y., & Sokolova, Y. (2023) A Software Verification Method for the Internet of Things and Cyber-Physical Systems. *Computation*, no. 11 (7), article no. 135. DOI: 10.3390/computation11070135.
12. Manzos, Y., Sokolova, Y. (2020) The method of data compression in Internet of Things communication. *Radioelectronic and Computer Systems*, no. 4, pp. 57–67. DOI:10.32620/reks.2020.4.05 (In Ukrainian)
13. Manzhos, Y., & Sokolova, Y. (2022) A Method of IoT Information Compression. *International Journal of Computing*, vol. 21, Iss. 1, pp. 100–110. DOI: 10.47839/ijc.21.1.2523.
- Gabor Marton, Zoltan Porkolab. Unit Testing in C++ with Compiler Instrumentation and Friends. *Acta Cybernetica*, 23(2): 659–686. https://www.researchgate.net/publication/320587819_Unit_Testing_in_C_with_Compiler_Instrumentation_and_Friends. DOI: 10.14232/actacyb.23.2.2017.14

14. Júlio Mendonça, Fumio Machida, Marcus Völz. (2023) Enhancing the Reliability of Perception Systems using N-version Programming and Rejuvenation. *DSN 2023 Workshop on Dependable and Secure Machine Learning (DSML 2023)* At: Porto, Portugal. https://www.researchgate.net/publication/37211024_Enhancing_the_Reliability_of_Perception_Systems_using_N-version_Programming_and_Rejuvenation. DOI: 10.1109/DSN-W58399.2023.00044
15. Elias Vansteenkiste. (2016). *New FPGA Design Tools and Architectures*. [Thesis for: Doctor of Electrical Engineering]. https://www.researchgate.net/publication/311845419_New_FPGA_Design_Tools_and_Architectures
16. Ang Li, David Wentzlaff. (2021). PRGA: An Open-Source FPGA Research and Prototyping Framework. *In The 2021 ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays (FPGA '21)* (p. 127–137). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, DOI: 10.1145/3431920.3439294

І. Л. МИХЕЛЄВ

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інформаційних управляючих систем і технологій
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ORCID: 0000-0001-9579-6547

Ю. О. КАЗИМИРЕНКО

доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри інформаційних управляючих систем і технологій
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
ORCID: 0000-0002-7120-8226

М. А. МАТВЄЄВ

провідний інженер-конструктор
ДПНВКГ «Зоря»-«Машпроект»
ORCID: 0000-0001-8221-1693

АЛГОРИТМ ОБМІНУ ДАНИМИ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ГАЗОТУРБІННИХ КАМЕРАХ ЗГОРЯННЯ

Актуальність тематики роботи пов'язана з підвищенням точності розрахункових моделей у енергетичному машинобудуванні, зокрема під час досліджень теплових процесів у камерах згоряння газотурбінних двигунів. При модернізації конструкцій виникають проблемні питання, пов'язані із зіставленням результатів числового моделювання і експериментальних випробувань в існуючих і удосконалених проєктах, що можна розглядати як некоректно поставлену задачу. Мета роботи – дослідження, розробка і верифікація алгоритму обміну розрахунковими та експериментальними даними температурних параметрів у камерах згоряння газотурбінних двигунів. Методологія дослідження ґрунтується на системному підході до проєктування камери згоряння як складної технічної системи, методах розв'язування некоректно поставлених задач, методах і моделях візуалізації розподілу температурних полів у газотурбінних камерах згоряння. Для розрахунків застосовано моделі доменів твердого тіла з жаростійкого сплаву та газоподібного багатокомпонентного середовища. Експериментальні випробування полягали у вимірюванні значень температур газу та твердого тіла. Складений алгоритм обміну розрахунковими і експериментальними даними температурних параметрів апробовано на прикладі аналізу теплового стану жарової труби. Результати представлені у вигляді побудованих радіальних і окружних епюр. Верифікація алгоритму полягатиме у зіставленні температурних полів з еталонними даними. Наукова новизна роботи полягатиме у новому методичному підґрунті дослідження фізичних процесів у камерах згоряння газотурбінних двигунів, що реалізовано на прикладі алгоритму обміну даними між твердотільним і газовим середовищами; практична цінність пов'язана з впровадженням результатів досліджень у виробничу діяльність машинобудівного підприємства. Одержані в роботі результати спрямовані на вирішення важливої науково-прикладної проблеми роботи з багатовимірними даними при вирішенні складних інженерних задач. Перспективи подальших досліджень авторів полягатимуть у розв'язанні нових типів задач для енергетичного машинобудування за допомогою комп'ютерного моделювання фізичних процесів.

Ключові слова: верифікація, домени розрахункової області, некоректні зворотні задачі, моделювання фізичних процесів, енергетичне машинобудування.

I. L. MYKHELIEV

Ph.D., Associate Professor,
Head of the Department of Information Control Systems and Technologies
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
ORCID: 0000-0001-9579-6547

YU. O. KAZYMYRENKO

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Information Control Systems and Technologies
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
ORCID: 0000-0002-7120-8226

M. A. MATVYEV

Lead of Team Engineer
of GTR&DC “Zorya”–“Mashproekt”
ORCID: 0000-0001-8221-1693

ALGORITHM OF DATA EXCHANGE IN SIMULATION OF THERMAL PROCESSES IN GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBERS

The relevance of the topic of the work is associated with increasing the accuracy of computational models in power engineering, in particular during the study of thermal processes in the combustion chambers of gas turbine engines. When modernizing structures, problematic issues arise related to the comparison of the results of numerical modeling and experimental tests in existing and improved projects, which can be considered as an incorrectly set task. The purpose of the work is to study, develop and verify an algorithm for the exchange of calculated and experimental data on temperature parameters in the combustion chambers of gas turbine engines. The methodology of the study is based on a systematic approach to the design of the combustion chamber as a complex technical system, methods for solving incorrectly set tasks, methods and models for visualizing the distribution of temperature fields in gas turbine combustion chambers. For the calculations, models of solid domains made of heat-resistant alloy and gaseous multicomponent medium were used. The experimental tests consisted of measuring the temperature values of the gas and the solid. The algorithm for the exchange of calculated and experimental data of temperature parameters was tested on the example of the analysis of the thermal state of the flame tube. The results are presented in the form of constructed radial and circumferential diagrams. Verification of the algorithm will consist in comparing temperature fields with reference data. The scientific novelty of the work lies in the new methodological basis for the study of physical processes in the combustion chambers of gas turbine engines, which is implemented on the example of the algorithm of data exchange between solid-state and gas media; The practical value is associated with the implementation of research results in the production activities of a machine-building enterprise. The results obtained in the work are aimed at solving an important scientific and applied problem of working with multidimensional data in solving complex engineering problems. Prospects for further research of the authors will be to solve new types of problems for power engineering using computer modeling of physical processes.

Key words: verification, computational domain domains, incorrect inverse problems, modeling of physical processes, power engineering.

Постановка проблеми

Камера згоряння газотурбінного двигуна є відповідальним конструктивним елементом, де водночас протікають декілька складних фізичних процесів: сумішоутворення, згоряння, тепло- і масообміну і завихрення потоків повітря [1, с. 27–33]. Це дозволяє розглядати її як складну технічну систему [2, с. 37–41] з пріоритетними дослідженнями фізичних, а саме теплових процесів. Модернізація конструкції камери згоряння передбачатиме постановку великої кількості стендових випробувань, обчислені результати яких не завжди відповідатимуть технічному проекту. Науково-практичний досвід авторів показав, що порівняння результатів чисельного моделювання теплових процесів вихідних варіантів і результатів натурних вимірювань параметрів удосконалених конструкцій на експериментальному стенді є проблемним питанням і може бути розглянуто як некоректно поставлена задачу [3, с. 37–42].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженням моделей теплових об'єктів присвячено роботи [1; 4–7]. Авторами статті [1, с. 27–33] застосовано методи математичного моделювання з постановкою числових експериментів та використанням CFD-пакетів. Проте у виробничій реальності нерівномірність розподілу температур призводить до збільшення розрахункових похибок, що суттєво ускладнює конструкторські задачі. В науковій статті [4, с. 68–77] дослідження сконцентровані на експлуатаційному питанні з підтримки технічного стану газотурбінної камери згоряння, що контролюється сумарною концентрацією оксидів азоту і середньоквадратичним значенням віброшвидкості корпусу. Для

вирішення поставленої задачі в роботі застосовуються нейромережі Кохонена та засади генетичних алгоритмів. В роботах [5, с. 36–41; 6, с. 15–22] увагу авторів зосереджено на візуалізації вимірювань температур під час випробувань камер згоряння. Для вирішення завдання запропоновано нові принципи алгоритмічної автоматизації побудови плоских ізотерм та розроблено програмний застосунок мовою *Common Lisp* [8, с. 117–129]. Це дає змогу конструкторові обирати найкраще конструктивно-композувальне рішення.

На практиці існує багато ситуацій, коли похибка математичної моделі пов'язана з її невідповідністю фізичної реальності. У таких випадках задачу можна розглянути як некоректно поставлену (нестійку) [3, с. 37–42] і для її розв'язання використовується методологія алгоритмічного уточнення вихідних обчислювальних даних, чому присвячено роботи [3; 7; 9]. В роботі [7, с. 19–26] авторами розглянуто математичне моделювання теплових об'єктів, а саме обернену некоректно поставлену задачу для рівняння теплопровідності. Для випадкових непрямих вимірювань з перервними або відновлювальними результатами доцільно розв'язувати дискретні некоректні задачі, як це доведено в роботі [9, с. 16–27], де авторка пропонує використовувати метод випадкових проєкцій, що показує мінімальну похибку при порівнянні теоретичних і експериментальних результатів.

На підставі проведеного огляду аналізу наукових робіт слід зазначити необхідність індивідуального підбору методів розв'язання некоректних задач для досліджень фізичних процесів у енергетичному об'єкті під конкретне інженерно-конструкторське завдання, що обов'язково повинно підкріплюватися експериментальними результатами.

Формулювання мети роботи

Мета роботи – дослідження, розробка і верифікація алгоритму обміну розрахунковими та експериментальними даними температурних параметрів у камерах згоряння газотурбінних двигунів.

Викладання основного матеріалу дослідження

В основу постановки досліджень покладено системний підхід [10, с. 43–47] до моделювання фізичних процесів у складних технічних системах [2, с. 73–87] за критеріями подібності; наукові уявлення про термодинамічні процеси і цикли газотурбінних установок [11, с. 139–158]; методи ідентифікації з використанням комп'ютерної техніки для синтезу математичних моделей хіміко-технологічних об'єктів управління [12, с. 102–110]; методи і моделі візуалізації розподілу температурних полів газотурбінних камер згоряння [5, с. 36–41; 6, с. 15–22].

Теоретичні дослідження. Традиційні алгоритми обміну даними будуються на спрощених CFD-моделях і постановці числових експериментів для різних варіантів геометрії розрахункової області. В роботі висунуті пропозиції щодо формування окремих доменів у розрахункових областях твердотілого середовища (конструкції камери згоряння), газоподібного середовища (із суміші компонентів CH_4 , CO , CO_2 , H_2O , NO , O_2) і на поверхні їх поділу, що сприятиме підвищенню точності розрахунків. Етапи і методологія теоретичних досліджень наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Теоретичні дослідження: етапи і методологія

Етап дослідження	Методи і засоби
Побудова геометричної моделі камери згоряння	Системи автоматизованого проєктування з використанням хмарних технологій [13, с. 45–60]
Виділення доменів розрахункової області	Введення характеристик лінійних алгебраїчних систем [3, с. 37–41]
Формування розрахункових доменів газоподібного і твердотілого середовища та на їх поверхні поділу	Пристосування доменів плавучості та руху доменів з можливістю деформування розрахункових комірок [14, с. 57–69], моделі теплопередачі у твердому тілі [11, с. 453–457] конвективного теплообміну [11, с. 370–385]
Порівняння розрахункових і експериментальних результатів	Узагальнення розв'язку рішення з визначенням псевдорозв'язком [2, с. 48–50]
Розробка програмного застосунку	Мова програмування <i>Common Lisp</i> [8, с. 117–129]
Верифікація алгоритму	Аналіз похибок обчислень [2, с. 42–47] з визначенням виродженості системи

Для побудови геометричної моделі спрощеної конфігурації з конструкції камери згоряння виключено отвори і тракти проходу повітря робочого середовища, фаски та зварні з'єднання, труби підводу олії до підшипників тощо. Граничними умовами моделювання фізичних процесів обрано режими номінальної потужності двигунів з середніми температурами матеріал стінки жарової труби у зоні горіння на рівні 500...600 °С. Виходячи з цього, виділено домени розрахункової області (рис. 1). Для розрахунків застосовано моделі доменів твердого тіла з жароміцного сплаву марки ХН60ВТ та газоподібного середовища з компонентами сумішей CH_4 , CO , CO_2 , H_2O , NO , O_2 . Модель домену на поверхні поділу між ними розглядає перенос тепла та враховує шорсткість стінки твердого тіла.

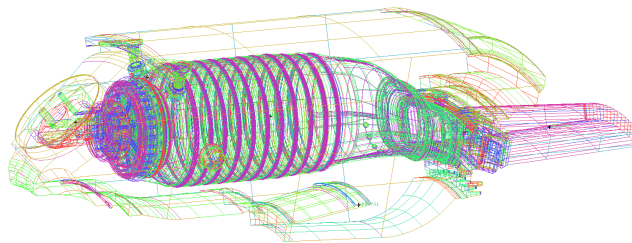


Рис. 1. Сітчаста будова моделі розрахункової області

Експериментальні дослідження полягали у фіксації значень температур газу на виході із жарової труби. За допомогою спеціальних моніторів проводились вимірювання повної температури, тиску і проєкції швидкості на вісь X, схему вимірювань наведено на рис. 2.

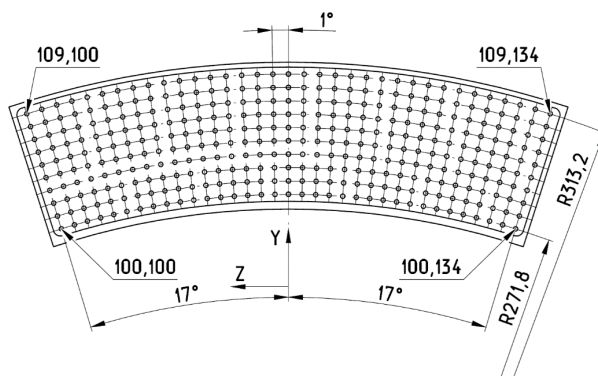


Рис. 2. Вимірювання температури газу на виході із жарової труби

Для визначення матеріалу жарової труби у контрольних точках додатково було встановлено термометри.

Результати обчислювали за авторською методикою, викладеною у роботах [5, с. 36–41; 6, с. 15–22], за якою також визначались еталонні значення для подальшої верифікації алгоритму (рис. 3). Розроблений алгоритм виключає застосування для розрахунків миттєвих значень температур. Завдяки обміну розрахунковими і експериментальними даними процес моделювання теплового стану у більшій мірі відповідає фізичній реальності, що дає можливість підібрати раціональні конструкторські рішення. Застосування функціональної мови Common Lisp [8, с. 117–129] для розробки програмного застосунку забезпечує зручність роботи з багатовимірними і динамічними масивами та дає можливість компактного описання операцій обробки списків.

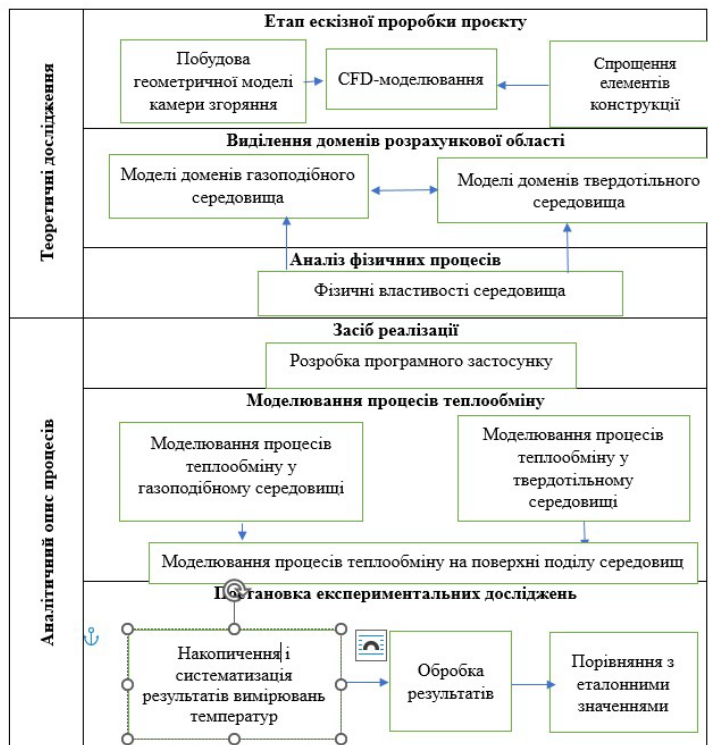


Рис. 3. Алгоритм обміну розрахунковими і експериментальними даними температурних параметрів у камерах згоряння газотурбінних двигунів

Складений алгоритм обміну розрахунковими і експериментальними даними температурних параметрів апробовано на прикладі аналізу теплового стану жарової труби. Як приклад, за допомогою графічного редактора *Gnuplot* побудовано радіальні і окружні епюри відносних температур на виході з жарових труб кільцевої камери згоряння газотурбінного двигуна. На рис. 4 максимальні температури зображені пунктирними лініями, середні температури – сполосненими.

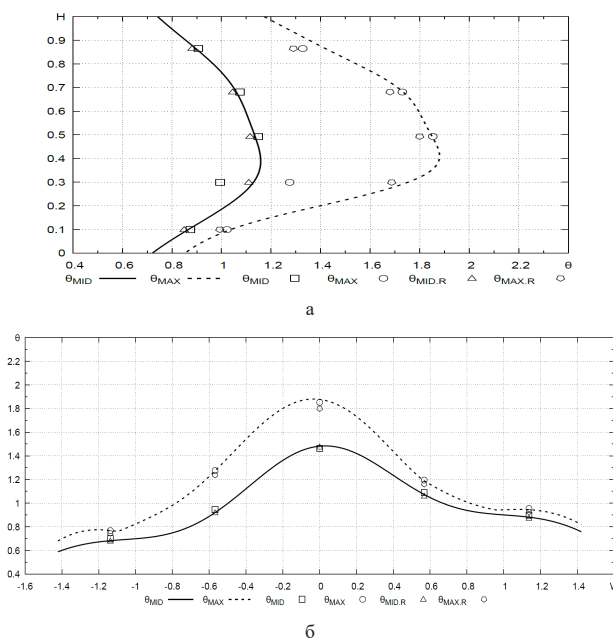


Рис. 4. Епюри максимальних і середніх відносних температур на виході з кільцевої камери згоряння: а – радіальна епюра; б – окружна епюра

Наукова новизна роботи полягатиме у новому методичному підґрунті дослідження фізичних процесів у камерах згоряння газотурбінних двигунів, що реалізовано на прикладі алгоритму обміну даними між твердотільним і газовим середовищами; **практична цінність** пов'язана з впровадженням результатів досліджень у виробничу діяльність машинобудівного підприємства. Одержані в роботі результати спрямовані на вирішення важливої **науково-прикладної проблеми** роботи з багатовимірними даними при вирішенні складних інженерних задач.

Перспективи подальших досліджень авторів полягатимуть у розв'язанні нових типів задач для енергетичного машинобудування за допомогою комп'ютерного моделювання фізичних процесів.

Висновки

Проблемним питанням під час модернізації конструкції виявилось порівняння результатів чисельного моделювання теплових процесів вихідних варіантів і результатів натурних вимірювань параметрів удосконалених конструкцій на експериментальному стенді, що можна розглядати як некоректно поставлену задачу.

Методологія дослідження ґрунтується на системному підході до проектування камери згоряння як складної технічної системи, методах розв'язування некоректно поставлених задач, методах і моделях візуалізації розподілу температурних полів у газотурбінних камерах згоряння.

Теоретичні дослідження включатимуть у себе побудову спрощеної геометричної моделі камери згоряння, виділення і формування розрахункових доменів газоподібного і твердотільного середовищ з поверхнею поділу, порівняння розрахункових і експериментальних результатів, розробку програмного застосунку мовою *Common Lisp* та верифікацію алгоритму.

Експериментальні випробування полягали у вимірюванні значень температур газу та твердого тіла. Складений алгоритм обміну розрахунковими і експериментальними даними температурних параметрів апробовано на прикладі аналізу теплового стану жарової труби; результати представлені у вигляді побудованих радіальних і окружних епюр.

Список використаної літератури

1. Діасамідзе Б. Т., Вілкул С. В., Сербін С. І. Теоретичні дослідження двопаливної низькоемісійної камери згоряння газотурбінного двигуна. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер.: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. 2019. 1. С. 27–33.
2. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Теорія технічних систем: навч. посіб. Київ, ЦП «КОМПРИНТ». 2017. 291 с.
3. Охріменко М. Г., Жуковська О. А., Купка О. О. Методи розв'язування некоректно поставлених задач: навч. посіб. Київ, Цент учбової літератури. 2008. 166 с.
4. Горбійчук М. І., Біла О. Т., Лазарів Н. Т., Лазарів А. М. Метод оцінки технічного стану камери згоряння газотурбінної установки на засадах штучного інтелекту. *Методи та прилади контролю якості*. 2019. 2 (43). С. 68–77.
5. Казимиренко Ю., Михелєв, І., Матвєєв М. Методи і моделі візуалізації розподілу температурних полів газотурбінних камер згоряння з використанням середовища *Common Lisp*. *Інформаційні технології та суспільство*. 2022. 2 (4). С. 36–41.
6. Казимиренко, Ю., Михелєв, І., Матвєєв, М. Систематизація та візуалізація експериментальних випробувань газотурбінних камер згоряння з використанням середовища *Common Lisp*. *Інформаційні технології та суспільство*, 2023. 1 (7). С. 15–22.
7. Верлань А. Ф., Федорчук В. А. Математичні моделі для задачі відновлення функції розподілу теплових джерел. *Математичне і комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки*. 2021. Вип. 22. С. 19–26.
8. Сторчак І. М., Іванов О. П. Аналіз механізмів та ефективності спеціалізованих мов функціонального програмування. *Наука і прогрес транспорту. Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту*. 2019. 6 (84). С. 117–129.
9. Ревунова О. Г. Дослідження точності розв'язання дискретних некоректних задач методом випадкових проєкцій. *Control systems and computers*. 2018. 1. С. 16–27.
10. Варенко В. Методи системного аналізу в аналітиці. *Вісник Книжкової палати*. 2019. 10. С. 43–47.
11. Вассерман О. А., Слинко О. Г. Технічна термодинаміка і теплообмін : підруч. Одеса, Фенікс. 2019. 496.
12. Левчук І. Л., Манко Г. І., Тришкін В. Я., Корсун В. І. Теорія і практика ідентифікації об'єктів управління : монографія. Дніпро, ДВНЗУДТТУ. 2019. 203 с.
13. Смірнова Т. В., Поліщук Л. І., Смірнов О. А., Буравченко К. О., Макєвнн А. О. Дослідження хмарних технологій і сервісів. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2020. 3 (7). С. 43–60.
14. Константінов Ю. М., Гіжа О. О. Технічна механіка рідини газу : підруч. Київ, 2002. 277 с.

References

1. Diasamidze, B. T., Vilkul, S. V., Serbin, S. I. (2019). Teoretychni doslidzhennia dvopalyvnoi nyzkoemisiianoi kamery zghoriannia hazoturbinnoho dvyhuna [Theoretical investigations of a dual-fuel low-emission gas turbine combustor]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Ser.: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia*.

Bulletin of the National Technical University «KhPI». Ser. : Power and Heat Engineering Processes and Equipment. no 1, pp. 27–33 DOI: 10.20998/2078-774X.2019.01.04

2. Loveikin, V. S., Romasevych, Yu. O. (2017). Teoriia tekhnichnykh system: navch. posib. [Theory of technical systems]. Kyiv, TsP «KOMPRYNT» [in Ukrainian].

3. Okhrimenko M. H., Zhukovska O. A., Kupka O. O. (2008). Metody rozviazuvannya nekorektno postavlenykh zadach: navch. posib. [Methods of solving incorrectly set problems]. Kyiv, Tsent uchbovoi literatury [in Ukrainian].

4. Horbiichuk M. I., Bila O. T., Lazariv N. T., Lazariv A. M. (2019). Metod otsinky tekhnichnoho stanu kamery zghoriannia hazoturbinnoi ustanovky na zasadakh shtuchnoho intelektu [Method for assessing the technical condition of the combustion chamber of a gas turbine plant based on artificial intelligence]. *Metody ta prylady kontroliu yakosti.* no 2(43), pp. 68–77. DOI: 10.31471/1993-9981-2019-2(43)-68-77

5. Kazymyrenko, Yu., Mikheliev, I., Matvieiev, M. (2022) Metody i modeli vizualizatsii rozpodilu temperaturnykh poliv hazoturbinnykh kamer zghoriannia z vykorystanniam seredovyshcha Common Lisp [Methods and models for visualization of temperature field distribution of gas turbine combustion chambers using Common Lisp]. *Informatsiini tekhnologii ta suspilstvo.* no 2 (4), pp. 36–41. DOI: 10.32689/maup.it.2022.2.5

6. Kazymyrenko, Yu., Mikheliev, I., Matvyeyev, M. (2023). Systematyzatsiia ta vizualizatsiia eksperymentalnykh vyprobuvan hazoturbinnykh kamer zghoriannia u seredovyshchi Common Lisp [Systematization and visualization of experimental tests of gas turbine combustion chambers in the Common Lisp environment]. *Informatsiini tekhnologii ta suspilstvo.* no. 1(7), pp. 15–22. DOI: 10.32689/maup.it.2023.1.4

7. Verlan A. F., Fedorchuk V. A. (2021). Matematychni modeli dlia zadachi vidnovlennia funktsii rozpodilu teplovykh dzherel [Mathematical Models for the Problem of Restoring the Distribution Function of Heat Sources]. *Matematychni i kompiuterni modeliuvannia. Serii: Fizyko-matematychni nauky.* vyp. 22, pp. 19–26. DOI: 10.32626/2308-5878.2021-22. 19–26.

8. Storchak I. M., Ivanov O. P. (2019). Analiz mekhanizmiv ta efektyvnosti spetsializovanykh mov funktsionalnoho prohramuvannia [Analysis of mechanisms and efficiency of specialized languages of functional programming]. *Nauka i prohres transportu. Visnyk Dniprovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu.* no 6(84), pp. 117–129. DOI: 10.15802/stp2019/195581

9. Revunova O. H. (2018). Doslidzhennia tochnosti rozviazannia dyskretnykh nekorektnykh zadach metodom vypadkovykh proiektzii [Investigation of the accuracy of solving discrete ill-posed problems by the method of random projections]. *Control systems and computers.* no 1, pp. 16–27. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2018.01.016>

10. Varenko V. (2019). Metody systemnoho analizu v analitytsi [Methods of System Analysis in Analytics] *Visnyk Knyzhkovoï palaty.* no 10, pp. 43–47. DOI: 10.36273/2076-9555.2019.10(279)

11. Vasserman O. A., Slynko O. H. (2019). Tekhnichna termodynamika i teploobmin : pidruch [Technical Thermodynamics and Heat Transfer]. Odesa, Feniks [in Ukrainian].

12. Levchuk I. L., Manko H. I., Tryshkin V. Ya., Korsun V. I. (2019). Teoriia i praktyka identyfikatsii obiektiv upravlinnia : monohrafiia [Theory and Practice of Identification of Management Objects]. Dnipro, DVNZUDTTU [in Ukrainian].

13. Smirnova T. V., Polishchuk L. I., Smirnov O. A., Buravchenko K. O., Makevnin A. O. (2020). Doslidzhennia khmarnykh tekhnologii i servisiv [Research on Cloud Technologies and Services]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika.* no 3(7), pp. 43–46. DOI: 10.28925/2663-4023.2020.7.4362

14. Konstantinov Yu. M., Hizha O. O. (2002). Tekhnichna mekhanika ridyny hazu : pidruch [Technical Mechanics of Liquid Gas]. Kyiv, 2002 [in Ukrainian].

I. М. НАУМУК

кандидат педагогічних наук,
доцент кафедри інформатики і кібернетики
Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького
ORCID: 0000-0931-1947-1074

О. В. НАУМУК

кандидат педагогічних наук,
старший викладач кафедри інформатики і кібернетики
Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького
ORCID: 0000-0931-1947-1074

ВИКОРИСТАННЯ CISCO PACKET TRACER ЯК ЗАСОБУ СИМУЛЯЦІЇ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У ПІДГОТОВЦІ ІНЖЕНЕРІВ-ПРОГРАМІСТІВ

Сучасний етап розвитку суспільства потребує значної уваги до підготовки фахівців у галузі комп'ютерних мереж та інформаційних систем, що передбачає необхідність у розробці відповідних курсів навчання. Однією із проблем, у розробці дисциплін у галузі ІТ пов'язаних із комп'ютерними мережами, є організація практичних занять, адже для моделювання роботи деяких сервісів чи служб необхідна наявність декількох вузлів у мережі, що певною мірою не завжди можливо і тому накладає деякі обмеження, що відбивається на змісті дисципліни.

Cisco Packet Tracer — це безкоштовний симулятор мережевої інфраструктури, який широко використовується для навчання мережевим технологіям. Він дозволяє викладачам імітувати роботу мережі для проведення лекційних занять, а студентам — експериментувати з різними мережевими конфігураціями та протоколами. Широкі можливості, які надає Cisco Packet Tracer можуть бути використані як для побудови невеликої мережі на кожному занятті, так і для створення великого проекту, який необхідно виконати протягом всього курсу. У якості прикладу, для демонстрації принципів роботи комп'ютерної мережі, розглянуто модель підприємства, що має два офіси та серверну ферму. Дана модель надає можливості для вивчення принципів IP-адресації, сегментування мережі за допомогою віртуальних підмереж, навички роботи з налаштування керованих комутаторів та надає можливості змодельовати принципи роботи багатьох служб і сервісів побудованих на принципах протоколу TCP/IP. Враховуючи безпечність, гнучкість та доступність Cisco Packet Tracer, даний програмний засіб необхідно використовувати для вивчення основ мережевої архітектури та мережевих протоколів, конфігурації мережевих пристроїв та принципів побудови захисту комп'ютерної мережі.

Ключові слова: Cisco Packet Tracer; імітація комп'ютерної мережі; протокол TCP/IP, маршрутизація.

I. M. NAUMUK

Candidate of Pedagogy,
Associate Professor at the Department of Informatics and Cybernetics
Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University
ORCID: 0000-0931-1947-1074

O. V. NAUMUK

Candidate of Pedagogy,
Senior Lecturer at the Department of Informatics and Cybernetics
Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University
ORCID: 0000-0931-1947-1074

USING CISCO PACKET TRACER AS A TOOL FOR NETWORK INFRASTRUCTURE SIMULATION IN THE TRAINING OF SOFTWARE ENGINEERS

The current stage of the development of society requires significant attention to the training of specialists in the field of computer networks and information systems, which implies the need to develop appropriate training courses. One of the problems in the development of disciplines in the field of IT related to computer networks is the organization of practical classes, because for modeling the operation of some services or services, the presence of several nodes in the network is necessary, which to a certain extent is not always possible and therefore imposes some limitations, which is reflected in the content of the discipline.

Cisco Packet Tracer is a free network infrastructure simulator that is widely used to teach network technologies. It allows teachers to simulate network operation for lectures and students to experiment with different network configurations and protocols. The extensive capabilities provided by Cisco Packet Tracer can be used both to build a small network in each lesson and to create a large project that must be completed throughout the course. As an example, to demonstrate the principles of computer network operation, the model of an enterprise with two offices and a server farm is considered. This model provides opportunities to study the principles of IP addressing, network segmentation using virtual subnets, work skills in configuring managed switches, provides opportunities to simulate the principles of operation of many services and services built on the principles of the TCP/IP protocol. Given the security, flexibility, and availability of Cisco Packet Tracer, this software tool should be used to learn the basics of network architecture and network protocols, network device configuration, and the principles of building network security.

Key words: Cisco Packet Tracer, computer network simulation, TCP/IP protocol, routing.

Постанова проблеми

У контексті розвитку програм та технологій, що залежать від наявності доступу до Інтернету, зростає затребуваність у більшій кількості кваліфікованих фахівців у галузі комп'ютерних мереж. Комп'ютерні мережі є одним з обов'язкових курсів у програмі підготовки фахівців у галузі комп'ютерної інженерії, комп'ютерних наук, інформаційної та програмної інженерії, програмування тощо.

Розробка змісту курсу, що передбачає вивчення комп'ютерних мереж студентами, залежить від можливості реалізувати різні мережеві технології для практичної частини. Основною проблемою при створенні подібних курсів є обмеження, які накладають можливості організації занять для отримання практичних навичок, освоєння знань про основну концепцію роботи TCP/IP, налаштування структури клієнта і сервера, відмінності в статичних і динамічних конфігураціях IP-адрес та інших мережевих технологіях. Таким чином, основним підходом в організації курсів про комп'ютерні мережі є засоби та інструменти для моделювання комп'ютерної мережі, які у свою чергу мають бути позитивно сприйняті студентами, вони повинні бути здатні самостійно розібратися з налаштуванням та роботою середовища для імітації інфраструктури мережі.

Більшість викладачів [5; 7; 9] відзначають, що при організації практичних занять для курсів навчання за мережевими технологіями стикаються з проблемами пов'язаними з необхідністю в класах з великою площею, для розміщення великої кількості різного обладнання, проблеми з демонстрацією роботи принципів, алгоритмів і протоколів, що виникають між апаратною та програмними частинами мережевих пристроїв, комп'ютерів, серверів, фаєрволів та іншою периферією, а також складнощами у відображенні роботи передачі даних під час лекційних занять. Студенти повинні вивчати безліч протоколів зв'язку та деталі їхньої участі у передачі даних. Також часто зустрічаються зауваження, що найбільш складними для викладання є теми, пов'язані з моделюванням та симуляцією роботи протоколів маршрутизації.

Значні практичні надбання, щодо розробки курсів навчання з комп'ютерних мереж та інформаційних систем висвітлені у працях Гуревича Р., Доценка С., Олексюка В., Павленко Л., Павленко М. та інших.

Саме тому, вивчення питань щодо засобів моделювання комп'ютерного та мережевого устаткування та візуалізації у навчанні дисциплін з принципів роботи комп'ютерної мережі є широко затребуваним та потребує постійного моніторингу для актуалізації змісту.

Формулювання мети дослідження

Мета статті полягає у аналізі можливостей програмного забезпечення Cisco Packet Tracer для моделювання роботи комп'ютерної мережі.

Виклад основного матеріалу дослідження

Закон про інформатизацію та розвитку ІКТ у державному секторі, сприяють розширенню залежності усіх сфер діяльності суспільства від доступності мережевої інфраструктури, як одного з життєвоважливих напрямів становлення держави [1]. Окрім того, дисципліни з вивчення комп'ютерних мереж включені в систему підготовки фахівців за напрямом розробки програмного забезпечення, комп'ютерних наук, інформаційних технологій та інших. Враховуючи стрімкий технологічний прогрес в індустрії інформаційних технологій зростає необхідність у великій кількості кваліфікованих мережевих інженерів [2; 3]. Також слід відзначити, що згідно зі статистикою в галузі комп'ютерних мереж постійно потрібні професіонали з великим теоретичним та практичним досвідом. Згідно з прогнозом статистичного бюро США з 2022 по 2032 тільки в США потреба у фахівцях у галузі мережевих та комп'ютерних систем і архітектурі комп'ютерних мереж збільшиться на третину [6]. Таким чином розвиток та підтримка актуальності змісту та підвищення якості викладання дисциплін спрямованих на вивчення комп'ютерних мереж є важливим компонентом у професійній підготовці майбутніх інженерів-програмістів.

Мережева академія Cisco, яка є частиною найбільшої у світі компанії у галузі мереж та зв'язку, пропонує для навчання потужний мережевий симулятор Cisco Packet Tracer, завдяки якому можна практикуватися, перевіряти та розвивати навички роботи з налаштування мережевого обладнання. Багато досліджень підтверджують, що на відміну від віртуалізації обладнання та використанням реального обладнання, Cisco Packet Tracer має ряд переваг, таких як економічність зручність, гнучкість, безпека, простота та розширюваність, що робить його оптимальним вибором для здобуття практичних навичок [8].

У якості імітації пропонується модель, яка відображає роботу мережі невеликої компанії, що має 2 офіси у різних частинах міста, а також декілька підрозділів користувачів та серверну ферму. Запропонована модель надає можливість відтворити практичні заняття з налаштування мережевого обладнання, розподілення мережі за допомогою IP-адресації та VLAN. Особливості роботи із Cisco Packet Tracer.

Підключення та налаштування комутаторів може бути здійснено декількома способами. Cisco Packet Tracer надає можливість конфігурування комутатора безпосередньо через властивості комутатора або через імітацію підключення до комп'ютера COM-портом з налаштуванням параметрів з'єднання (рис. 1). Під час первинного налаштування комутатора створюються усі облікові записи користувачів з різними рівнями доступу, VLAN-и, вмикаються інтерфейси, бо за замовчуванням у Cisco вони вимкнені, здійснюється підключення обладнання до мережі. Далі працювати із комутатором можна через telnet, web-інтерфейс або SSH.

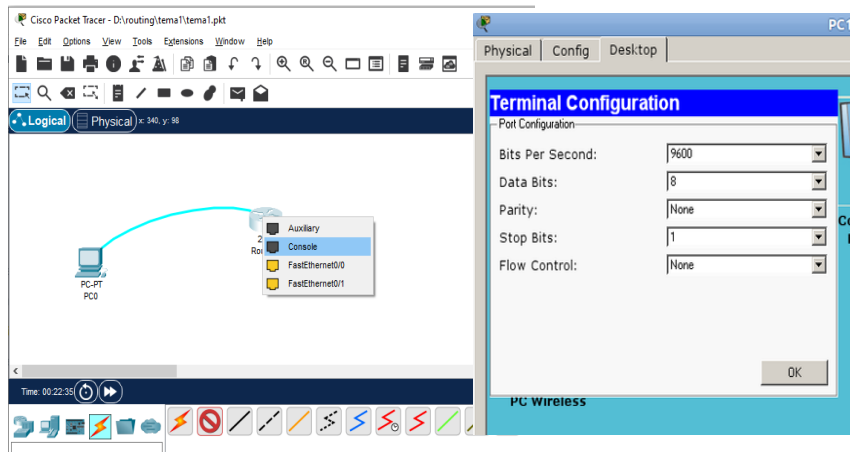


Рис. 1. Підключення до комутатора через консоль.

На рисунку 2 відображена фізична структура мережі де вказано моделі комутаторів, зазначені інтерфейси комутаторів та як буде здійснено підключення кожного з них, а також зазначено перелік інтерфейсів для користувачів різних підрозділів.

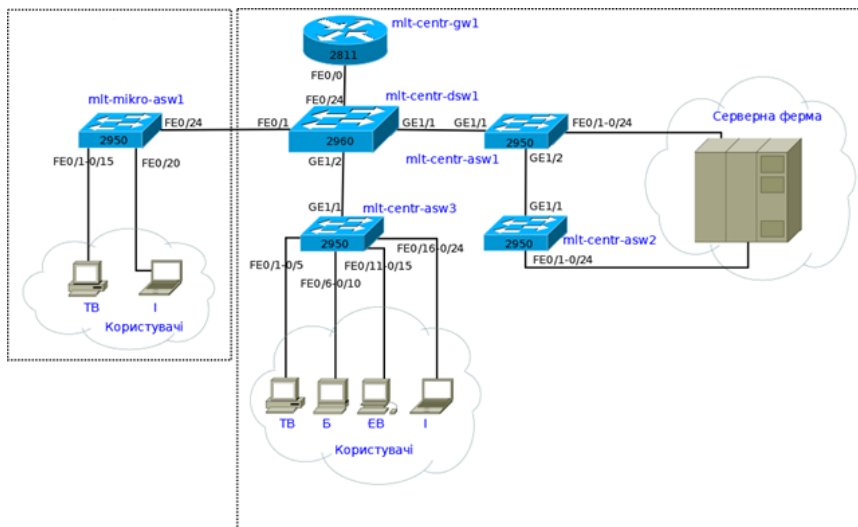


Рис. 2. Схема моделі мережевої інфраструктури

У теоретичній довідці до практичних завдань надається інформація, щодо IP-адресації різноманітних сегментів мережі. Так для серверної ферми виділено підмережу 172.16.0.0/24 та VLAN 3, для мережевого устаткування – 172.16.1.0/24 та VLAN 2, 172.16.3.0/24 – 172.16.16.0/24, та VLAN 101-104 – виділено для різних підрозділів підприємства. Окрім того надаються дані, щодо налаштувань комутаторів та кожного інтерфейсу комутаторів, та яким чином буде здійснюватися передача даних, що дозволяє відстежувати передачу даних між вузлами мережі.

На схемі моделі мережевої інфраструктури (рис. 3) відображено налаштування інтерфейсів комутаторів з урахуванням VLAN для кожного відділу.

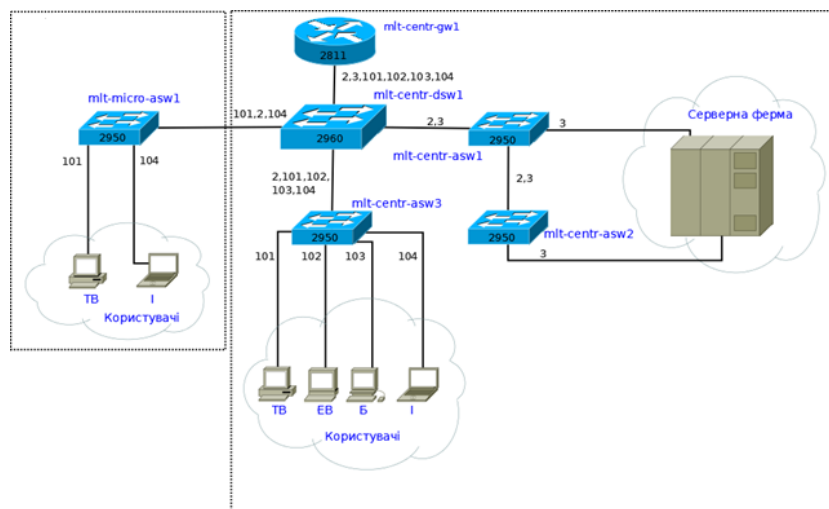


Рис. 3. Схема моделі мережевої інфраструктури L2

Таким чином за допомогою невеликої кількості елементів вдалося створити модель комп'ютерної мережевої інфраструктури, що дозволяє імітувати роботу мережі класу В. Можливості Cisco Packet Tracer на цьому не вичерпуються, існує велика кількість моделей комутаторів, різноманітного мережевого устаткування та програмного забезпечення, яке може бути використане у подальших роботах. Окрім того можливості вузлів мережі повністю задовольняють вимоги до функціоналу для напрацювання практичних навичок на практичних заняттях та проведення демонстрацій під час лекційних занять. Завдяки збереженню конфігурації інфраструктури у файл можна здійснювати перевірку виконання робіт в умовах дистанційного форми навчання, створювати конфігурацію з імітацією проблемних ситуацій та несправностей у роботі мережі. Гнучкість та масштабованість Cisco Packet Tracer дозволяють створювати різноманітні конфігурації мережевої інфраструктури, для перевірки принципів роботи протоколу TCP/IP: IP-адресації, служб DNS, DHCP, протоколів маршрутизації та ін.

Висновки

Враховуючи швидкість розвитку сучасних технологій та високий попит на якісних фахівців у сфері комп'ютерних мереж та комунікаційних систем, швидке реагування на виклики у світі ІТ роблять питання оновлення змісту відповідних курсів та дисциплін завжди актуальним. Тому питання пошуку оптимальних засобів, які можуть бути залучені для підвищення ефективності отримання практичних навичок, також є важливим завданням. Використання Cisco Packet Tracer для проведення практичних занять з мережевих технологій має надає можливість безпечно працювати у змодельованому середовищі, що забезпечує безпечність, адже студенти не працюють із реальним мережевим обладнанням, тому ризик пошкодження обладнання або порушення роботи мережі зводиться до мінімуму. Cisco Packet Tracer є безкоштовним програмним забезпеченням, тому його використання не потребує додаткових витрат. Гнучкість Cisco Packet Tracer дозволяє створювати різноманітні мережеві конфігурації, які відповідають потребам конкретного заняття та дозволяють відтворити принципи роботи мережевих сервісів та служб.

Список використаної літератури

1. Верховна Рада України. Закон України «Про Національну програму інформатизації» № 74/98-ВР [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/28169>.
2. Доценко С. І. Комп'ютерні мережі та інформаційні технології. – 2020.
3. Лазаренко Н. І. и др. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми: збірник наукових праць. Вип. 65. – 2022.
4. Олексюк В. Можливості використання курсів мережевої академії Cisco у процесі навчання майбутніх учителів інформатики //Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems. – 2020. – С. 142–149.
5. Noor N. M. M., Yayao N., Sulaiman S. Effectiveness of using Cisco Packet Tracer as a learning tool: A case study of routing protocol //Computer software. – 2018. – Т. 514. – С. 689.9.
6. BLS. Office of Occupational Statistics and Employment Projections [Електронний ресурс] / BLS. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: www.bls.gov/emp.

7. Pavlenko M., Pavlenko L. Formation of communication and teamwork skills of future IT-specialists using project technology //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1840. – № 1. – С. 012031.
8. Rashid N. A. et al. Cisco packet tracer simulation as effective pedagogy in Computer Networking course. – 2019.
9. Petcu D. et al. Integrating Cisco Packet Tracer with Moodle platform: Support for teaching and automatic evaluation //2013 RoEduNet International Conference 12th Edition: Networking in Education and Research. – IEEE, 2013. – С. 1–6.

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. Law of Ukraine "On the National Informatization Program" No. 74/98-VR. Available at: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/28169>.
2. Dotsenko, S. I. (2020). Computer networks and information technologies.
3. Lazarenko, N. I., & Gurevich, R. (2022). Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems: a collection of scientific papers. Vol. 65.
4. Олексюк, В. (2020). Можливості використання курсів мережевої академії Cisco у процесі навчання майбутніх учителів інформатики. Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems, 142-149.
5. BLS. Office of Occupational Statistics and Employment Projections. Available at: www.bls.gov/emp.
6. Noor, N. M. M., Yayao, N., & Sulaiman, S. (2018). Effectiveness of using Cisco Packet Tracer as a learning tool: A case study of routing protocol. Computer software, 514, 689-9.
7. Pavlenko, M., & Pavlenko, L. (2021, March). Formation of communication and teamwork skills of future IT-specialists using project technology. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1840, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.
8. Rashid, N. A., bin Othman, Z., bin Johan, R., & Sidek, S. B. H. (2019). Cisco packet tracer simulation as effective pedagogy in Computer Networking course.
9. Petcu, D., Iancu, B., Peculea, A., Dadarlat, V., & Cebuc, E. (2013, September). Integrating Cisco Packet Tracer with Moodle platform: Support for teaching and automatic evaluation. In 2013 RoEduNet International Conference 12th Edition: Networking in Education and Research (pp. 1–6). IEEE.

Л. М. ОЛЕЩЕНКО

кандидат технічних наук,
доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0001-9908-7422

О. Г. МЕЛЬНИЧУК

студент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0008-3731-6021

ЗАСТОСУВАННЯ АСАМБЛЕВИХ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НЕПРАВДИВОГО ТЕКСТУ

У статті представлено ансамблеві методи машинного навчання для підвищення точності виявлення неправдивого тексту та оцінено різні класифікатори з використанням окремих наборів даних. Для дослідження обрано найвигідніший байєсівський класифікатор, пасивно-агресивний класифікатор, метод Support Vector Machine (SVM), логістичну регресію, метод k -найближчих сусідів та класифікатори випадкового лісу. Також протестовано ансамблі, що складаються з комбінацій обраних класифікаторів. Результати дослідження представляють результати класифікації, демонструючи ефективність використання ансамблевих методів. Для дослідження використовувалися технології програмування Python (sklearn, pandas, numpy), процесор AMD Ryzen 5 4500U 6 ядер та 16 гігабайт оперативної пам'яті. Дослідження підкреслює важливість використання ансамблевих методів для виявлення неправдивих текстів новин. Для TF-IDF – векторизації класифікатор SVM виділяється найвищою середньою точністю 95,74%. Згідно проведених досліджень, SVM досягає найвищої частки правильних прогнозів порівняно з іншими класифікаторами під час навчання на даних, перетворених TF-IDF. При використанні векторизації хешування класифікатор SVM зберігає свою високу продуктивність, досягнувши найвищої середньої точності 97,26%. Ансамблевий метод Voting Ensemble 3 (Ens3 – SVM + PA + LR) досягає середньої точності 96,93%. Основна ідея запропонованого методу полягає в аналізі тексту новин без сторонньої інформації (дати публікації, назви сайтів та додаткових медіа). Текст новин аналізується окремо за трьома показниками: правдивість тексту, сатира чи мова ворожнечі. Для навчання моделей за обраними метриками використано набори даних сервісу Kaggle, а для тестування в «реальних умовах» – довільно вибрані тексти новин і коментарів. Структурою наборів даних є текст та двійкова мітка в іншому стовпці, що відповідає заданому критерію. Набір досліджуваних даних містить 6335 рядків текстів новин і міток «true» або «false». Набір даних сатири – це комбінація двох окремих наборів даних, одного з новинної служби BBC, а іншого – з Onion.

Ключові слова: ансамблеві методи машинного навчання, алгоритми класифікації, аналіз текстів на неправдивість, TF-IDF, Python.

L. M. OLESHCHENKO

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Computer Systems Software
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0001-9908-7422

O. H. MELNYCHUK

Student at the Department of Computer Systems Software
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0009-0008-3731-6021

MACHINE LEARNING ENSEMBLE METHODS IMPLEMENTATION FOR DECEPTIVE TEXT DETECTION

The article discusses the application of ensemble techniques to improve the accuracy of predictions and conducts an evaluation of different classifiers across distinct datasets. It explores the effectiveness of the Naive Bayesian, Passive-

aggressive, Linear Support Vector, Logistic Regression, k-nearest neighbors, and Random Forest classifiers. Moreover, it investigates the performance of ensembles that integrate these classifiers in various combinations. Python programming technologies (sklearn, pandas, numpy), AMD Ryzen 5 4500U 6-core processor, 16 gigabytes of RAM were used for the research. The findings demonstrate that while individual classifiers achieve commendable accuracy levels, their performance is further enhanced through ensemble approaches. The study details the outcomes of these classifications, highlighting the efficacy of the applied methods. Particularly, the study underscores the value of ensemble strategies in identifying false news text, offering valuable directions for subsequent inquiries. In terms of TF-IDF Vectorization, the Support Vector Machine (SVM) classifier emerges as the most accurate, with an average accuracy rate of 95.74%. This suggests that the SVM is superior in generating correct predictions more frequently than its counterparts when applied to data transformed via TF-IDF Vectorization. With Hashing Vectorization, the SVM consistently outperforms other classifiers, reaching an average accuracy of 97.26%. Among ensemble methods, the Voting Ensemble 3 (Ens3 – SVM + PA + LR) stands out, especially with Hashing Vectorization, achieving an average accuracy of 96.93%.

The core concept behind the methodology is the analysis of purely journalistic text, devoid of any irrelevant details such as publication dates, website names, or additional media content. The analysis categorizes the text based on three separate criteria: the veracity of the news, whether it is satirical, or if it constitutes hate speech. To train the models, datasets from the Kaggle platform were utilized according to these criteria, and a selection of arbitrarily chosen news texts and comments were tested under "real-world conditions". The datasets are structured with text and a binary label in another column indicating the respective criterion. The datasets include 6,335 news text entries labeled as true or false. The dataset for satire combines two distinct datasets, one from the BBC news service and another from the satirical news site The Onion.

Key words: assembly methods of machine learning, classification algorithms, analysis of texts for falsity, TF-IDF, Python.

Постановка проблеми

Неправдиві новини стали поширеною проблемою цифрової епохи, поширюючись через платформи соціальних медіа та онлайн-видання новин. Швидке поширення неправдивої або оманливої інформації становить серйозну загрозу суспільному дискурсу, політичним процесам і довірі суспільства. Традиційні методи перевірки текстів новин часто не відповідають масштабам і складності сучасних кампаній дезінформації. Отже, існує нагальна потреба в передових обчислювальних техніках для боротьби з поширенням неправдивих новин та збереження цілісності інформаційних каналів.

Широка доступність Інтернету та платформ соціальних мереж прискорила поширення інформації безпрецедентними темпами, заставши суспільство зненацька. Таке швидке поширення створило проблеми для підтримки неупередженості та точності новинного контенту, особливо в середовищі соціальних мереж. Різні онлайн-платформи використовують різноманітні стратегії для класифікації та оцінки схожого вмісту. У той час як традиційні інформаційні агентства покладаються на процеси перевірки вручну, платформи соціальних мереж, такі як Facebook, використовують автоматизовані системи для виявлення ненависті та ворожнечі в коментарях. Такі платформи, як X, використовують «нотатки спільноти», спільні анотації, які додаються до публікацій, пропонуючи додатковий контекст та іноді розвінчують дезінформацію. Аналізуючи величезну кількість текстових даних, моделі машинного навчання можуть робити прогнози та намагатися розпізнати правдивість нової інформації.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є розробка асамблевого методу класифікації для аналізу новинних текстів на неправдивість, сатиру та мову ворожнечі. Основна ідея – проаналізувати новинний текст без сторонньої інформації (такої як дата публікації, назви сайтів, додаткових медіа). Текст аналізується окремо за трьома показниками: правдивість новини, сатира чи мова ворожнечі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [1–2] досліджується використання програмних методів обробки природної мови та методів машинного навчання для боротьби з неправдивими новинами. Бібліотека Python scikit-learn надає широкий спектр алгоритмів машинного навчання для цієї мети. У статті [3] розглядаються ансамблеві методи та обговорюються їх переваги порівняно з окремими класифікаторами.

У дослідженні [4] порівнюються методи векторизації тексту для обробки природної мови в Text Mining, використовуючи класифікацію, таку як NBC і k-NN. Результати дослідження служать основою для подальших досліджень у сфері автоматизованого аналізу тексту. Стаття [5] розглядає зростання неправдивих новин у соціальних мережах, наголошуючи на їхніх негативних наслідках та складностях ідентифікації через навмисно оманливий зміст. Автори статті [6] пропонують інноваційну модель FakeDetector для автоматичного визначення достовірності неправдивих новин на основі аналізу текстової інформації та мережових взаємодій. Стаття [7] досліджує сатиру як форму обману та використовує алгоритм на основі SVM для виявлення сатиричних новин з високою точністю. У роботі [8] розглядаються методи виявлення неправдивих новин через аналіз їхніх характеристик, що публікуються у соціальних мережах. Останні дослідження висвітлюють складнощі та потребу у подальшому розвитку методів машинного навчання для виявлення та стримування поширення неправдивих текстових новин.

Дані для дослідження та тренування моделей

Для навчання моделей у даній роботі використовувалися набори даних сервісу Kaggle, а для тестування в «реальних умовах» – довільно вибрані тексти новин і коментарів. Наборів даних містять текст і двійковий знак в стовпцях, які відповідають критерію. Набір даних для дослідження містить 6335 рядків новинних текстів та мітки true або false. Набір даних для перевірки на сатиру – це комбінація двох окремих наборів даних: один із служби новин BBC, інший – із гумористичного вебсайту сатиричних новин Onion. Об'єднаний набір даних налічує 8341 рядок. Останній набір містить коментарі мережі X з більш ніж 24 000 рядків даних.

Найбільшу складність у такому комбінованому аналізі метрик становить різноманіття даних для окремих метрик, оскільки дані з неправдивою інформацією є довгими, офіційними текстами, а коментарі користувачів використовуються для перевірки на мову ворожнечі.

Перед навчанням моделей необхідно певним чином змінити тексти наборів даних, для цього використовується перетворення «необроблених» даних у формат, придатний для моделей машинного навчання. Це перший і обов'язковий етап створення моделей. Особливо це стосується аналізу текстових даних людського мовлення. Такі текстові дані мають «шум», який проявляється в пунктуації, емоціях і регістрі тексту, а також у відмінюванні слів. Стоп-слова – це найпоширеніші слова в тексті, які не несуть жодної інформації. Оскільки мова досліджуваних наборів даних є англійською, стоп-слова також включають артикли. Для видалення таких слів було використано бібліотеку NLTK, що містить близько 180 стоп-слів.

Скорочення слів, або коріння, полягає у відокремленні та видаленні допоміжних частин слова від кореня, або основної форми. Бібліотека NLTK використовується для скорочення слів. Зокрема, у цьому дослідженні використано лематизацію. На відміну від звичайного стемінгу, де під час скорочення можлива втрата початкового контексту та значення слова (universal – всесвіт), під час лематизації перед скороченням відбувається морфологічний аналіз слова, хоча це займає більше часу (рис. 1).

Залежно від наборів даних, цифри також видаляються або замінюються словами в даних, або скорочені слова «розширюються».

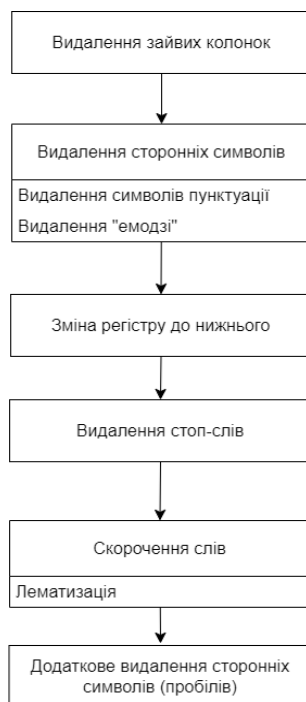


Рис. 1. Попередня підготовка текстових даних

Алгоритми машинного навчання найчастіше приймають числові значення для навчання, тому спочатку потрібно перетворити всі текстові документи в їх числове представлення. Прикладом такого числового представлення є вектор, індекси якого є індексами унікальних слів з документів, а значення – кількість входжень цих слів у документи. Стоп-слова також можна знову видалити під час векторизації.

У даному дослідженні було обрано та використано два векторизатори: TD – IDF та векторизатор із хешуванням. TF – IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency) є показником важливості слів у документах. Важливість слова – це кількість випадків/вживань слова в документах. Зворотна частота стосується унікальності

слова в колекції документів. Велике значення TF – IDF досягається, коли значення TF є великим і коли вага в знаменнику у формулі IDF не має великого значення.

Один із векторизаторів, який вбудовано в бібліотеку scikit – learn і є найпростішим у реалізації. Він створює матрицю з усіх документів, де кожне унікальне слово є стовпцем, а документи є рядками. Значення в кожній клітинці є числовим і означає, скільки разів це слово з'являється в документі. У scikit – learn слова реалізації зберігаються не як текст, а як індекси.

Хешований векторизатор не зберігає словник індексів слів. Кожне слово/токен хешується за допомогою функції Murmurhash 3 і відображається безпосередньо в стовпці матриці. Це має перевагу, оскільки доступні набори даних досить великі.

Обґрунтування використання класифікаторів

У порівнянні з глибоким навчанням, моделями мовлення або згортковими чи рекурентними нейронними мережами, звичайні класифікатори зазвичай поступаються точністю прогнозування. По-перше, було висунуто гіпотезу, що якщо окремі класифікатори поступаються в точності більш складним моделям, то можна спробувати використовувати кілька класифікаторів і обрати найкращі прогнози для досягнення максимальної точності. По-друге, класифікатори набагато простіші в реалізації та швидше навчаються, і тому вони ідеально підходять для роботи в умовах обмеженого часу або коли потрібно перевірити інші налаштування чи параметри. По-третє, класифікатори набагато краще працюють з невеликими наборами даних, ніж складніші моделі. Усі використані набори даних відносно невеликі за обсягом і були взяті для дослідження без використання додаткових носіїв чи вебскребків і не мають масштабу для навчання складних моделей рівня ChatGPT. Мовні моделі, з іншого боку, вимагають досить великої кількості даних для отримання оптимальних результатів.

У дослідженні тексти розділені на три категорії: неправдиві новини, сатира та мова ворожнечі. Щоб спростити навчання та використання класифікаторів, було вирішено навчати кожен метрику окремо, тобто спростити задачу класифікації до бінарної. Навчені класифікатори зберігаються для подальшого використання в ансамблевих методах.

Однією з цілей дослідження є визначення ймовірності належності тексту до категорії. Бібліотека scikit – learn має вбудовану функцію predict_proba (), яка працює не з усіма використовуваними класифікаторами, тому деякі з них були змінені.

Наївний байєсівський класифікатор підходить для класифікації коротких текстів і припускає, що ознаки тексту не пов'язані між собою, але таке припущення не завжди вірне. Один із наборів даних наповнений коментарями з мережі X, і цей фактор також вплинув на вибір класифікатора.

Мультиноміальний варіант Байеса, обраний для дослідження, може ефективно моделювати спільний розподіл ознак і пов'язаних з ними класів за допомогою мультиноміального розподілу. Розподіл частоти для кожного терміна можна покращити, включивши міру дисперсії, таку як частота терміну, зворотна частоті документа (TF-IDF), яка враховує кількість документів, у яких кожен зустрічається. Це може суттєво підвищити продуктивність, надавши більшої ваги термінам, які з'являються в меншій кількості документів, і, таким чином, покращити їх здатність розрізняти.

Незважаючи на те, що мультиноміальний розподіл добре працює при безпосередньому використанні з частотами термінів, він також добре працює для дробових значень, таких, як значення TF-IDF.

Пасивно-агресивний класифікатор вважається одним із найкращих серед розглянутих у даній роботі. Він часто використовується для поділу тексту на дві групи, і тому дуже добре підходить для використання в цьому дослідженні. Крім того, він часто використовується для фільтрації спаму та виявлення шахрайства. Пасивно-агресивний класифікатор не має ймовірнісного методу, тому було вирішено створити для нього своєрідну обгортку:

```
def predict_proba(self, x_test):
    arr1= 1-(1. / (1. + np.exp(- self.decision_function(x_test))))
    arr2= -(arr1-1)
    return np.stack((arr2, arr1), axis =1)
```

Вбудована функція decision_function() показує, як алгоритм приймає рішення щодо класифікації та повертає масив numpy, де кожен елемент надається для значень x вибірки x_test (дані для тестування) показує відстань від гіперплощини з різних сторін, зі значеннями від -1 до 1, з 0 точно посередині.

Метод опорних векторів Support Vector Machine (SVM), хоча й працює повільніше, ніж байєсівський класифікатор, проте вважається одним із найкращих і використовується як для класифікації, так і для регресії.

У scikit-learn модуль SVM є оболонкою для бібліотеки libsvm і підтримує різні ядра. У дослідженні використовується функція LinearSVC (), яка підтримує лише лінійне ядро, але є швидшою, ніж модуль SVM. Ця функція потім калібрується за допомогою CalibratedClassifierCV. Це було зроблено для того, щоб отримати ймовірності відповідно текстовому типу даних.

Логістична регресія підходить для двійкової класифікації та одразу повертає ймовірність. У scikit – learn функція LogisticRegression () реалізує регуляризовану логістичну регресію за допомогою бібліотеки liblinear.

Класифікатор k-найближчих сусідів (KNN) є одним із найпростіших і найпоширеніших алгоритмів, які використовуються для класифікації тексту. У деяких конкретних випадках KNN може перевершити громіздкі моделі типу BERT. У 2023 році група дослідників з Університету Ватерлоо опублікувала зразок коду, у якому алгоритм використовувався з бібліотекою `gzip` для стиснення показників відстані. Це було зроблено для того, щоб довести, що подібність між двома текстовими документами тісно пов'язана з їх стисливістю у файли меншого розміру.

Класифікатор випадкового лісу є популярним вибором для класифікації тексту, оскільки він добре обробляє великі обсяги текстових даних і може обробляти складні зв'язки між словами в тексті та категоріями, до яких вони належать. Одна з головних переваг цього класифікатора полягає в тому, що він здатний уникнути перенавчання, коли модель є надто складною та надто точно відповідає навчальним даним, що призводить до низької продуктивності нових даних.

У даному дослідженні використовували такі комбіновані ансамблеві методи:

1. наївний байєсівський класифікатор + KNN + логістична регресія;
2. класифікатор KNN + пасивно-агресивний класифікатор;
3. лінійний класифікатор опорних векторів + пасивно-агресивний класифікатор + логістична регресія.

Ці комбінації вибиралися за різними, але не жорсткими принципами. Найпопулярнішими серед обраних алгоритмів є Naive Bayes, KNN та логістична регресія, тому було цікаво перевірити їх ефективність відносно один одного. SVM, пасивно-агресивний класифікатор (PA) і логістична регресія (LR) продемонстрували найкращі результати в попередніх тестах на доступних наборах даних.

Результати дослідження

У Python навчання класифікатора включає декілька кроків. По-перше, ми імпортуємо необхідні бібліотеки, такі як `scikit-learn`, яка надає широкий спектр алгоритмів машинного навчання. Потім ми готуємо дані, розділяючи їх на навчальні та тестові набори за допомогою таких функцій, як `train_test_split()`. Далі ми ініціалізуємо наш класифікатор і «підганяємо» його до навчальних даних за допомогою методу `fit()`. Під час цього процесу класифікатор вивчає закономірності та зв'язки в даних. Після навчання ми оцінюємо продуктивність класифікатора на основі даних тестування, використовуючи такі показники, як точність, точність, запам'ятовування або оцінка F1. Нарешті, ми точно налаштуємо гіперпараметри моделі за допомогою таких методів, як пошук у сітці або перевершена перевірка, щоб оптимізувати її продуктивність.

Векторизація класифікатора передбачає перетворення необроблених текстових даних у числові характеристики, які можуть використовуватися алгоритмами машинного навчання. Зазвичай це робиться за допомогою таких методів, як `CountVectorizer` або `TF-IDFVectorizer` з бібліотеки `scikit-learn` для векторизації текстових даних:

```
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer
corpus = ["This is the first document.", "This document is the second document.", "And this is the third one.", "Is this the first document?"]
vectorizer = TfidfVectorizer()
X = vectorizer.fit_transform(corpus)
```

Навчання класифікатора виконується циклами, окремо для кожного класифікатора/комбінації, окремо для кожного набору даних і окремо за допомогою векторизаторів. Після навчання класифікаторів проводиться їх тестування на прикладах кожної текстової категорії. Класифікатори повинні давати ймовірність того, що текст належить або не належить до обраної категорії. Для цього використовується функція `scikit-learn predict()` і `predict_proba()`. Метод `predict` визначає клас даних, а метод `predict_proba` визначає ймовірність того, що дані належать до певного класу для кожного з них, і повертає масив цих значень.

Для векторизації TF-IDF класифікатор опорних векторів SVM виділяється найвищою середньою точністю 95,74%. Це вказує на те, що SVM досяг найвищої частки правильних прогнозів порівняно з іншими класифікаторами під час навчання на даних, перетворених TF-IDF. Крім того, класифікатор SVM також досяг найвищого середнього правильного прогнозу 4,67, що свідчить про його надійність у точній категоризації текстових даних новин. З іншого боку, при використанні векторизації хешування класифікатор SVM зберіг свою продуктивність, досягнувши найвищої середньої точності 97,26% і найвищого середнього правильного передбачення 4,67. Результати демонструють ефективність SVM у обробці простору ознак великої розмірності, створеного методом векторизації хешування.

Крім того, ансамблеві методи, зокрема Voting Ensemble 3 (SVM + PA + LR), показали високу продуктивність, особливо з векторизацією хешування. Цей ансамбль досяг середньої точності 96,93% і середнього правильного прогнозу 4,67, ще більше підкреслюючи переваги поєднання кількох стратегій класифікатора для підвищення точності та правильності класифікації (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння результатів класифікації

Класифікатор	Середня точність	Середня кількість вдалих передбачень
Наївний Баєсів (NB)	93.23%	4
Пасивно-агресивний (PA)	94.8%	4.67
Метод опорних векторів (SVM)	95.58%	4.67
Логістична регресія (LR)	94.27%	4.5
k-найближчих сусідів (KNN)	90.79%	4.83
Випадкового лісу (FOREST)	86.74%	4
NB + KNN + LR	94.54%	4.33
KNN + PA	78.72%	4
SVM + PA + LR	94.98%	4.83

Висновки та перспективи подальших досліджень

У статті розглянуто використання ансамблевих методів класифікації неправдивих текстів для підвищення точності прогнозування та оцінено різні моделі класифікації тексту за допомогою окремих наборів даних. Оцінено наївний байєсівський, пасивно-агресивний класифікатори, метод опорних векторів, логістичну регресію, метод k-найближчих сусідів та класифікатори випадкового лісу. Для подальших досліджень можна розширити аналіз застосування ансамблевих методів класифікації на різноманітніші типи даних та ситуації, що можуть виникнути у контексті виявлення неправдивих текстів. Також можна дослідити вплив використання різних комбінацій класифікаторів та алгоритмів на точність та надійність прогнозування, а також ефективність цих методів у різних областях, таких як соціальні мережі, новинні портали чи форуми. Такі дослідження можуть принести нові важливі відомості про те, як оптимізувати використання ансамблевих методів для боротьби з поширенням неправдивої інформації в мережі Інтернет.

Список використаної літератури

1. Vasu Agarwal, H. Parveen Sultana, Srijan Malhotra, Amitrajit Sarkar (2019). Analysis of classifiers for fake news detection, *Procedia Comput. Sci.*, 165 (2019), pp. 377–383, DOI: 10.1016/j.procs.2020.01.035.
2. Chary Deekshith P., Singh R.P. (2020). Review on Advanced Machine Learning Model: Scikit-Learn (July 4, 2020), *International Journal of Scientific Research and Engineering Development (IJSRED)* Vol. 3, Issue 4, 526–529.
3. Dietterich T.G. (2000). Ensemble Methods in Machine Learning. In: *Multiple Classifier Systems. MCS 2000. Lecture Notes in Computer Science*, vol 1857. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-45014-9_1.
4. Urszula Krzeszewska, Aneta Poniszewska-Maranda, Joanna Ochelska-Mierzejewska (2022). Systematic Comparison of Vectorization Methods in Classification Context. *Applied Sciences*. 12. 5119. DOI: 10.3390/app12105119.
5. Shu K., Sliva A., Wang S., Tang J., & Liu H. (2017). Fake News Detection on Social Media: A Data Mining Perspective. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 19(1), 22–36. DOI: 10.1145/3137597.3137600.
6. Wang W., Cui P., Zhu W., & Yang S. (2018). Fake News Detection with Deep Diffusive Neural Network. *Proceedings of the 2018 World Wide Web Conference on World Wide Web* (pp. 797–806).
7. Rubin V. L., Conroy N. J., & Chen Y. (2015). Fake News or Truth? Using Satirical Cues to Detect Potentially Misleading News. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 52(1), 1–4. DOI: 10.18653/v1/W16-0802.
8. Reis J. C., Correia A., Murai F., Veloso A., Benevenuto F., & Cambria E. (2019). Supervised Learning for Fake News Detection. *IEEE Intelligent Systems*, 34(2), 76–81. DOI: 10.1109/MIS.2019.2899143.

М. В. ОНАЙ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-4938-8355

Д. Т. ГУЛЬКО

аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0008-6810-737X

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ДИСКРЕТНОГО ЛОГАРИФМУВАННЯ НА ЕЛІПТИЧНІЙ КРИВІЙ

У цій роботі проведено аналіз та класифікацію методів розв'язання задачі дискретного логарифмування у мультиплікативних та адитивних групах, а також обґрунтовано актуальність такого аналізу. Особливий акцент зроблено на розв'язанні цієї задачі на еліптичних кривих над скінченними полями. Робота спрямована на підвищення стійкості криптографічних систем шляхом аналізу та класифікації існуючих методів вирішення задачі дискретного логарифмування.

У статті розглянуто такі методи: метод перебору, метод Поліга-Геллмана, метод Деніела Шенкса та його модифікації, а саме метод Кензуру та метод "Two Grumpy Giants and a Baby". Окрім того, у роботі розглянуто p -метод Полларда та його модифікацію, що передбачає розпаралелення на декілька потоків виконання, а також метод Лас-Вегаса – сучасний метод, що використовує матричні обчислення для розв'язання задачі дискретного логарифмування.

Ключовим аспектом цієї статті є комплексний порівняльний аналіз методів дискретного логарифмування, результати аналізу наведено у відповідних таблицях, де подана їх часова та просторова складність, а також низка інших показників. Проведений аналіз надає інформацію про ефективність, безпеку та практичність кожного методу, закладає основу для подальших досліджень, а також дозволяє будувати більш стійкі криптосистеми.

Визначено, що p -метод Полларда має найкращий баланс між швидкодією та пам'яттю, що використовується, тому висунуто гіпотези щодо його покращення. Перша гіпотеза полягає у тому, що при перевірці на існування колізії на кожній ітерації алгоритму, що реалізує цей метод, доцільно порівнювати не точки, а їх класи еквівалентності. Друга гіпотеза покращення полягає у скороченні інтервалу, в якому знаходиться колізія. Іншим перспективним методом вирішення задачі дискретного логарифмування є метод Лас-Вегаса, що має високу швидкодію, проте цей метод не гарантує рішення і має високу просторову складність.

Ключові слова: проблема дискретного логарифмування, криптографія, криптостійкість, еліптична крива, метод Шенкса, p -метод Полларда, метод Поліга-Геллмана, метод Лас-Вегаса, скінченні поля, поля Галуа.

M. V. ONAI

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Computer Systems Software
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-4938-8355

D. T. HULKO

Postgraduate Student at the Department of Computer Systems Software
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0009-0008-6810-737X

CLASSIFICATION OF METHODS FOR SOLVING THE ELLIPTIC CURVE DISCRETE LOGARITHM PROBLEM

In this work, the analysis and classification of methods for solving the discrete logarithm problem in multiplicative and additive groups is carried out, as well as the relevance of such an analysis is substantiated. Special emphasis is placed

on solving this problem on elliptic curves over finite fields. The work is aimed at increasing the stability of cryptographic systems by analyzing and classifying existing methods for solving the discrete logarithm problem.

The following methods are considered in the article: the brute force method, the Pohlig-Hellman method, the Daniel Shanks method and its modifications, namely the Kangaroo method and the "Two Grumpy Giants and a Baby" method. In addition, the work considers Pollard's rho method and its modification, which involves parallelization in several execution threads, as well as the Las Vegas method – a modern method that uses matrix calculations to solve a discrete logarithm problem.

The key aspect of this article is a comprehensive comparative analysis of discrete logarithm methods, the results of the analysis are given in the corresponding tables, where their temporal and spatial complexity, as well as a number of other indicators, are presented. The conducted analysis provides information on the effectiveness, security and practicality of each method, lays the foundation for further research, and also allows building more stable cryptosystems.

Pollard's rho algorithm was found to have the best balance between speed and memory usage, and hypotheses were put forward to improve it. The first hypothesis is that when checking for the existence of a collision at each iteration of the algorithm, it is advisable to compare not the points, but their equivalence classes. The second hypothesis of improvement consists in shortening the interval in which the collision occurs. Another promising method for solving the discrete logarithm problem is the Las Vegas method, which has high performance, but this method does not guarantee a solution and has high spatial complexity.

Key words: discrete logarithm problem, cryptography, crypto resistance, elliptic curve, Shanks' method, Pollard's rho method, Pohlig-Hellman method, Las Vegas method, finite fields, Galois fields.

Постановка проблеми

У сучасному світі, де цифрові технології стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, захист конфіденційності даних та боротьба з кіберзагрозами стали важливими завданнями. В цьому контексті, дослідження у галузі криптографії набувають особливого значення, оскільки вони визначають принципи та методи захисту цифрових інформаційних потоків.

Перш за все, криптографія відіграє ключову роль у забезпеченні конфіденційності даних. Ця наука дозволяє створювати та використовувати алгоритми шифрування, які забезпечують захист інформації під час передачі даних через мережі або зберігання в базах даних. Розвиток нових криптографічних методів є необхідним для забезпечення безпеки особистих даних, фінансових транзакцій та конфіденційної інформації.

Дослідження в галузі криптографії сприяють інноваціям та технологічному прогресу. Нові алгоритми та методи захисту від нових загроз розвиваються завдяки постійним дослідженням. Це сприяє появі нових технологій, які забезпечують безпеку в мережах, фінансових транзакціях та багатьох інших аспектах цифрової економіки.

Окрім того, для боротьби з кіберзлочинністю актуальним є як розроблення криптографічних алгоритмів та методів шифрування, так і постійний пошук вразливостей уже існуючих криптографічних систем та підходів, що дозволяє будувати нові системи з підвищеним рівнем захисту інформації від несанкціонованого доступу.

Розрізняють симетричне та асиметричне шифрування. Криптографічна стійкість протоколів асиметричного шифрування ґрунтується на використанні односторонньої функції. Однією з таких функцій є піднесення до степеня за модулем. Відповідно криптографічна стійкість таких систем залежить від складності задачі дискретного логарифмування.

Задача дискретного логарифмування полягає у знаходженні степеня, до якого потрібно піднести генератор циклічної скінченної групи, щоб отримати заданий елемент цієї групи. Ця група може бути як мультиплікативною, як запропоновано початково, так і адитивною. Так, наприклад, Кобліц [1] та Міллер [2] запропонували розглядати еліптичну криву у контексті цієї задачі, так як скалярне множення точки еліптичної кривої є піднесенням до степеня у адитивній групі. Іншими словами, задача дискретного логарифмування на еліптичній кривій полягає у тому, щоб визначити, скільки разів необхідно додати одну точку кривої саму до себе, щоб отримати іншу задану точку цієї ж кривої. Ця задача є важко вирішуваною, завдяки чому така криптографічна система є безпечною та використовується у різноманітних комунікативних протоколах (SSL/TLS, SSH, IPsec, тощо), блокчейні та криптовалютах, мобільних пристроях, IoT (Internet of things), тощо.

Проте існує ряд методів для вирішення задачі дискретного логарифмування, і нові методи продовжують досліджувати зараз. Ця проблема є актуальною, адже ці методи становлять загрозу для сучасних криптографічних систем, а їх оцінка та аналіз допомагають покращувати безпеку даних та уникати знайдених вразливостей, що використовуються у цих методах та алгоритмах.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є аналіз та класифікація методів дискретного логарифмування у мультиплікативних та адитивних групах, що дозволить побудувати більш стійкі до атак криптографічні системи.

Постановка задачі дискретного логарифмування

Сформулюємо проблему дискретного логарифму для еліптичної кривої математично. Нехай $E(\mathbb{F}_q)$ є еліптичною кривою, де $q = p^n$, p – це просте число, $n \in \mathbb{N}$. Очевидно, що абелева група $E(\mathbb{F}_q)$ не є обов'язково циклічною, проте вона має циклічну підгрупу достатньо «великого» порядку N . Надалі

будемо використовувати позначення $E(\mathbb{F}_q)$ як позначення цієї циклічної підгрупи. Нехай $P, Q \in E(\mathbb{F}_q)$, – точки на еліптичній кривій, такі що $kP = Q$. Задача дискретного логарифмування полягає у знаходженні скаляра k , що задовольняє цю рівність.

Задача дискретного логарифмування, на якій будується сучасна асиметрична криптографія, не має ефективного рішення. Це означає, що обчислювальної потужності сучасних комп'ютерних систем не вистачить для швидкого вирішення такої задачі.

Метод перебору

Перебір усіх можливих результатів додавання точки P самої до себе дозволяє обчислити дискретний логарифм за скінченний час. Проте такий підхід, очевидно, займе у найгіршому випадку N операцій, а складність такого алгоритму є $O(N)$. Зазвичай лінійна складність алгоритму не є високою, проте у контексті дискретного логарифмування в криптографії, значення N є настільки великим, що обчислення дискретного логарифму сучасними комп'ютерними системами може тривати роками. Мета вдосконалення будь-якого алгоритму вирішення задачі дискретного логарифмування полягає у покращенні часу виконання та затрат на використання пам'яті [3].

Метод Поліга-Геллмана

Метод Поліга-Геллмана є ефективним для груп з порядком, що є гладким числом, тобто таким, що не має великих простих дільників. Цей метод реалізується рекурсивним алгоритмом, що спрощує задачу шляхом обчислення дискретного логарифму у підгрупах простого порядку. Так, дискретний логарифм у кожній підгрупі може бути обчислений іншими методами, наприклад, методом Полларда.

Таким чином, основна ідея методу Поліга-Геллмана полягає у спрощенні початкової задачі. Проте, для ефективного спрощення, як було сказано вище, необхідно, щоб порядок групи у задачі дискретного логарифмування, був гладким числом. При цьому вводиться додатковий параметр яким задається максимальне граничне значення простого множника, що отримується внаслідок факторизації порядку групи [4].

Нехай порядок групи може бути представлений як добуток:

$$N = \prod_{i=1}^r p_i^{c_i}, p_1 < p_2 < \dots < p_r.$$

Для того щоб знайти рішення задачі дискретного логарифмування, тобто скаляр k , побудуємо систему рівнянь $k_i = k \pmod{p_i^{c_i}}$ для всіх $1 \leq i \leq r$. Тут k_i є частковим рішенням задачі дискретного логарифмування. Ця система рівнянь може бути розв'язана, згідно Китайської теореми про остачі, якщо відомі часткові рішення k_i . Для того, щоб їх знайти необхідно обчислити C_i дискретних логарифмів у підгрупі $\langle P \rangle$ порядку p_i для кожного часткового рішення k_i .

Для пошуку часткових рішень представимо кожне k_i у системі числення за основою p_i , так що $k_i = z_0 + z_1 p_i + z_2 p_i^2 + \dots + z_{c_i} p_i^{c_i-1}$, і вирахуємо кожну цифру z_j послідовно. Визначимо початкові точки $P_0 = \frac{N}{p_i} P$ та $Q_0 = \frac{N}{p_i} Q$. Зрозуміло, що P_0 має порядок p_i , так як $p_i P_0 = p_i \frac{N}{p_i} P = NP$ тоді:

$$Q_0 = \frac{N}{p_i} Q = \frac{N}{p_i} (kP) = kP_0 = z_0 P_0.$$

Для знаходження першої цифри z_0 необхідно вирішити задачу дискретного логарифмування для групи $\langle P_0 \rangle$. Після цього обчислюється $Q_1 = \frac{N}{p_i^2} (Q - z_0 P) = z_1 P_0$, і так далі. Загалом, якщо відомі цифри z_0, z_1, \dots, z_{t-1} , то для знаходження наступної цифри z_t необхідно вирішити задачу дискретного логарифмування $Q_t = z_t P_0$, де

$$Q_t = \frac{N}{p_i^{t+1}} \left(Q - \sum_{j=0}^{t-1} z_j p_i^j P \right).$$

Таким чином, задача дискретного логарифмування суттєво спрощується. Складність цього алгоритму можна визначити як $O(\sqrt{N})$ операцій групи у найгіршому випадку, проте, якщо порядок групи є гладким, то складність стає $O(\sum_i c_i (\log N + \sqrt{p_i}))$ при умові, що для пошуку часткових рішень використовується алгоритм зі складністю $O(\sqrt{p_i^{c_i}})$ операцій групи.

Для захисту від атаки Поліга-Геллмана рекомендується мати розмір групи кратний певному великому простому числу. Таким чином факторизація порядку групи не дасть особливого пришвидшення алгоритму.

Метод Шенкса та його модифікації

Метод Шенкса ще називають Baby step-Giant step (Маленький крок-Великий крок), як його назвав Деніел Шенкс [5]. Алгоритм, що реалізує цей метод може бути виконаний за детермінований час $O(\sqrt{N})$ операцій групи [6]. Також цей алгоритм вимагає збереження \sqrt{N} елементів групи.

Перш ніж розглянути алгоритм Шенкса, варто зауважити, що шуканий скалярний множник k міститься у інтервалі $[1, N]$, і, як наслідок, k може бути представлений як декомпозиція $k = mq - r$, де $m = \lceil \sqrt{N} \rceil$, $0 \leq r < m$ та $0 \leq q \leq m$.

Для знаходження k ми створюємо набір «маленьких кроків» $\{iP\}, 0 \leq i \leq m$. Маючи цей набір, починаємо обчислювати точки, роблячи «великий крок» $Q - jmP, 0 \leq j \leq m - 1$, поки не знайдемо співпадіння з набором «маленьких кроків». Якщо знайдено співпадіння $iP = Q - jmP$, то, враховуючи, що $kP = Q$, можемо обчислити:

$$k \equiv i + jm \pmod{N}.$$

Якщо співпадіння не знайдено, то можна стверджувати, що не існує такого k , щоб задовільнити вхідні умови.

Цей алгоритм за найгіршого сценарію матиме швидкість виконання $2\sqrt{N}$ операцій групи, проте Поллард довів, що можливо покращити цю швидкість до $1.33\sqrt{N}$ операцій групи для довільних груп [7]. Це покращення називається методом Кенгуру. На відміну від методу Шенкса, Поллард пропонує одній сутності (кенгуру) робити один або декілька кроків випадкової довжини за одну ітерацію, а іншій (валлабі) робити лише один крок за ту ж ітерацію. Після кожного кроку робиться перевірка, чи не співпадають точки, на яких знаходяться обидві сутності. Якщо знайдена колізія, то можна обчислити дискретний логарифм.

Інше покращення базового алгоритму запропоновано Бернштейном та Ланге [8] під назвою Two Grumpy Giants and a Baby. Це покращення ставить за мету зменшити використання пам'яті базовим алгоритмом, при незмінній швидкості. Авторами цього методу вводяться три сутності, що обходять криву, починаючи з різних точок та з різним кроком. Так, якщо n_0 є певним маленьким цілим числом, а $M \approx 0.5\sqrt{N}$, то перша сутність робить кроки довжиною n_0P починаючи з точки P , наступна сутність робить кроки довжиною $P' = MP$ починаючи з точки Q , а остання сутність робить крок довжиною $P'' = -(M + 1)P$, починаючи з точки $2Q$. На відміну від оригінального методу Шенкса, у цій модифікації пропонується виконувати всі три кроки паралельно, зберігаючи проміжні результати у відповідний список та на кожній ітерації шукаючи співпадіння у цих списках. Варто зазначити, що чіткої оцінки швидкодії цього методу немає.

ρ -метод Полларда та його модифікації

Складність ρ -методу Полларда така сама, як і у методу Шенкса – $O(\sqrt{N})$ – проте він використовує сталий обсяг пам'яті $O(1)$, що робить його набагато ефективнішим з точки зору пам'яті, що використовується [9]. Так, наприклад, майже всі найбільші досягнення у вирішенні задачі дискретного логарифмування, що були зроблені та опубліковані компанією Certicom, були вирішені саме цим методом або його модифікаціями [10].

Перший крок алгоритму, що реалізує ρ -метод Полларда, полягає у розбитті еліптичної кривої на її попарно неперетинні підмножини F_1, F_2, \dots, F_s , такі що $F_1 \cup F_2 \cup \dots \cup F_s = E(\mathbb{F}_q)$. Ці підмножини обираються випадковим чином, але вони мають бути приблизно однакового розміру. Рекомендована кількість підмножин S має бути приблизно рівною 20 [11]. На наступному кроці необхідно визначити гомоморфізм $f: E(\mathbb{F}_q) \rightarrow E(\mathbb{F}_q)$ як кусково-задану функцію $f(V) = V + a_iP + b_iQ$, де $V \in F_i$, а пари чисел a_i та b_i вибираються випадковим чином, так що $1 \leq a_i, b_i \leq N$. Далі необхідно випадковим чином вибрати початкову точку $P_0 = a_0P + b_0Q$, та почати обчислення

$$P_{i+1} = f(P_i).$$

Варто звернути увагу, що для кожної точки підтримується виконання рівності $P_i = u_iP + v_iQ$. У пам'яті необхідно зберігати триплет (P_i, u_i, v_i) . Цей ітераційний процес проводиться для того, щоб знайти колізію, тобто співпадіння $P_i = P_j$, з якого можемо обчислити значення k :

$$k \equiv (v_j - v_i)^{-1}(u_i - u_j) \pmod{\frac{N}{\gcd(N, v_j - v_i)}}.$$

Якщо зберігати кожен триплет у пам'яті, то використаний простір буде розширено до $O(\sqrt{N})$, тому пропонується розглянути метод одного триплету [12]. Початково у пам'яті зберігається триплет (P_0, u_0, v_0) . Нехай на певній ітерації збережено триплет (P_i, u_i, v_i) , тоді ми обчислюємо та порівнюємо з ним кожен триплет від $(P_{i+1}, u_{i+1}, v_{i+1})$ до $(P_{2i-1}, u_{2i-1}, v_{2i-1})$. Якщо знайдено співпадіння, то зупиняємо ітераційний процес. Якщо співпадіння не знайдено, то обчислюється та зберігається у пам'ять триплет (P_{2i}, u_{2i}, v_{2i}) для подальших ітерацій.

Необхідно зазначити, що цей метод засновано на теорії випадкових процесів, він належить до групи методів Монте-Карло. Поллард стверджує, що цей метод завжди знаходить співпадіння, так як ми обчислюємо нескінченну послідовність з P_i , що є елементами скінченної групи. Потрібно лише $O(\sqrt{N})$ елементів цієї послідовності, щоб ймовірність знайти співпадіння була більше за 0.5. Математично можна довести, що існує число $i \leq 3\sqrt{N}$, для якого $P_i = P_{2i}$ [3]. Саме цим і визначається час виконання алгоритму для найгіршого випадку.

Модифікацією цього методу є підхід, що полягає у паралелізації процесу пошуку колізії та виконання ітераційного процесу одразу для декількох початкових точок. Нехай існують M потоків виконання, що незалежно

обирають початкову точку, P_0^i , де i – це номер потоку. Всі потоки використовують спільну функцію f обходу послідовності. Тоді якщо всі M потоків виконання будуть незалежними, то хоча б один з них знайде рішення приблизно за $3\sqrt{\frac{N}{M}}$ операцій групи. Проте якщо кожен потік виконання відправлятиме знайдені точки на спільний сервер для збереження та пошуку колізії, то очікувана кількість операцій групи на один потік виконання може бути оцінена як $\frac{1}{M}\sqrt{\frac{N}{2}}$. Якщо відправляти на сервер всі знайдені точки, то затрати пам'яті будуть надзвичайно великими, тому натомість пропонується зберігати лише точки з певною специфічною властивістю. Специфічною точкою може вважатись за умови, наприклад, що перші t бітів її x -координати дорівнюють нулю. Якщо частка специфічних точок у $\langle P \rangle$ дорівнює θ , то наступна специфічна точка після попередньої очікується за $\frac{1}{\theta}$ ітерацій. Таким чином, очікувана кількість операцій групи для знаходження колізії специфічних точок кожним незалежним потоком виконання є $\frac{1}{M}\sqrt{\frac{N}{2}} + \frac{1}{\theta}$.

У випадку використання паралельного методу Полларда необхідно враховувати апаратне та програмне забезпечення, за допомогою якого проводиться виконання алгоритму. Залежно від нього потрібно знайти баланс між покращенням швидкодії та пам'яттю, що використовується.

Метод Лас-Вегаса

Окрім методів, що виконують пошук циклу у послідовності, існують методи, що базуються на матричному підході. Так, наприклад, один з найновіших підходів для вирішення задачі дискретного логарифмування є метод Лас-Вегаса [13]. Цей метод зводить задачу дискретного логарифмування до «проблеми L», тобто до задачі лінійної алгебри. Згідно цього методу необхідно побудувати матрицю M та обчислити її ліве ядро K . Матриця M складається з m рядків, де $m = 3n'$, та n' визначається плоскою проєктивною кривою $C = \sum_{u+v+w=n'} a_{u,v,w} x^u y^v z^w$, де $a_{u,v,w} \in \mathbb{F}_q$. Структура $x^u y^v z^w$ охоплює всі можливі одночлени степеня n' , які, у свою чергу, є упорядкованими, що є важливим у подальшій побудові матриці M . Далі пропонується обирати випадкові незалежні цілі числа n_i , такі що $1 \leq n_i \leq N$. За допомогою них необхідно обчислити точки на еліптичній кривій $P_i = n_i P$. Матриця M будується шляхом додавання рядків до неї, відповідно до кожної точки $P_i = (x_i; y_i; z_i)$. У кожному рядку $(x_i; y_i; z_i)$ замінюється на відповідні x , y та z кривої C . Тепер необхідно знайти ліве ядро K матриці M . Якщо ж поглянути на праве ядро, то його елементи породжують криву C , тому вона очевидно проходить через всі точки P_i , з яких матриця M була побудована.

Якщо отримане ліве ядро K не є нульовим, кожен ненульовий вектор в K відповідає плоскій проєктивній кривій C степеня n' над полем \mathbb{F}_q . При чому ця крива не містить в собі криву $E(\mathbb{F}_q)$ та перетинає її у $3n'$ точок по одному разу. Ця кількість визначається теоремою Безу.

Введемо ще декілька позначень: l позначає кількість додаткових точок, які не входять у m точок перетину кривих. Введення таких додаткових точок дозволяє перевіряти одночасно до $\binom{m+l}{l}$ варіантів різних кривих C представлених групою точок перетину розміру m . Стверджується, що $l = m$ є найбільш оптимальним значенням для кількості додаткових точок. Якщо порядок N еліптичної кривої $E(\mathbb{F}_q)$ є простим числом, то найбільш ефективні значення цих чисел будуть $l = m = \log_2 N$.

Наступними обираються додатні цілі числа s та t , такі що $s \neq t$, але $s + t = m + l$. Ці числа використовуються для побудови набору точок $P_i = n_i P$, $i = 1, 2, \dots, s$, та $Q_j = -n_j Q$, $j = 1, 2, \dots, t$, з яких будується матриця M . За таких умов ліве ядро K буде мати розмірність l , і якщо існує вектор v в K з хоча б l нулів, то існує крива C , що проходить через $3n'$ точок, що відповідають ненульовим точкам вектора v . Пошук цього вектора називається «проблемою L».

Якщо порядок N еліптичної кривої $E(\mathbb{F}_q)$ є простим числом та прямує до нескінченності, то метод Лас-Вегаса для спрощення задачі дискретного логарифмування до задачі лінійної алгебри (проблеми L) має ймовірність успіху приблизно $1 - \frac{1}{e} \approx 0.6321$. Розмірність же матриці, що необхідна для досягнення такої ймовірності, дорівнює $O(\log N)$. Часова складність цього методу також може бути оцінена як $O(\log N)$.

Щодо подальшого розв'язку задачі, то вирішення проблеми L буде вирішенням задачі дискретного логарифмування. У перших роботах авторами методу пропонувався використання методу Гауса та доповнення Шура [14], проте у новіших роботах пропонується покращення шляхом використання методу початкових мінорів [15].

Порівняння методів

Порівнюючи методи варто зазначити, що для вибору найкращого методу, потрібно враховувати багато факторів, серед яких: потужність апаратного забезпечення, розмір вхідних даних, оптимізація програмного забезпечення, обмеження у часових та просторових параметрах тощо. У таблиці 1 наведено порівняльну характеристику описаних методів, де складність методів представлена у вигляді константи C , такої що алгоритм, який реалізує відповідний метод, виконується за $(c + o(1))$ операцій групи.

Таблиця 1

Порівняння складності методів

Метод	Середньостатистичний випадок	Найгірший випадок
Метод Поліга-Геллмана	$O\left(\sum_i^r c_i(\log N + \sqrt{p_i})\right)$	$2\sqrt{N}$
Метод Шенкса	$1.5\sqrt{N}$	$2\sqrt{N}$
Метод Кенгуру	$1.33\sqrt{N}$	$2\sqrt{N}$
Метод Two Grumpy Giants and a Baby	$1.25\sqrt{N}$	$2\sqrt{N}$
ρ -метод Полларда	$1.253\sqrt{N}$	До $3\sqrt{N}$
Паралельний ρ -метод Полларда у M потоках виконання	$\frac{1.253}{M}\sqrt{N}$	До $3\sqrt{N}$
Метод Лас-Вегаса	$6\log N$	∞

Як можна бачити з таблиці 1, найбільш перспективним з точки зору швидкодії є метод Лас-Вегаса, а наступним є ρ -метод Полларда. Метод Two Grumpy Giants and a Baby також має високу швидкість, проте її значення підтверджено евристично, а не теоретично.

Складність виконання методу не може бути єдиною його характеристикою. У таблиці 2 наведена порівняльна характеристика методів за іншими показниками.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика методів

Метод	Просторова складність	Підхід	Гарантія вирішення задачі	Універсальність
Метод Поліга-Геллмана	$O(\log N)$	Факторизація	Так	Для груп із «гладким» порядком
Метод Шенкса	$O(\sqrt{N})$	Пошук колізії	Так	Для всіх груп
Метод Кенгуру	$O(1)$	Пошук колізії	Так	Для всіх груп
Метод Two Grumpy Giants and a Baby	$O(\sqrt{N})$	Пошук колізії	Так	Для всіх груп
ρ -метод Полларда	$O(1)$	Пошук колізії	Так	Для всіх груп
Паралельний ρ -метод Полларда	$O(\sqrt{N})$	Пошук колізії	Так	Для всіх груп
Метод Лас-Вегаса	$O(\log N)$	Матричний підхід	Ні	Для еліптичних кривих над полем $GF(p^m)$

Слід зазначити, що метод Поліга-Геллмана та метод Лас-Вегаса не є методами вирішення задачі дискретного логарифмування, проте вони дозволяють її спростити. При цьому метод Поліга-Геллмана спрощує задачу до самої себе, у той час, коли метод Лас-Вегаса спрощує її до задачі лінійної алгебри.

Головним недоліком методу Лас-Вегаса є відсутність гарантії вирішення задачі.

Метод Полларда є універсальним, гарантує вирішення задачі та має сталі затрати на обсяг пам'яті, що використовується, тому є найбільш ефективним, враховуючи його швидкість. Можна висунути наступну гіпотезу щодо його покращення: доцільно при перевірці на існування колізії порівнювати не точки, а їх класи еквівалентності. Класи еквівалентності пропонується визначати наступним чином: $P \sim P'$ якщо $P' \in \{P, -P\}$. Кількість елементів в одному класі еквівалентності дорівнює $2t + 2$, якщо t – кількість перетинів еліптичною кривою осі абсцис.

Окрім того, варто зазначити, що в основі методу Полларда лежить алгоритм Флойда знаходження циклу в послідовності. Згідно теореми, яку запропонував Флойд якщо у послідовності є цикл, то існує певне число m , для якого справедливо $x_m = x_{2m}$, при чому найменше значення m знаходиться в інтервалі, $T \leq m \leq T + M$, де M – довжина циклу, а T – індекс першого елементу цього циклу. За іншою теоремою, відомо, що для перемішаної випадковим чином послідовності буде справедливою рівність

$T + M \approx \sqrt{\frac{N\pi}{2}} \approx 1.25\sqrt{N}$. На даний момент способа для знаходження нижньої границі цього інтервалу немає, тому це є актуальною задачею.

Висновки

Розглянуто методи для вирішення задачі дискретного логарифмування, що в середньому мають складність виконання $O(\sqrt{N})$. Так як ρ -метод Полларда використовує набагато менший обсяг пам'яті з приблизно схожою складністю виконання, порівняно з методом Шенкса, то пропонується проводити дослідження саме цього методу, приділивши також увагу новим, можливо, більш перспективним методам на основі матричного підходу. Запропоновано спосіб вдосконалення ρ -методу Полларда за рахунок спрощення процесу перевірки колізії шляхом введення класів еквівалентності. Окрім цього необхідно зосередити подальші дослідження на пошуку нижньої границі інтервалу, в якому може статись колізія. Якщо ця границя буде знайдена, можна буде пропустити перші T елементів послідовності, що зменшить час роботи алгоритму, який реалізує даний метод.

Список використаної літератури

1. Koblitz N. Elliptic curve cryptosystems. *Mathematics of Computation*. 1987. Vol. 19, No. 177, P. 203–209.
2. Miller V. Use of elliptic curves in cryptography. *Conference on the theory and application of cryptographic techniques*: Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, August. 1987. Berlin, 1987. P. 417–426.
3. McCurley K. S., The discrete logarithm problem. *In Proc. of Symp. in Applied Math*. 1990. Vol. 42, P. 49–74.
4. Weisstein E. W. Smooth Number. URL: <https://mathworld.wolfram.com/SmoothNumber.html>.
5. Shanks D. Class number, a theory of factorization and genera. *In Proceedings of symposia Math. Soc.* 1971. Vol. 20, P. 415–440.
6. Galbraith S. D., Wang P., Zhang F. Computing elliptic curve discrete logarithms with improved baby-step giant-step algorithm. *ePrint Archive*. 2015.
7. Pollard J. Kangaroos, Monopoly and discrete logarithms. *Journal of cryptology*. 2000. Vol. 13, No. 4, P. 437–447.
8. Daniel J. Bernstein et. al. On the Correct Use of the Negation Map in the Pollard rho Method. *In Public Key Cryptography 2011: 14th International Conference on Practice and Theory in Public Key Cryptography*, Taormina, Italy, March 6–9. 2011. Taormina, 2011. Proc. 14, P. 128–146.
9. Pollard, J. M. Monte Carlo methods for index computation (*mod* p). *Mathematics of computation*. 1978. Vol. 32, No. 143, P. 918–924.
10. Certicom Research, Certicom ECC Challenge. URL: <https://www.certicom.com/content/dam/certicom/images/pdfs/challenge-2009.pdf>
11. NKECK, J. L. The Discrete Logarithm Problem on Elliptic Curves Cryptography: Doctoral dissertation, Stellenbosch University, South Africa. 2014.
12. McConnachie, S. Pollard's rho-algorithm, and its applications to elliptic curve cryptography. 2007.
13. Abdullah, A., Mahalanobis, A., & Mallick, V. M. A new method for solving the elliptic curve discrete logarithm problem. *Journal of Groups, complexity, cryptology*. 2021. Vol. 12.
14. Mahalanobis, A., Mallick, V. M., & Abdullah, A. A Las Vegas algorithm to solve the elliptic curve discrete logarithm problem. *In Progress in Cryptology–INDOCRYPT 2018: 19th International Conference on Cryptology in India*, New Delhi, India, December 9–12. 2018. New Delhi, 2018. Proc. 19, P. 215–227.
15. Abdullah, A., Mahalanobis, A. Minors solve the elliptic curve discrete logarithm problem. *arXiv preprint arXiv:2310.04132*. 2023.

References

1. Koblitz, N. (1987). Elliptic curve cryptosystems. *Mathematics of computation*, vol. 48 no. 177, pp. 203–209.
2. Miller, V. S. (1985). Use of elliptic curves in cryptography. *In Conference on the theory and application of cryptographic techniques* (pp. 417–426). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
3. McCurley, K. S. (1990). The discrete logarithm problem. *In Proceedings of symposia in Applied Math* (Vol. 42, pp. 49–74).
4. Weisstein, E. W. (n.d.). Smooth Number. Wolfram MathWorld. Retrieved from <https://mathworld.wolfram.com/SmoothNumber.html>.
5. Shanks, D. (1971). Class number, a theory of factorization, and genera. *In Proceedings of symposia Math. Soc.*, 1971 (Vol. 20, pp. 415–440).
6. Galbraith, S. D., Wang, P., & Zhang, F. (2015). Computing elliptic curve discrete logarithms with improved baby-step giant-step algorithm. *Cryptology ePrint Archive*.
7. Pollard, J. M. (2000). Kangaroos, monopoly and discrete logarithms. *Journal of cryptology*, vol. 13, no. 4, pp. 437–447.
8. Bernstein, D. J., Lange, T., & Schwabe, P. (2011). On the correct use of the negation map in the Pollard rho method. *In Public Key Cryptography–PKC 2011: 14th International Conference on Practice and Theory in Public Key Cryptography*, Taormina, Italy, March 6–9, 2011. Proceedings 14 (pp. 128–146).

9. Pollard, J. M. (1978). Monte Carlo methods for index computation (*mod* p). *Mathematics of computation*, vol. 32, no. 143, pp. 918–924.
10. Certicom Research (2009). Certicom ECC Challenge. Retrieved from <https://www.certicom.com/content/dam/certicom/images/pdfs/challenge-2009.pdf>
11. NKECK, J. L. (2014). The Discrete Logarithm Problem on Elliptic Curves Cryptography (Doctoral dissertation, Stellenbosch University, South Africa).
12. McConnachie, S. (2007). Pollard's rho-algorithm, and its applications to elliptic curve cryptography.
13. Abdullah, A., Mahalanobis, A., & Mallick, V. M. (2021). A new method for solving the elliptic curve discrete logarithm problem. *In Journal of Groups, complexity, cryptology*, 12.
14. Mahalanobis, A., Mallick, V. M., & Abdullah, A. (2018). A Las Vegas algorithm to solve the elliptic curve discrete logarithm problem. *In Progress in Cryptology–INDOCRYPT 2018: 19th International Conference on Cryptology in India, New Delhi, India, December 9–12, 2018, Proceedings 19* (pp. 215–227).
15. Abdullah, A., & Mahalanobis, A. (2023). Minors solve the elliptic curve discrete logarithm problem. *arXiv preprint arXiv:2310.04132*.

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

М. В. РОМАНІВ

студент кафедри комп'ютерних систем і мереж
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ORCID: 0009-0005-4066-2898

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ ЗАСОБАМИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО МАСШТАБУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АРХІТЕКТУРИ CQRS

У сучасному світі, де швидкість, продуктивність та масштабованість є критичними факторами успіху, оптимізація роботи веб-застосунків є невід'ємною частиною процесу розробки. За допомогою горизонтального масштабування та архітектури CQRS (Command Query Responsibility Segregation), розробники можуть досягти значних покращень у продуктивності та ефективності своїх веб-застосунків.

Оптимізація роботи за критерієм максимальної продуктивності веб-застосунків вимагає пошуку інноваційних підходів, які дозволять забезпечити швидкий та ефективний доступ до даних, обробку великих обсягів даних інформації навіть при зростаючому навантаженні.

Горизонтальне масштабування веб-застосунків дозволяє розподілити навантаження між багатьма серверами, що дає змогу обробляти більшу кількість запитів паралельно та підтримувати стабільну продуктивність системи. Архітектура CQRS надає можливості розділити операції читання та запису, використовуючи оптимізовані шляхи оброблення для кожного типу операцій. Це знижує складність системи, полегшує розширення та підтримку, а також дозволяє використовувати різні технології та інструменти для операцій читання та запису.

Застосування горизонтального масштабування та архітектури CQRS є актуальними з точки зору розвитку сучасних веб-застосунків, які стикаються з викликами обробки великих обсягів даних, швидкими змінами вимог користувачів та необхідністю забезпечення високої доступності та продуктивності. Ці підходи дозволяють створити масштабовані, ефективні та легкозрозумілі системи, що задовольняють потреби сучасних веб-застосунків.

У даній роботі розглянуто актуальність оптимізації роботи веб-застосунків з використанням горизонтального масштабування та архітектури CQRS. Проведені дослідження основних компонентів архітектури CQRS, переваги та недоліки такого підходу, а також способи поєднання цих підходів для досягнення оптимальної продуктивності та масштабованості. Також будуть розглянуті ключові фактори успішної оптимізації та приклади реалізації цих підходів у практичних веб-проектах.

Ключові слова: масштабування, реплікація, веб-застосунок, CQRS, база даних.

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

M. V. ROMANIV

Student at the Department of Computer Systems and Networks
Ivano-Frankivsk Technical University of Oil and Gas
ORCID: 0009-0005-4066-2898

WEB APPLICATION PERFORMANCE OPTIMIZATION WITH CQRS AND HORIZONTAL SCALING

In today's world, where speed, performance, and scalability are critical success factors, web application performance optimization is an integral part of the development process. With horizontal scaling and the CQRS (Command Query Responsibility Segregation) architecture, developers can achieve significant improvements in the performance and efficiency of their web applications.

Optimizing work according to the criterion of maximum performance of web applications requires the search for innovative approaches that will allow to ensure fast and efficient access to data, processing of large volumes of data and information even with increasing load.

Horizontal scaling of web applications allows you to distribute the load among many servers, which allows you to process more requests in parallel and maintain stable system performance. The CQRS architecture provides the ability to separate read and write operations, using optimized processing paths for each type of operation. It reduces the complexity of the system, makes it easier to expand and maintain, and allows the use of different technologies and tools for read and write operations.

The application of horizontal scaling and CQRS architecture is relevant for the development point of view of modern web applications, which arise with the challenges of processing large volumes of data, rapid changes in user requirements, and ensuring high availability and performance. These approaches will make it possible to create scalable, efficient and easy-to-understand systems that meet the needs of modern web applications.

This work considers the relevance of web application optimization using horizontal scaling and CQRS architecture. The main components of the CQRS architecture, the advantages and disadvantages of such an approach, and how to combine these approaches to achieve optimal performance and scalability are explored. Key factors of successful optimization and examples of implementation of these approaches in practical web projects will also be considered.

Key words: scaling, replication, web-application, CQRS, database.

Постановка проблеми

Зі зростанням популярності веб-застосунку його підтримка неминуче починає вимагати все більших і більших ресурсів. Спочатку з навантаженням можна і, безсумнівно, потрібно боротися шляхом оптимізації алгоритмів та/або архітектури самого додатка.

За допомогою горизонтального масштабування та архітектури CQRS розробники можуть досягти значних покращень у продуктивності та масштабованості своїх веб-застосунків.

Перш за все, зростає попит на веб-застосунки з високою продуктивністю, які здатні обробляти великі обсяги даних та забезпечувати швидкий доступ для користувачів. Застосування горизонтального масштабування дає змогу розподіляти навантаження між багатьма серверами, що забезпечує паралельну обробку запитів та збільшує загальну продуктивність системи.

Архітектура CQRS надає можливість розділити операції читання (queries) та запису (commands), що дозволяє використовувати оптимізовані шляхи обробки для кожного типу операцій. Це знижує складність системи, полегшує розширення та підтримку, а також дозволяє використовувати різні технології та інструменти для операцій читання та запису.

Веб-інтерфейси API слугують основою сучасних веб-додатків, забезпечуючи взаємодію між різними програмними компонентами. Тому їхня продуктивність безпосередньо впливає на загальну продуктивність веб-додатків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [1] використана модель актора, event sourcing та CQRS для покращення масштабованості, продуктивності системи для маркетингових систем лояльності. Показано, що ця архітектура приносить приріст продуктивності.

Автори [2] розглядають застосування CQRS для побудови великого продукту. Виявлено та обговорено сім підшаблонів, пов'язаних з CQRS. Результати дослідження показують, що шаблон CQRS реалізований і як його різні підшаблони можуть призвести до високого рівня варіативності в програмному продукті та як різні підшаблони можуть взаємодіяти для досягнення цього.

У роботі [3] автори застосовують CQRS для роботи із денормалізованою базою даних у медичній інформаційній системі закладів первинної медичної допомоги.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є дослідження, виявлення, аналіз та впровадження оптимальних підходів до оптимізації роботи веб-застосунків з використанням горизонтального масштабування та архітектури CQRS. Дослідження спрямоване на пошук ефективних стратегій розподілу навантаження, покращення продуктивності, забезпечення масштабованості та зниження витрат на інфраструктуру веб-застосунків.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі завдання:

- 1 Дослідити принципи та переваги горизонтального масштабування в парі з архітектурою CQRS у контексті веб-застосунків;
- 2 Проаналізувати існуючі методи та стратегії горизонтального масштабування для веб-застосунків;
- 3 Дослідити практики та інструменти, які допомагають оптимізувати роботу веб-застосунків з використанням горизонтального масштабування та архітектури CQRS;
- 4 Впровадити архітектури CQRS у веб-застосунку та оцінити його вплив на продуктивність та масштабованість;
- 5 Експериментально порівняти різні підходи до оптимізації роботи веб-застосунків та провести оцінку їх ефективності.

Викладення основного матеріалу дослідження

CQRS – підхід проектування програмного забезпечення, при якому код, що змінює стан, відокремлюється від коду, що просто читає цей стан. Подібний поділ може бути логічним і ґрунтуватися на різних рівнях. Крім того, воно може бути фізичним і включати різні ланки (tiers) або рівні. [4]

Основна ідея цього принципу полягає в тому що архітектура застосунку ділиться на:

- queries: методи повертають результат, не змінюючи стан об'єкта. Інакше кажучи, у Query немає побічних ефектів;
- commands: методи змінюють стан об'єкта, не повертаючи значення.

Розглянемо різницю класичної CQRS структури на рисунках 1 та 2.

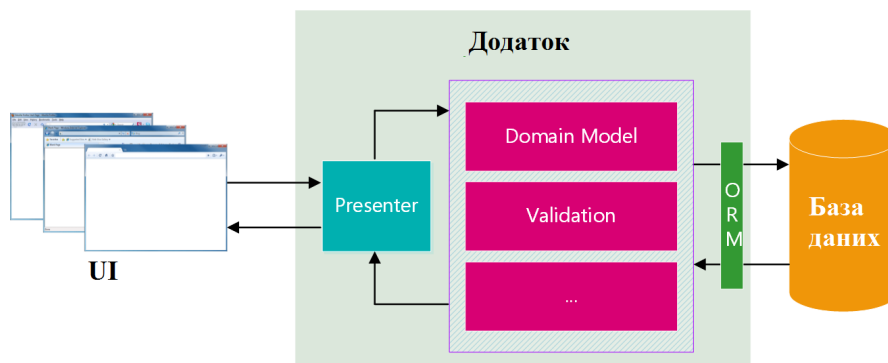


Рис. 1. Класична архітектура веб-застосунку

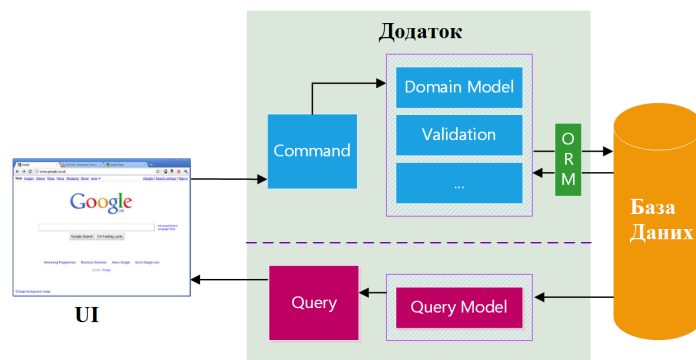


Рис. 2. Архітектура з використанням CQRS

Поділ, що переслідується CQRS, досягається групуванням операцій запити на одному рівні, а команд – на іншому. Кожен рівень має свою модель даних, свій набір сервісів та створюється із застосуванням своєї комбінації шаблонів та технологій. Ще важливіше, що ці два рівні можуть бути навіть у двох різних ланках (tiers) і оптимізуватися окремо, ніяк не торкаючись один одного [5].

Просте розуміння того, що команди та запити є різними речами, глибоко впливає на архітектуру ПЗ. Наприклад, раптом стає легше передбачати та кодувати кожен рівень предметної області. Рівень предметної області (domain layer) стеку команд потребує лише даних, бізнес-правилах і правил безпеки виконання завдань. З іншого боку, рівень предметної області в стеку запитів може бути не складнішим за прямий SQL-запит [6].

Для прикладу розглянемо кінцеву схему з CQRS та двома різними сховищами даних представлено на рисунку 3.

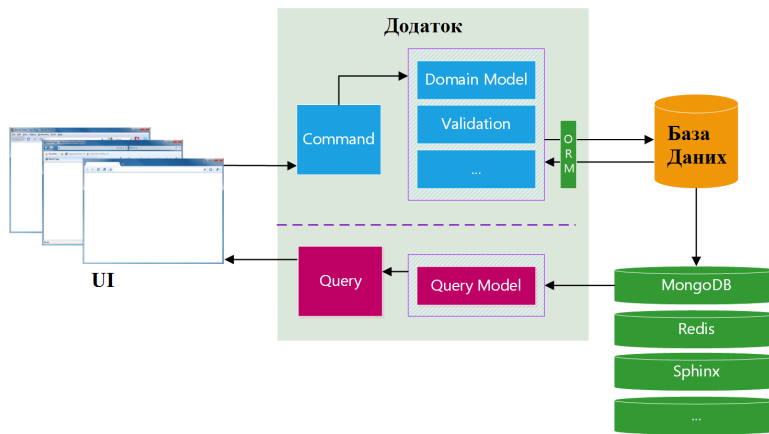


Рис. 3. Архітектура CQRS з двома різними сховищами даних

Спроекуємо тестовий інтернет магазин для порівняння ефективності застосування архітектури CQRS.

Для початку представимо базові сутності які будуть існувати в додатку. Діаграма класів для базових сутностей представлена на рисунку 4.

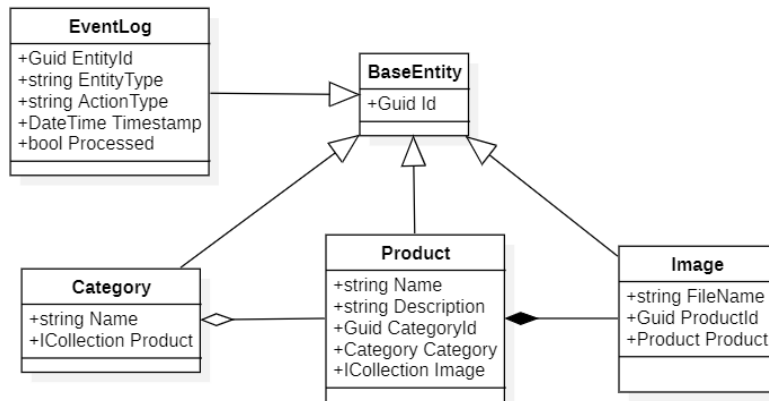


Рис. 4. Діаграма класів сутностей які існують в системі

Сутності та їх властивості представлені в таблицях 1–5.

Таблиця 1

Таблиці бази даних

Назва таблиці	Призначення
Categories	Збереження категорій продуктів
Products	Збереження продуктів
Image	Збереження фотографій продуктів
EventLogs	Збереження результатів операції з системою

Таблиця 2

Опис таблиці Categories

Назва стовпця	Тип даних	Призначення
Id	uniqueidentifier	Ід категорії
Name	nvarchar(MAX)	Назва категорії

Таблиця 3

Опис таблиці Image

Назва стовпця	Тип даних	Призначення
Id	uniqueidentifier	Ід фото
FileName	nvarchar(MAX)	Назва файлу
ProductId	uniqueidentifier	Зовнішній ключ, який вказує на ідентифікатор продукту

Таблиця 4

Опис таблиці Products

Назва стовпця	Тип даних	Призначення
Id	uniqueidentifier	Ід категорії
Name	nvarchar(MAX)	Назва продукту
Description	nvarchar(MAX)	Опис продукту
CategoryId	uniqueidentifier	Зовнішній ключ, який вказує на ідентифікатор категорії

Таблиця 5

Опис таблиці EventLogs

Назва стовпця	Тип даних	Призначення
Id	uniqueidentifier	Ід операції
EntityId	uniqueidentifier	Зовнішній ключ, який вказує на ідентифікатор сутності
EntityType	nvarchar(MAX)	Тип сутності з якою проводилась операція
ActionType	nvarchar(MAX)	Опис операції що відбувалась над сутністю
Timestamp	datetime2(7)	Час операції
Processed	bit	Прапорець, що вказує чи відбулася синхронізація між базами даних

Тип даних uniqueidentifier – це тип даних у базі даних для зберігання унікальних ідентифікаторів (GUID).
 nvarchar(MAX) – тип даних для зберігання Unicode-рядків завдовжки до максимально можливого обсягу (2³¹-1 або 2147483647 символів (2 ГБ)) [7].

Аналогічно створюється база і колекції MongoDB які будуть додаватися з бази даних SQL. База даних MongoDB представлена на рисунку 5.

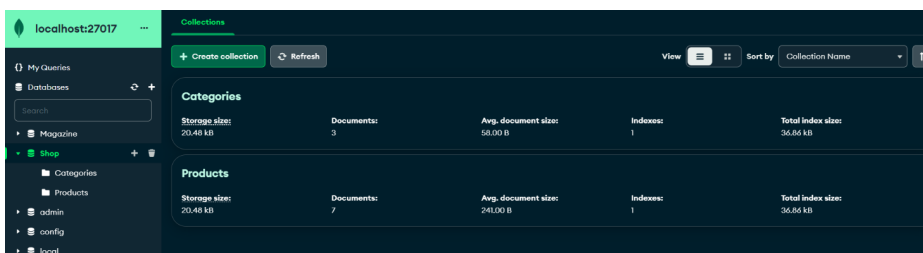


Рис. 5. Результати успішної синхронізації з базою даних SQL

Для реалізації поставленого завдання обрано мову програмування C# та платформа розробки веб-застосунків ASP.NET.

Структура реалізованого застосунку представлена на рисунку 6.

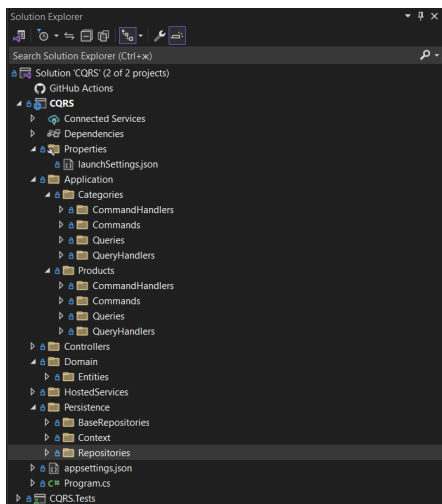


Рис. 6. Структура проєкта

Для визначення ефективності застосування архітектурного підходу CQRS проведемо серію порівняльних тестів, де ми будемо зчитувати по 1000 продуктів із баз даних розташованих у різних регіонах. Зчитування будемо проводити п'ятьма серіями по 100 запитів.

Отримані результати представлені в таблицях 6–9.

Таблиця 6

Результати зчитування з бази даних розташованої у Великій Британії

Кількість запитів	Кількість продуктів	Розташування БД	Час в секундах
100	1000	UK West	16.6373418
100	1000	UK West	17.5564886
100	1000	UK West	18.3571659
100	1000	UK West	19.9817602
100	1000	UK West	14.9301036

Таблиця 7

Результати читання з бази даних на Західному узбережжі США

Кількість запитів	Кількість продуктів	Розташування БД	Час в секундах
100	1000	West US	54.421575
100	1000	West US	52.7376366
100	1000	West US	59.4390936
100	1000	West US	62.0625805
100	1000	West US	60.6093189

Таблиця 8

Результати читання з бази даних розташованої в Польщі

Кількість запитів	Кількість продуктів	Розташування БД	Час в секундах
100	1000	PL	8.5560043
100	1000	PL	9.5461138
100	1000	PL	9.3760551
100	1000	PL	14.8564275
100	1000	PL	9.5309906

Таблиця 9

Зведена таблиця результатів тестування

Кількість запитів	Кількість продуктів	Розташування БД	Середній час, с.
100	1000	PL	10.37311826
100	1000	West US	57.85404092
100	1000	UK West	17.49257202

Таким чином можна зробити висновок, що розташування бази даних має суттєвий вплив на час відповіді застосунку. Тому застосування технології CQRS дозволяє використати репліку бази даних для читання і розташувати її максимально близько до кінцевого користувача.

Висновки

У роботі розроблено структуру архітектури веб-застосунку за допомогою та здійснено проектування БД.

Проведено порівняльний аналіз часу відповіді веб-застосунку в залежності від розташування бази даних.

Показано, що час відповіді застосунку збільшується при збільшенні відстані від користувача до бази даних.

Таким чином застосування технології CQRS дозволяє використати репліку бази даних для читання і розташувати її максимально близько до кінцевого користувача, що призводить до значного прискорення роботи системи порівняно з варіантом без його використання.

Список використаної літератури

1. Беттс, Домінік та ін. «Дослідження CQRS і джерела подій: подорож до високої масштабованості, доступності та зручності обслуговування з Windows Azure». 2013.
2. Каббедійк, Яап, Слінгер Янсен і Сяк Брінккемпер. «Прикладне дослідження наслідків мінливості шаблону CQRS у програмному забезпеченні для онлайн-бізнесу». Матеріали 17-ї Європейської конференції з мов шаблонів програм. 2012 рік. <https://doi.org/10.1145/2602928.2603078>
3. Райкович, Петар, Драган Янкович і Александар Міленкович. «Використання шаблону CQRS для покращення продуктивності медичних інформаційних систем». Проц. 6-ї Балканської конференції з інформатики. 2013 рік.
4. О. Л. Ярош Р. М. Бабаков Методи оптимізації продуктивності веб-застосунків. URL: <https://jait.donnu.edu.ua/article/view/13969>
5. Оптимізація веб застосунків: лайфхаки та інструменти. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dou.ua/forums/topic/43011/>
6. Вертикальне та горизонтальне масштабування Вступні відомості про масштабованість баз даних під час хмарних обчислень. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/scaling-out-vs-scaling-up>
7. Marcelo R, IBM Redbook: The RS/6000 SP Inside Out. Bernard Woo, New York 1999. P. 572.

References

1. Betts, D., Dominguez, J., Melnik, G., Simonazzi, F., & Subramanian, M. (2013). Exploring CQRS and Event Sourcing: A journey into high scalability, availability, and maintainability with Windows Azure.
2. Kabbedijk, J., Jansen, S., & Brinkkemper, S. (2012, July). A case study of the variability consequences of the CQRS pattern in online business software. In Proceedings of the 17th European Conference on Pattern Languages of Programs (pp. 1–10). <https://doi.org/10.1145/2602928.2603078>
3. Rajković, P., Janković, D., & Milenković, A. (2013, January). Using cQRS pattern for improving performances in medical information systems. In Proc. of the 6th Balkan Conference in Informatics (pp. 86-91).
4. O. L. Yarosh R. M. Babakov (2013, July) Methods of optimizing the performance of web applications URL: <https://jait.donnu.edu.ua/article/view/13969>
5. Vyazovoy, O. (2023, April 17). Оптимізація вебзастосунків: лайфхаки та інструменти. DOU. <https://dou.ua/forums/topic/43011/>
6. Scaling out vs scaling up: Microsoft Azure. Scaling Out vs Scaling Up | Microsoft Azure. (n.d.). <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/scaling-out-vs-scaling-up>
7. Marcelo R, IBM Redbook: The RS/6000 SP Inside Out. Bernard Woo, New York 1999. P. 572.

О. І. ПРОНІНА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
ORCID: 0000-0001-7085-8027

А. А. ПОЛІЩУК

студент кафедри комп'ютерних наук,
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
ORCID: 0009-0009-3808-782X

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ІНГРЕДІЄНТІВ ТА ПРОПОЗИЦІЇ РЕЦЕПТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ AR НА ПЛАТФОРМІ IOS

Розпізнавання об'єктів відіграє значну роль у поліпшенні побутових умов, особливо в контексті розпізнавання кулінарних інгредієнтів. Системи, здатні автоматично визначати продукти на основі зображень за допомогою нейронних мереж, мають потенціал значно спростити приготування їжі і зробити його більш доступним і зручним для багатьох людей. Задача визначення є найважливішою при цьому. Сучасні тенденції в області інформаційних технологій обумовлюють актуальність розробки інтелектуальних систем, здатних аналізувати і візуалізувати дані в реальному часі. У контексті кулінарного світу, створення інтелектуальної системи для визначення інгредієнтів і пропозицій рецептів на платформі iOS відкриває нові горизонти для користувацького досвіду та інноваційних підходів до готування. Маючи функціональність розпізнавання об'єктів в області кулінарії, користувачі можуть просто направити камеру пристрою на свої продукти або страви, і система надасть детальну інформацію про склад і поживні властивості. Це особливо цінно для тих, хто стежить за дієтою, стикається з алергіями або просто прагне до більш усвідомленого харчування. Така технологія також може служити освітнім інструментом, допомагаючи людям вивчати нові інгредієнти та експериментувати з різними рецептами. Все це сприяє різноманітності і якості приготування їжі в побутових умовах. вибір платформи iOS для розробки інтелектуальної системи розпізнавання інгредієнтів обґрунтований не тільки широкою популярністю пристроїв Apple, але і видатним набором інструментів, наданих компанією. Apple створила відмінну МП Swift, що включає в себе зручну потужні фреймворки, і, що важливо, забезпечує доступність програми на більшості своїх пристроїв, включаючи навіть більш старі моделі. Метою роботи є підвищення ефективності розпізнавання об'єктів-харчових продуктів для подальшої рекомендації рецептів з використанням стеку ARKit на платформі iOS. Для цього необхідно було розробити методи та математичну модель спеціально адаптованих до екосистеми пристроїв Apple, з метою забезпечення максимальної ефективності та подальшого росту екосистеми аналогічних додатків. В увагу ставиться як швидкість, так і оптимізація в контексті мобільних пристроїв. Метою роботи є підвищення ефективності та кількості розпізнавання харчових об'єктів-інгредієнтів для подальшої рекомендації рецептів. У роботі досліджується предметна область та актуальність дослідження. Розбирається стек технологій та її придатність, аналізується наукова ситуація та аналогічні дослідження. Важливим пунктом є теорія та обґрунтування методів, які були використані. Розглянуто методи та підходи, які були використані для вирішення проблем поліпшення ідентифікації інгредієнтів. Розроблені технічні та математичні аспекти обраних ефективних рішень. Розроблено базову математичну модель, яка керує обраними методами – алгоритму YOLO імплементації Apple через мережу darknet, а також методів вивчення з перенесенням, оскільки розуміння моделей має вирішальне значення для ефективною адаптації та точної настройки алгоритмів до конкретної дослідницької задачі – поліпшення ідентифікації інгредієнтів. Були описані та продемонстровані обрані фреймворки, мова програмування та методи. У розділі експериментів буде продемонстровані результати навчання моделі та зібрані метрики. У висновках роботи описано, яка модель винайшла себе найкращою.

Ключові слова: розпізнавання, класифікація, згорткова нейронна мережа, кулінарія, YOLO, iOS.

O. I. PRONINA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Computer Sciences
State Higher Educational Institution "Priazov State Technical University"
ORCID: 0000-0001-7085-8027

A. A. POLISHCHUK

Student at the Department of Computer Sciences
State Higher Educational Institution "Priazov State Technical University"
ORCID: 0009-0009-3808-782X

NEURAL NETWORK MODELING TO DETERMINE THE STAGE OF ALZHEIMER'S DISEASE

Object recognition plays a significant role in improving living conditions, especially in the context of recognizing culinary ingredients. Systems capable of automatically identifying foods based on images using neural networks have the potential to greatly simplify cooking and make it more accessible and convenient for many people. The task of definition is the most important in this case. Modern trends in the field of information technologies determine the urgency of developing intelligent systems capable of analyzing and visualizing data in real time. In the context of the culinary world, creating an intelligent system for identifying ingredients and suggesting recipes on the iOS platform opens new horizons for user experience and innovative approaches to cooking. With object recognition functionality in the field of cooking, users can simply point the device's camera at their products or dishes, and the system will provide detailed information about the composition and nutritional properties. This is especially valuable for those who follow a diet, deal with allergies, or just want to eat more consciously. Such technology can also serve as an educational tool, helping people learn new ingredients and experiment with different recipes. All this contributes to the variety and quality of food preparation in domestic conditions. The choice of the iOS platform for the development of an intelligent ingredient recognition system is justified not only by the wide popularity of Apple devices, but also by the outstanding set of tools provided by the company. Apple has created an excellent MP Swift, which includes convenient powerful frameworks, and, importantly, ensures the availability of the program on most of its devices, including even older models. The aim of the work is to improve the recognition efficiency of food objects for further recommendation of recipes using the ARKit stack on the iOS platform. For this, it was necessary to develop methods and a mathematical model specially adapted to the ecosystem of Apple devices, to ensure maximum efficiency and further growth of the ecosystem of similar applications. Both speed and optimization in the context of mobile devices are considered. The aim of the work is to increase the efficiency and number of recognitions of food objects-ingredients for further recommendation of recipes. The work examines the subject area and relevance of the research. The technology stack and its suitability are analyzed, the scientific situation and similar studies are analyzed. An important point is the theory and justification of the methods that have been used. The methods and approaches that have been used to solve the problems of improving the identification of ingredients are considered. Technical and mathematical aspects of selected effective solutions are developed. A basic mathematical model has been developed that guides the chosen methods – the YOLO algorithm of Apple's implementation through the darknet network, as well as transfer learning methods, since understanding the models is crucial for the effective adaptation and fine-tuning of algorithms to a specific research task – improving ingredient identification. Selected frameworks, programming language and methods were described and demonstrated. The experiments section will demonstrate the results of model training and collected metrics. In the conclusions of the work, it is described which model invented itself the best.

Key words: recognition, classification, convolutional neural network, cooking, YOLO, iOS.

Постановка проблеми

Завдання виявлення об'єктів у машинному навчанні витікають із ранніх досліджень у сфері розпізнавання образів. Початкові підходи включали в себе пошук конкретних шаблонів або ознак на зображеннях для визначення присутності об'єктів. Розпізнавання об'єктів – це важлива область досліджень, яка знаходить застосування в різних сферах. Ця технологія дозволяє автоматично визначати і класифікувати об'єкти на зображеннях або у відеоформаті. Однією з ключових причин дослідження розпізнавання об'єктів є автоматизація та спрощення завдань, які раніше вимагали б ручного втручання. Такі можливості застосовуються в промисловості, логістиці та інших областях, де необхідно виявлення і класифікація об'єктів.

Сучасні тенденції в області інформаційних технологій обумовлюють актуальність розробки інтелектуальних систем, здатних аналізувати і візуалізувати дані в реальному часі. У контексті кулінарного світу, створення інтелектуальної системи для визначення інгредієнтів і пропозиції рецептів на платформі iOS відкриває нові горизонти для користувачького досвіду та інноваційних підходів до готування.

Розпізнавання об'єктів відіграє значну роль у поліпшенні побутових умов, особливо в контексті розпізнавання кулінарних інгредієнтів. Системи, здатні автоматично визначати склад продуктів на основі зображень, мають потенціал значно спростити приготування їжі і зробити його більш доступним і зручним для багатьох людей.

Маючи функціональність розпізнавання об'єктів в області кулінарії, користувачі можуть просто направити камеру пристрою на свої продукти або страви, і система надасть детальну інформацію про склад і поживні

властивості. Це особливо цінно для тих, хто стежить за дієтою, стикається з алергіями або просто прагне до більш усвідомленого харчування.

Така технологія також може служити освітнім інструментом, допомагаючи людям вивчати нові інгредієнти та експериментувати з різними рецептами. Все це сприяє різноманітності і якості приготування їжі в побутових умовах. Тема розробки інтелектуальної системи для розпізнавання інгредієнтів і пропозиції рецептів з використанням AR на платформі Apple є перспективною. Вона не тільки відкриває нові можливості для тих, хто готує вдома, але і сприяє формуванню більш здорових харчових звичок і збагачення кулінарного досвіду.

Така тема заслуговує на увагу дослідників, розробників і суспільства в цілому, оскільки вона безпосередньо пов'язана з повсякденними аспектами життя і може зробити процес приготування їжі більш інноваційним і зручним для багатьох людей [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У наш час можна знайти велику кількість робіт, що присвячені моделям нейронних мереж, побудованих для вирішення задачі розпізнавання об'єктів. Розробка та застосування моделей нейронних мереж для задачі розпізнавання об'єктів у сучасному світі є актуальною і широко дослідженою темою. На сьогодні можна знайти значну кількість наукових досліджень та робіт, які присвячені використанню нейронних мереж у контексті розпізнавання об'єктів в реальному часі, особливо в поєднанні з розширеною реальністю (AR).

У цих роботах описані моделі, які використовуються як для класифікації зображень, так і для розв'язання завдань класифікації на основі зібраних даних. Дослідники впроваджують різноманітні підходи та алгоритми для досягнення кращих результатів. Важливою частиною таких робіт є порівняння різних методів та алгоритмів для вибору оптимального рішення.

У статті [2], розглядається задача класифікації об'єктів у реальному часі з використанням Core ML та ARKit, що дозволяє анутовувати об'єкти в розширеній реальності. Автори зосереджують увагу на інтеграції Core ML та ARKit для покращення точності розпізнавання об'єктів у відеопотоці. У статті описано, як використовувати Core ML та ARKit для анутовування об'єктів у доповненій реальності. Він надає детальний підручник, який пояснює, як створити модель машинного навчання для виявлення об'єктів, як використовувати цю модель в ARKit та як додати анотації до виявлених об'єктів. Для виявлення об'єктів в ARKit можна використовувати моделі машинного навчання, навчені на наборі даних зображень або відео.

У роботі [3] дослідники вивчають можливості інтеграції YOLO (You Only Look Once) – моделі глибокого навчання для розпізнавання об'єктів, з розширеною реальністю на платформі iOS. Вони показують, як такий підхід може бути успішно використаний для анутовування об'єктів у відеопотоці в реальному часі. Це огляд літератури про анотацію об'єктів у доповненій реальності. Автори розглядають різні методи анотування, включаючи ручне, автоматичне та Напівавтоматичне. Вони також обговорюють різні типи анотацій, включаючи мітку класу, розташування, розмір та орієнтацію. Автоматичне анотування може бути більш ефективним, але зазвичай менш точним, ніж ручне анотування, але ручне анотування є, можливо, невиправдано трудомістким.

Стаття [4] розглядає виклики, пов'язані з розпізнаванням об'єктів з використанням YOLO, включаючи архітектурні питання, набори даних та потенційні застосування. Дослідники розглядають різні сценарії використання YOLO для розпізнавання об'єктів у відеопотоці в поєднанні з розширеною реальністю. У роботі описано, те, що являє собою ще один огляд літератури з анотування об'єктів у доповненій реальності. Автори зосереджуються на методах виявлення та локалізації об'єктів в AR. Вони розглядають різні підходи, включаючи зображення на основі глибини та на основі змішаних сигналів. Методи виявлення та локалізації об'єктів в AR повинні бути точними, швидкими та надійними.

У роботі [5], автори досліджують можливості покращення мережі YOLOv3 для використання її в мобільних пристроях для розпізнавання об'єктів в розширеній реальності. Вони впроваджують покращений алгоритм та показують його ефективність в реальному часі. Стаття є оглядом літератури про анотацію 3D-об'єктів у доповненій реальності. Автори розглядають різні методи анотування, включаючи ручне, автоматичне та напівавтоматичне. Вони також обговорюють різні типи анотацій, включаючи мітку класу, геометрію, текстуру та поведінку. У статті розглядається застосування методів машинного навчання для поліпшення якості додатків доповненої реальності (AR). Автори пропонують використовувати алгоритм YOLOv3 для виявлення об'єктів у реальному світі та інтеграції результатів виявлення з AR-додатком. Для реалізації запропонованого підходу автори розробили iOS-додаток, що використовує фреймворк ARKit.

У статті [6] розглядається новий підхід до виявлення об'єктів у доповненій реальності (AR). Автори пропонують використовувати комбінацію методів машинного навчання та комп'ютерного зору для підвищення швидкості та точності виявлення об'єктів.

У статті [7] автори пропонують новий алгоритм виявлення об'єктів, заснований на мережі YOLO, для виявлення фази дозрівання ананаса. Фаза дозрівання ананаса є важливим фактором, що впливає на якість і смак ананаса. Раннє виявлення фази дозрівання може допомогти фермерам збирати ананас у відповідний час, що може підвищити врожайність і якість продукції. Автори використовували набір даних зображень ананасів, зібраних

у сільськогосподарських фермах В'єтнаму. Набір даних містить зображення ананасів у різних фазах дозрівання, від зелених до повністю зрілих. Автори використовували мережу YOLOv3 для навчання свого алгоритму.

Стаття [8] описує потенціал інтелектуального сортування відходів для підвищення ефективності та точності сортування відходів. Вона також описує можливість використання цієї технології для моніторингу рівня заповнення сміттєвих баків. Технологія виявлення об'єктів YOLO використовується для швидкого і точного виявлення сміття в режимі реального часу. У статті описується розробка розумного сміттєвого бака, який сортує і збирає за допомогою веб-камери і технології виявлення об'єктів в режимі реального часу YOLO.

Технологія виявлення об'єктів YOLO є потужною і гнучкою технологією, яка може використовуватися в різних додатках. Вона може використовуватися для автоматизації завдань, таких як сортування відходів, робототехніка і сільське господарство, та багато інших. Це робить YOLO все більш привабливим вибором для розробників, які шукають потужну та ефективну технологію виявлення об'єктів. В цілому, всі статті показують, що YOLO є перспективною технологією з широким потенціалом застосування.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності розпізнавання об'єктів-харчових продуктів для подальшої рекомендації рецептів з використанням стеку ARKit на платформі iOS. Для цього необхідно розробити методи та математичну модель спеціально адаптованих до екосистеми пристроїв Apple, з метою забезпечення максимальної ефективності та подальшого росту екосистеми аналогічних додатків. В увагу ставиться як швидкість, так і оптимізація в контексті мобільних пристроїв.

Викладення основного матеріалу дослідження

CreateML, спеціально розроблений для розробки додатків для iOS та macOS, що робить його природним вибором для інтеграції моделей машинного навчання в ці платформи CreateML легко інтегрується з іншими фреймворками та інструментами Apple, такими як Core ML, Vision та Natural Language, які необхідні для створення додатків iOS та macOS [10]. CreateML генерує моделі, оптимізовані для виведення на пристрій, забезпечуючи ефективне виконання на пристроях iOS [11]. Для написання додатку використовується IDE Xcode, яка постачається Apple.

В основі визначення інгредієнтів за допомогою алгоритму YOLO згортоква нейронна мережа (CNN) відіграє вирішальну роль. CNN успішно вивчає ієрархічні представлення об'єктів, починаючи з простих об'єктів (наприклад, ребер) і переходячи до більш складних об'єктів (наприклад, частин об'єкта та повних об'єктів). Основний принцип YOLO полягає у використанні всього зображення як вхідних даних для мережі та безпосередньому поверненні координат обмежувального прямокутника та відповідної назви класу. YOLOv2 використовує Darknet-19 як свою основу та додаткові 11 рівнів виявлення об'єктів [7]. На відміну від цього, модель YOLO демонструє помітне вдосконалення завдань виявлення в режимі реального часу, особливо для додатків доповненої реальності (AR), досягаючи 45 кадрів в секунду в умовах експерименту зі статті [4]. YOLO використовує метод регресії для прогнозування обмежувальної рамки об'єкта та назви класу, відхиляючись від запропонованого підходу до регіону. Однак спрощена мережева архітектура YOLO призводить до зниження точності виявлення в міру збільшення частоти кадрів. На рисунку 1 можна побачити шари обраної моделі.

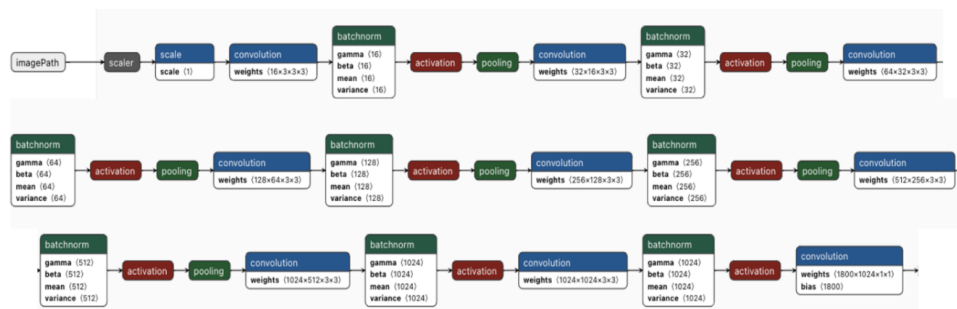


Рис. 1. Схема YOLO-мережі, перша частина

Модель виявлення об'єктів в CreateML відома як TinyYOLO, оскільки вона менша за повний YOLO. Повна версія YOLO має кілька вихідних сіток різних розмірів, щоб краще обробляти об'єкти різних розмірів, але ця модель також більша і повільніша [12].

Мережа складається з серії згорткових шарів, шарів об'єднання та повністю зв'язаних шарів. Згорткові шари витягують об'єкти із вхідного зображення, об'єднуючі шари зменшують розмір карт об'єктів, а повністю зв'язані шари класифікують об'єкти на зображенні. Ці шари:

- пакетна нормалізація: цей рівень нормалізує активації попереднього рівня. Це допомагає покращити навчання мережі;
- масштаб: цей шар масштабує активації попереднього шару. Це допомагає зробити активації більш однорідними та легшими для вивчення;

- згортка: цей рівень застосовує ядро згортки до активації попереднього рівня. Це фільтрує активації для отримання функцій;
- активація: цей рівень застосовує функцію активації до активацій попереднього рівня. Це допомагає зробити активації більш нелінійними та легшими для вивчення;
- об'єднання: цей шар зменшує розмір карт об'єктів. Це допомагає зменшити кількість параметрів у мережі та підвищити її обчислювальну ефективність [14].

Перші три з цих шарів є згортковими шарами. Згорткові шари – це тип рівня нейронної мережі, який використовується для вилучення ознак із зображень. Перший згортковий шар має 16 фільтрів, другий згортковий шар має 32 фільтри, а третій згортковий шар має 64 фільтри. Фільтри – це невеликі матриці вагових коефіцієнтів, які застосовуються до вхідного зображення для виділення функцій. Функцією активації для перших трьох згорткових шарів є ReLU.

Четвертий шар – шар об'єднання. Шари об'єднання використовуються для зменшення розміру карт об'єктів. Рівень об'єднання в цьому прикладі є максимальним рівнем об'єднання. Максимальне об'єднання бере максимальне значення з кожного блоку 2x2 карти функцій і виводить це значення як нову карту функцій. Це допомагає зменшити кількість параметрів у мережі та підвищити її обчислювальну ефективність [13].

П'ятий шар – шар накипу. Шари масштабування використовуються для масштабування активацій попереднього шару. Це допомагає зробити активації більш однорідними та легшими для вивчення. Рівень масштабу в цьому прикладі має параметр масштабу 1.

Перші п'ять рівнів мережі YOLO відповідають за вилучення функцій із вхідного зображення. Витягнуті ознаки потім використовуються наступними рівнями мережі для класифікації об'єктів на зображенні.

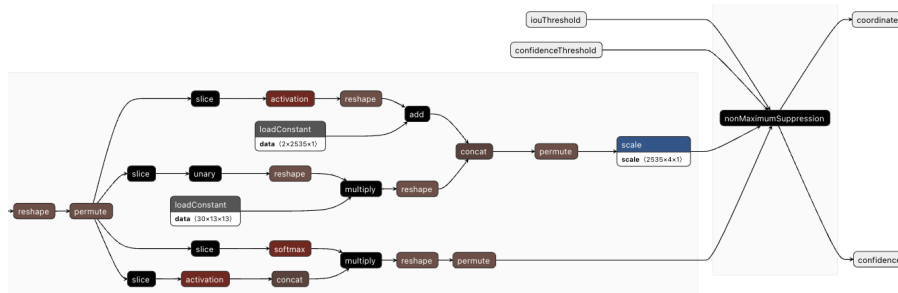


Рис. 2. Схема YOLO, частина 2

Рисунок 2 мережі показує, що YOLO – це згорткова нейронна мережа (CNN), яка приймає зображення як вхідні дані та виводить набір обмежувальних рамок та ймовірностей класів для кожного об'єкта, виявленого на зображенні. Мережа розділена на три основні етапи:

Основа: Основа відповідає за вилучення об'єктів із вхідного зображення. Вона складається з серії згорткових шарів, які поступово зменшують просторовий розмір зображення при одночасному збільшенні кількості каналів.

The neck: neck відповідає за з'єднання хребта з головою. Вона складається з декількох згорткових шарів, які ще більше зменшують просторовий розмір зображення і збільшують кількість каналів.

The head: head відповідає за прогнозування обмежувальних рамок та ймовірностей класів для кожного об'єкта, виявленого на зображенні. Він складається з серії повністю пов'язаних шарів.

Іншим чином функціонує Transfer learning (навчання з перенесенням) використовує моделі машинного навчання, які вже є в операційній системі iOS. Наприклад, додаток Photos включає моделі, які підтримують пошук та запам'ятовування.

Одна з попередньо навчених базових функцій, що використовуються Photos, називається object print. Вона навчається на величезних обсягах різноманітних даних. За допомогою transfer learning можна скористатися перевагою, щоб зменшити потребу в даних. Алгоритм навчання передачі в Create ML використовує об'єктний друк разом з головною мережею.

Як результат, базова модель ML містить лише параметри головної мережі, що робить модель у п'ять разів меншою, ніж повна мережа. Та сама модель, яка становила 65 мегабайт у 2019 році та 33 мегабайти після квантування, становила б лише сім мегабайт при використанні алгоритму навчання передачі [15].

Схему навченої нейронної мережі з перенесенням демонструє рисунок 3.

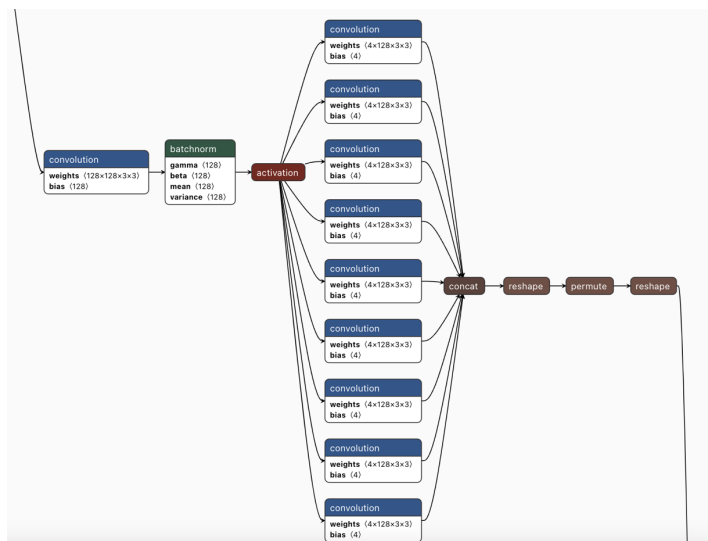


Рис. 3. Схема Transfer Learning

CNN на зображенні складається з ряду згорткових шарів, шарів пакетної нормалізації, шарів активації та шарів об'єднання. Згорткові шари використовуються для вилучення об'єктів із вхідних даних. Шари пакетної нормалізації використовуються для нормалізації вхідних даних, щоб допомогти моделі більш ефективно навчатися. Шари активації використовуються для внесення нелінійності в модель. Об'єднуючі шари використовуються для зменшення розміру вихідних даних зі згорткових шарів.

Для проведення експериментів використовується відкритий датасет FOOD-INGREDIENTS dataset проекту Roboflow, який включає 100 класів поширених інгредієнтів здебільш азіатської кухні. На датасеті було натреновано моделі, процес тренування зайняв різну кількість часу з різними алгоритмами, використовуючи процесор Apple M1 та 16 гігабайт RAM. Були навчені та порівняні декілька нейронних мереж. На вибірці 1 приведені результати навчення моделі з алгоритмами переймання навчання.

Артишок – 2064 штук, 9 правильних, 2045 хибних спрацювань, 10 хибних відмов. Гарбуз – 7544 штуки, 5 правильних, 7434 хибних спрацювань, 105 хибних відмов. Аспарагус – 58 штук, 0 правильних, 20 хибних спрацювань, 38 хибних відмов. Авокадо – 1208 штук, 1 правильний, 1166 хибних спрацювань, 41 хибна відмова. Бекон – 26 штук, 0 правильних, 3 хибних спрацювань, 23 хибні відмови. Бамбукові пагони – 63 штуки, 0 правильних, 8 хибних спрацювань, 55 хибних відмов. Банан – 1191 штука, 1 правильний, 1179 хибних спрацювань, 11 хибних відмов. Гіркий огірок – 129 штук, 0 правильних, 0 хибних спрацювань, 129 хибних відмов.

Модель на базі Transferred Learning робить забагато фальш-розпізнавань. Це означає, що задані у заготовлених предмоделях класи не підходять до нашої задачі – поліпшення розпізнавання. Ми не можемо продовжувати роботи с алгоритмами переносного навчання і робимо вибір на YOLO, який незважаючи на недолік ітерацій, демонструє перший успіх. Тобто обидві моделі не задовольняють умови, однак слід відзначити, що модель на базі перенесеного навчання робить надмірну кількість помилкових виявлень. Це означає, що підготовлені класи в предмоделях не відповідають нашій задачі – поліпшення розпізнавання. Не можна продовжувати роботу зі схемами перенесеного навчання і обран YOLO.

Важно зазначити, що для всіх продуктів харчування кількість правильних спрацювань для лінії з розміром пакета 128 вище, ніж для лінії з розміром пакета 32. Точність моделі значно підвищилася, коли розмір пакету було збільшено з 32 до 128. Це пояснюється тим, що більший розмір партії дозволяє моделі вивчати більше з кожного навчального прикладу. В результаті модель може робити більш точні прогнози.

Збільшення batchsize з 32 до 128 призвело до значного збільшення точності моделі для всіх класів.

Для класу «Артишок» точність збільшилася з 16% до 27%, що становить 75% збільшення.

Для класу «Гарбуз» точність збільшилася з 20% до 31%, що становить 50% збільшення.

Вибірка з YOLO відображає результати тестування навченої моделі с кількістю ітерацій 20000 для виборки продуктів або продуктових категорій.

Артишок – 22 штук, 14 правильних, 6 хибних спрацювань, 2 хибні відмови. Гарбуз – 24 штуки, 13 правильних, 4 хибних спрацювань, 7 хибних відмов. Аспарагус – 25 штук, 11 правильних, 8 хибних спрацювань, 6 хибних відмов. Авокадо – 9 штук, 6 правильних, 1 хибне спрацювання, 2 хибні відмови. Бекон – 4 штуки, 1 правильне, відсутні хибні спрацювання, 3 хибні відмови. Бамбукові пагони – 46 штук,

10 правильних, 6 хибних спрацьовувань, 30 хибних відмов. Банан – 9 штук, 2 правильних, 3 хибних спрацьовувань, 4 хибні відмови. Гіркий огірок – 42 штуки, 22 правильних, 9 хибних спрацьовувань, 11 хибних відмов.

YOLO рідше помилково визначає об'єкти, яких немає насправді. Це важливо для додатків, де важлива точність, наприклад, для інгредієнтів.

Більша кількість ітерацій вимагає більше обчислювальних ресурсів, ніж на даному устаткуванні. Це може призвести до того, що навчання моделі буде неможливим або займе занадто багато часу.

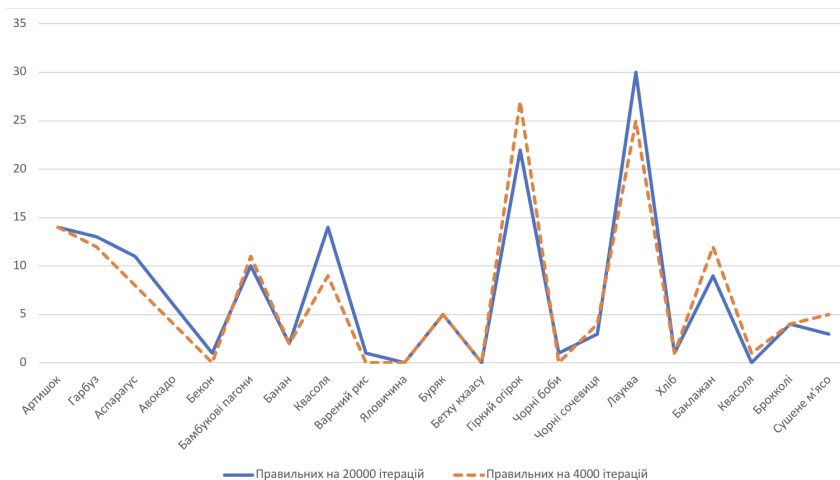


Рис. 4. Порівняння моделей на 20000 та 4000 ітерацій

Загалом, кількість правильних відповідей збільшується зі збільшенням кількості ітерацій навчання. Це означає, що модель стає більш точною з часом. Як видно з таблиці, точність моделі при використанні 20 000 ітерацій вище, ніж при використанні 4000 ітерацій. В даному випадку оптимальною кількістю ітерацій є 20000.

У ході експериментів щодо навчання моделі класифікації харчових продуктів було встановлено, що для підвищення точності моделі необхідно враховувати такі фактори:

Архітектура моделі визначає, як дані оброблятимуться моделлю. Трансферне навчання не підходить для цього завдання, оскільки не призводить до підвищення точності моделі.

Розмір пакета визначає, скільки зображень обробляється моделлю за один раз. Чим більший розмір пакета, тим більше даних обробляється моделлю за один раз, що може призвести до підвищення точності. Однак збільшення розміру пакета також збільшує час навчання.

Кількість ітерацій визначає, скільки разів модель проходить через набір даних для навчання. Чим більша кількість ітерацій, тим краще модель зможе навчитися розуміти закономірності даних, що може призвести до підвищення точності. Однак збільшення кількості ітерацій також збільшує час навчання. При обмежених обчислювальних ресурсах може знадобитися зменшити розмір пакета чи кількість ітерацій, щоб скоротити час навчання.

Висновки

У ході проведеного дослідження було зосереджено увагу на вивченні та оптимізації процесу розробки та навчання нейронних мереж для розпізнавання об'єктів-харчових продуктів. Основною метою було підвищення ефективності розробки моделей, спеціально адаптованих до екосистеми пристроїв Apple, зокрема, використовуючи стек ARKit на платформі iOS. У рамках дослідження було ретельно вивчено та обрано методи YOLO (You Only Look Once) та Transfer Learning для оптимізації роботи на мобільних пристроях.

З метою досягнення поставлених завдань було вивчено передові методи розпізнавання об'єктів, обрано оптимальні архітектури нейронних мереж, та проведено експериментальні дослідження для оцінки якості прогнозів. Особлива увага була приділена оптимізації швидкості та ефективності роботи моделей на мобільних пристроях.

Список використаної літератури

1. Zhengxia Zou; Keyan Chen; Zhenwei Shi; Yuhong Guo; Jieping Ye (2023), "Object Detection in 20 Years: A Survey", pp. 1–15.
2. Annotating objects in augmented reality. Режим доступу: <https://heartbeat.comet.ml/core-ml-arkit-annotating-objects-in-augmented-reality-493952a94a5f>
3. Zhengxia Zou; Keyan Chen; Zhenwei Shi; Yuhong Guo; Jieping Ye (2023), "Object Detection in 20 Years: A Survey", pp. 1–15.

4. T Diwan, G Anirudh, JV Tembhurne (2023), "Object detection using YOLO: Challenges, architectural successors, datasets and applications", Stages of object detection, pp. 10–11.
5. H Le, M Nguyen, WQ Yan, H Nguyen (2021), "H Le, M Nguyen, WQ Yan, H Nguyen", Object Detection, pp. 3–4.
6. Q Wang, Z Wang, B Li, D Wei (2021), "An Improved YOLOv3 Object Detection Network for Mobile Augmented Reality", Introduction, pp. 1–3.
7. NHH Cuong, TH Trinh, P Meesad (2022), "Improved YOLO object detection algorithm to detect ripe pineapple phase", Introduction, pp. 1–3.
8. AB Wahyutama, M Hwang (2022), YOLO-based object detection for separate collection of recyclables and capacity monitoring of trash bins.
9. R Silitonga, J Arif, R Analia, ER Jamzuri, DS Pamungkas (2023), "Tiny-YOLO distance measurement and object detection coordination system for the BarelengFC robot."
10. CreateML Overview. Режим доступу: <https://developer.apple.com/documentation/createml#overview>
11. AB Wahyutama, M Hwang (2022), YOLO-based object detection for separate collection of recyclables and capacity monitoring of trash bins.
12. TechTalks WWDC 2019. Режим доступу: <https://developer.apple.com/videos/play/tech-talks/10155/>
13. Core ML Integrate machine learning models into your app. Режим доступу: <https://developer.apple.com/documentation/coreml>
14. Rey Wenderlich (2019), "Machine Learning by Tutorials".

References

1. Zhengxia Zou; Keyan Chen; Zhenwei Shi; Yuhong Guo; Jieping Ye (2023), "Object Detection in 20 Years: A Survey", pp. 1–15.
2. Annotating objects in augmented reality. URL: <https://heartbeat.comet.ml/core-ml-arkit-annotating-objects-in-augmented-reality-493952a94a5f>
3. Zhengxia Zou; Keyan Chen; Zhenwei Shi; Yuhong Guo; Jieping Ye (2023), "Object Detection in 20 Years: A Survey", pp. 1–15.
4. T Diwan, G Anirudh, JV Tembhurne (2023), "Object detection using YOLO: Challenges, architectural successors, datasets and applications", Stages of object detection, pp. 10–11.
5. H Le, M Nguyen, WQ Yan, H Nguyen (2021), "H Le, M Nguyen, WQ Yan, H Nguyen", Object Detection, pp. 3–4.
6. Q Wang, Z Wang, B Li, D Wei (2021), "An Improved YOLOv3 Object Detection Network for Mobile Augmented Reality", Introduction, pp. 1–3.
7. NHH Cuong, TH Trinh, P Meesad (2022), "Improved YOLO object detection algorithm to detect ripe pineapple phase", Introduction, pp. 1–3.
8. AB Wahyutama, M Hwang (2022), YOLO-based object detection for separate collection of recyclables and capacity monitoring of trash bins.
9. R Silitonga, J Arif, R Analia, ER Jamzuri, DS Pamungkas (2023), "Tiny-YOLO distance measurement and object detection coordination system for the BarelengFC robot."
10. CreateML Overview. URL: <https://developer.apple.com/documentation/createml#overview>
11. AB Wahyutama, M Hwang (2022), YOLO-based object detection for separate collection of recyclables and capacity monitoring of trash bins.
12. TechTalks WWDC 2019. URL: <https://developer.apple.com/videos/play/tech-talks/10155/>
13. Core ML Integrate machine learning models into your app. URL: <https://developer.apple.com/documentation/coreml>
14. Rey Wenderlich (2019), "Machine Learning by Tutorials".

М. О. РИБАЛЬЧЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів
Український державний університет науки і технологій
ORCID: 0000-0001-5162-5201

О. Ю. ПОТАП

кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри автоматизації виробничих процесів
Український державний університет науки і технологій
ORCID: 0000-0001-8643-0228

І. О. МАНАЧИН

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації виробничих процесів
Український державний університет науки і технологій
ORCID: 0000-0001-9795-6751

О. П. ЄГОРОВ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації виробничих процесів
Український державний університет науки і технологій
ORCID: 0000-0002-9867-0437

ДИСТАНЦІЙНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ НАВЧАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЛІНІЇ

Підготовка магістрів з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки вимагає формування у майбутніх фахівців базових компетентностей щодо здатності здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв. Матеріальне, інформаційне та методичне забезпечення такої підготовки стає наразі актуальною задачею українських технічних університетів, які активно розгортають на своїй базі нові лабораторні робототехнічні комплекси. Одним з найбільш поширених компонентів цих комплексів є крокові двигуни, що успішно застосовуються у різноманітному промисловому і спеціальному обладнанні для високоточного переміщення об'єктів на задану відстань. Зрозумілою умовою максимально повної реалізації переваг крокового двигуна як виконавчого механізму роботизованої системи є коректний підхід до проектування систем керування такими механізмами. В роботі ставилась задача розробки системи дистанційного керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії кафедри автоматизації виробничих процесів Українського державного університету науки і технологій. Кроковий двигун у свою чергу забезпечує переміщення каретки у задану позицію. Метою роботи було розробити бюджетну та дієву систему керування кроковим двигуном, що дозволить динамічно змінювати параметри системи за допомогою персонального комп'ютера (ПК), передаючи відповідні команди у систему через СОМ-порт, або за допомогою планшету, передаючи відповідні команди у систему через Bluetooth. Така система може знайти застосування як у навчальному процесі для відпрацювання стандартних прийомів керування кроковими двигунами та навичок програмування мікроконтролерів, так і в промислових системах, які потребують керування положенням механізму з високою точністю.

Ключові слова: система, кроковий двигун, керування, переміщення, робототехнічний комплекс, мікроконтролер.

M. O. RYBALCHENKO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Automation of Production Processes
Ukrainian State University of Science and Technology
ORCID: 0000-0001-5162-5201

O. YU. POTAP

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Automation of Production Processes
Ukrainian State University of Science and Technology
ORCID: 0000-0001-8643-0228

I. O. MANACHYN

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automation of Production Processes
Ukrainian State University of Science and Technology
ORCID: 0000-0001-9795-6751

O. P. YEHOROV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automation of Production Processes
Ukrainian State University of Science and Technology
ORCID: 0000-0002-9867-0437

REMOTE STEPPER MOTOR CONTROL SYSTEM OF THE TRAINING TRANSPORT LINE

Master's training in automation, computer-integrated technologies and robotics requires the formation of future specialists' basic competencies in the ability to automate complex technological objects and complexes, to create cyber-physical systems based on intelligent control methods and digital technologies using robotic and intelligent mechatronic devices. Material, informational and methodical provision of such training is currently becoming an urgent task of Ukrainian technical universities, which are actively deploying new laboratory robotic complexes on their base. One of the most common components of these complexes are stepper motors, which are successfully used in a variety of industrial and special equipment for high-precision movement of objects to a given distance. An understandable condition for the maximally complete implementation of the advantages of a stepper motor as an executive mechanism of a robotic system is a correct approach to the design of control systems for such mechanisms. The task of the work was to develop a system of remote control of the stepper motor of the educational transport line of the Department of Automation of Production Processes of the Ukrainian State University of Science and Technology. The stepper motor, in turn, ensures the movement of the carriage to the given position. The aim of the work was to develop a budget and effective stepper motor control system that would allow dynamically changing system parameters using a personal computer (PC) by sending appropriate commands to the system via the COM port, or using a tablet by sending appropriate commands to the system via Bluetooth. Such a system can be used both in the educational process to practice standard stepper motor control techniques and microcontroller programming skills, and in industrial systems that require high-precision mechanism position control.

Key words: system, stepper motor, control, movement, robotic complex, microcontroller.

Постановка проблеми

Підготовка магістрів з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки вимагає формування у майбутніх фахівців базових компетентностей щодо здатності здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв. Матеріальне, інформаційне та методичне забезпечення такої підготовки стає наразі актуальною задачею українських технічних університетів, які активно розгортають на своїй базі нові лабораторні робототехнічні комплекси. Одним з найбільш поширених компонентів цих комплексів є крокові двигуни, що успішно застосовуються у різноманітному промисловому і спеціальному обладнанні для високоточного переміщення об'єктів на задану відстань. Зрозумілою умовою максимально повної реалізації переваг крокового двигуна як виконавчого механізму роботизовано системи є коректний підхід до проектування систем керування такими механізмами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Крокові двигуни як пристрої, що перетворюють електричні імпульси в дискретні механічні переміщення, на відміну від сервоприводів, які обмежені кутом повороту в діапазоні від 0 до 180°, можуть обертатися безперервно, подібно двигуну постійного струму, забезпечуючи при цьому досяжність набагато більшого ступеня контролю

за рухом. Саме на це були спрямовані зусилля багатьох вітчизняних розробників відповідних автоматизованих систем для навчальних цілей.

Авторами роботи [1] запропоновано систему управління кроковим двигуном фірми Mistumi моделі M42SP-5A, яка містить драйвер, мікроконтролер моделі ATmega8, що генерує керуючі імпульси, та персональний комп'ютер (ПК), який забезпечує зручний інтерфейс керування кроковим двигуном та вибір режимів його роботи. Для зручності керування двигуном на мові програмування Delphi 7 була написана програма, що забезпечує вибір відповідного режиму роботи двигуна та задання необхідних параметрів: режиму роботи (повнокроковий, напівкроковий), швидкості обертання двигуна, кількості кроків, яку необхідно відпрацювати. Передача команди відбувається через COM-порт.

В роботі [2] запропоновано здійснювати динамічне зміння параметрів мікропроцесорної системи, побудованої з використанням крокового двигуна, за допомогою персонального комп'ютера, з якого відповідні команди передаються до системи через вибраний COM порт за протоколом UART.

Модель комп'ютерної системи, що дозволяє дистанційно керувати кроковим двигуном, який використовується в електронних замках в системах «Розумний дім» запропонована в роботі [3]. Представлена система містить такі основні компоненти: мікроконтролер Arduino Uno, біполярний кроковий двигун, драйвер L293D, LCD-дисплей для відображення інформації про стан електронного замка, Virtual terminal, який використовувався для моделювання роботи Bluetooth модуля та мобільного пристрою, з якого користувач відправляє сигнал для керування електронним замком. Дана комп'ютерна система має лише два основних режими роботи: перший – відчиняє електронний замок, другий – зачиняє. Користувач приєднується до Bluetooth-модуля комп'ютерної системи за допомогою свого мобільного пристрою та передає відповідний код до контролера Arduino Uno. Мікроконтролер у свою чергу відправляє керуючі сигнали на кроковий двигун. В розглянутій моделі, біполярний кроковий двигун працює у повнокроковому режимі, в якому ротор повертається на 90 градусів. Відповідно, електромеханічна частина виконуючого механізму відкриває механічний засув. Зачинення відбувається аналогічно.

Авторами [4] проаналізовано математичний опис крокових електроприводів та реалізована віддалена система керування кроковим електроприводом через Інтернет, розглянуте керування кареткою навчально-дослідницького стенду за допомогою крокового двигуна через TCP/IP мережу. Мікроконтролер Arduino Uno до комп'ютерної мережі може бути підключений за допомогою Ethernet Shield W5100 або модуля Wi-Fi ESP8266-12. Керування кареткою здійснюється віддалено через браузер. В даній роботі керування здійснюється наступним чином: одноразове натискання кнопки керування двигуном призводить до переміщення каретки ліворуч або праворуч залежно від натиснутої кнопки; подвійне натискання – до здійснення мікрокрокового режиму (800 кроків); третє натискання повертає каретку у вихідний стан.

Виконаний аналіз виявив, що управління кроковими двигунами здійснюється за допомогою мікропроцесорних систем, які, як правило, повинні дозволяти динамічно змінювати параметри роботи крокового двигуна: швидкість обертання, напрям руху, величину кута повороту тощо. Очевидно, незважаючи на певну схожість розглянутих систем, застосування крокових двигунів у різних об'єктах потребує індивідуального підходу до розробки системи дистанційного керування ними та відповідного програмного забезпечення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Таким чином, у роботі ставилась задача розробки системи дистанційного керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії. Кроковий двигун у свою чергу забезпечує переміщення каретки у задану позицію. Тому метою роботи було розробити бюджетну та дієву систему керування кроковим двигуном, що дозволить динамічно змінювати параметри системи за допомогою персонального комп'ютера (ПК), передаючи відповідні команди у систему через COM-порт, або за допомогою планшета, передаючи відповідні команди у систему через Bluetooth.

Викладення основного матеріалу дослідження

Загальний вигляд навчальної транспортної лінії приведено на рис. 1. Дана лабораторна установка реалізована на кафедрі автоматизації виробничих процесів Українського державного університету науки і технологій.

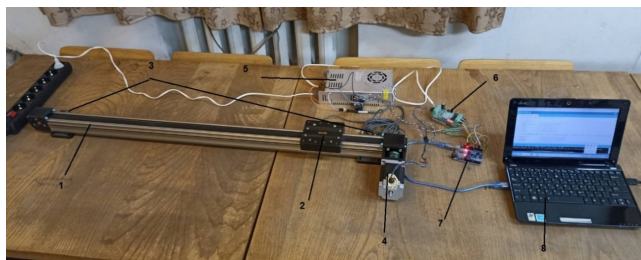


Рис. 1. Загальний вигляд навчальної транспортної лінії

- 1 – навчальна транспортна лінія, 2 – каретка, 3 – кінцеві вимикачі, 4 – кроковий двигун,
5 – блок живлення, 6 – драйвер крокового двигуна, 7 – мікропроцесорний контролер,
8 – персональний комп'ютер (ПК)

Завдання для крокового двигуна, а саме визначення кількості кроків для руху, швидкість та напрямок задається з ПК 8 (або планшета).

Кінцеві вимикачі (індуктивні датчики) 3 використовуються для контролю руху (позиції) каретки 2 навчальної транспортної лінії 1. Вони фіксують крайнє ліве та крайнє праве положення каретки. Для введення сигналів з кінцевих вимикачів у мікропроцесорний контролер 7 використовуються електромагнітні реле. Вони необхідні через різні рівні живлення кінцевих вимикачів та мікропроцесорного контролера 7. Тобто реле виконують функцію гальванічної розв'язки. Для керування кроковим двигуном 4 використовується драйвер крокового двигуна 6.

До складу навчальної транспортної лінії входить наступне обладнання:

- індуктивні датчики (кінцеві вимикачі) Omron;
- кроковий двигун FL57STH76-1006B;
- електромагнітні реле SRD-24VDC-SL-C;
- драйвер крокового двигуна TB5660.

Схема керування зібрана на основі плати Arduino Uno [5]. Arduino Uno – це пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. Плата має 14 цифрових входів/виходів, 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для програмування (ICSP) та кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм достатньо підключити його до комп'ютера за допомогою кабелю USB.

До складу керуючої системи також входить Bluetooth Module HC-05 – модуль широкого застосування для з'єднання пристроїв через Bluetooth-підключення. Bluetooth модуль управляється за допомогою UART, тобто, по суті, є UART-to-Bluetooth перетворювачем.

Схема підключення компонентів системи представлена на рис. 2.

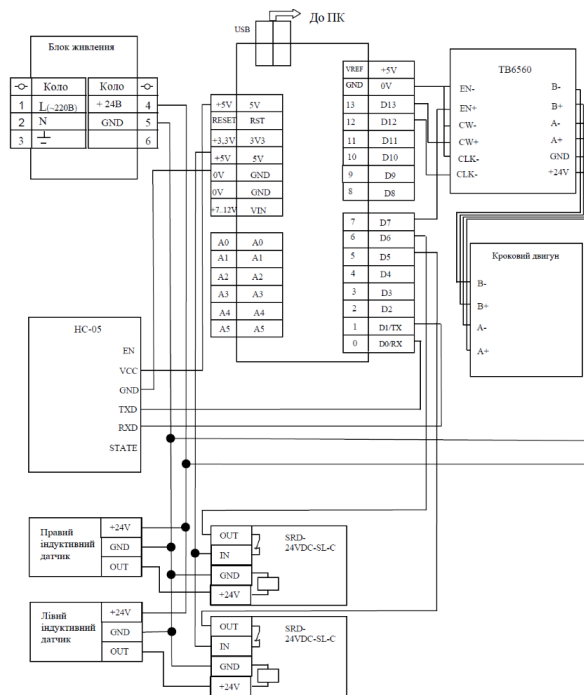


Рис. 2. Схема підключення

Одним з ключових етапів розробки системи управління є розробка програмного забезпечення.

Існують стандартні бібліотеки Arduino для керування кроковими двигунами. Такою є бібліотека Stepper, але у практичних додатках застосування цієї бібліотеки обмежене через підтримку лише повнокрокового режиму та використанню усіх обчислювальних ресурсів мікроконтролера, що призводить до «підвисання» програми. Є рішення краще – це використання бібліотеки AccelStepper. Ця бібліотека підтримує мікрокроковий режим, забезпечує прискорення та уповільнення, має можливість керувати декількома двигунами та ін.

Але використання цієї бібліотеки для навчальної транспортної лінії неможливе, оскільки керування кроковим двигуном повинно відбуватися з урахуванням стану індуктивних датчиків (кінцевих вимикачів). Тому потрібна розробка власної бібліотеки.

Була розроблена бібліотека DriverMotor . Її основні переваги:

- працює у паралельному процесі, не блокує виконання програми;

- перевіряє стан індуктивних датчиків та керує кроковим двигуном на підставі інформації від них;
 - підтримує кроковий, напівкроковий та мікрокроковий режими;
 - використовує мінімум ресурсів продуктивності мікроконтролера.
- Опис класу бібліотеки DriverMotor приведено на рис. 3.

```

1  #ifndef DriverMotor_h
2  #define DriverMotor_h
3  #include "Arduino.h"
4  class DriverMotor {
5
6
7  public:
8      DriverMotor(long number_of_steps,byte pinStep, byte pinDir, byte pinEn,byte pinLimit01,byte pinLimit02);
9      void control(); // керування, метод повинен викликатися регулярно з максимальною частотою комутації фаз
10     void motorStop();
11     void step(long steps); // ініціює поворот двигуна на задане число кроків
12     void findDivider(); // встановлення дільника частоти для комутації фаз
13     void setSpeed(int speed); // встановлення швидкості
14     void setPosition();
15     long readSteps(); // читання кроків, які залишилися
16     long readAllSteps(); // читання загальної кількості кроків (визначення положення)
17 private:
18     long _number_of_steps; //число кроків(мікрокроків) на оберт
19     int _speed;
20     long _allSteps;
21     boolean _fixStop; // признак фіксації положення при зупинці
22     unsigned int _divider; // дільник частоти для комутації фаз
23     unsigned int _dividerCount; // лічильник дільника частоти для комутації фаз
24     byte _pinStep, _pinDir, _pinEn;
25     byte _pinLimit01, _pinLimit02;
26     int _prevSteps;
27 };
28 #endif
    
```

Рис. 3. Опис заголовкового файлу DriverMotor.h

Після підключення файлів бібліотеки можна користуватися всіма відкритими методами та змінними створеного класу. Крім створеного класу, для керування роботою крокового двигуна знадобиться також бібліотека TimerOne. Бібліотека використовує таймер 1 контролера Arduino та дозволяє формувати переривання з періодом від 1 мкс до 8,4 сек. Дискретність встановлення часу – 1 мкс.

Отже, з використанням бібліотеки DriverMotor та TimerOne програма керування двигуном із введенням завдання по СОМ-порту, що написана із використанням середовища Arduino IDE має вигляд, що представлений на рис. 4. Такі програми прийнято називати скетчами.

```

//програма драйвера крокового двигуна з керуванням від комп'ютера
#include <TimerOne.h>
#include <DriverMotor.h>
#define TIME_OUT 120 // час тайм-ауту між командами (10,01 мс)
#define NUMBER_OF_STEPS 3200 //Число кроків (мікрокроків) на оборот
#define step_pin 12 // До pin 12 підключено Steps pin
#define dir_pin 13 // До pin 13 підключено Direction pin
#define dir_en 7 // До pin 7 підключено Enable pin
#define Limit01 3 // До pin 10 підключено правий індуктивний датчик
#define Limit02 4 // До pin 11 підключено лівий індуктивний датчик

DriverMotor myMotor(NUMBER_OF_STEPS,step_pin, dir_pin, dir_en,Limit01,Limit02); // створюємо об'єкт типу DriverMotor,

byte timeOutCount; // лічильник часу між прийомом даних
byte timeOut; // лічильник часу між прийомом даних
byte prevDataNum; // кількість даних порту в попередньому циклі
byte lastDataNum; // кількість прийнятих даних
char textBuf[8]; // Буфер для зберігання кількості кроків
char textBuf2[6]; // Буфер 2 для зберігання швидкості переміщення каретки
int i, s, t,3;
int md=0;
unsigned int timeCounter=0; // лічильник часу
unsigned long lastMillis = 0;
void setup()
{
    Timer1.initialize(10); // ініціалізація таймера 1, період 10 мкс
    Timer1.attachInterrupt(timerInterrupt, 10); // задаємо обробник переривань
}
    
```

Рис. 4. Розроблена програма керування кроковим двигуном від СОМ-порту комп'ютера

Середовище розробки Arduino IDE включає у свій склад інструмент "Serial Monitor" («Монітор порта»). Даний інструмент відображає дані, що надходять від Arduino на комп'ютер за послідовним інтерфейсом. Щоб надіслати дані зовнішньому пристрою, досить просто ввести текст у вікні програми і натиснути кнопку «Надіслати» (або натиснути Enter). З випадаючого списку необхідно вибрати тільки швидкість передачі даних, що відповідає тій швидкості, яка вказана у функції Serial.begin() у програмі (скетчі). У нашому випадку швидкість 9600 бод.

Використаємо даний інструмент для керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії.

На початку роботи виконується позиціонування каретки транспортної лінії. Каретка рухається вліво (обертання крокового двигуна проти годинникової стрілки), поки не досягне крайнього лівого положення. При досягненні крайнього лівого положення спрацьовує лівий індуктивний датчик. Двигун, а відповідно і каретка, зупиняється. Починається рух каретки вправо (кроковий двигун обертається за годинниковою стрілкою), поки не буде досягнуто центру транспортної лінії. На цьому позиціонування закінчується. У «Монітор порта» приходить повідомлення START (рис. 5).

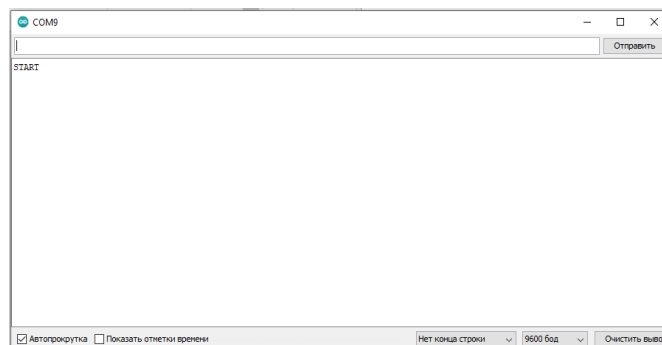


Рис. 5. Отримання повідомлення START

Тепер система готова приймати команду на переміщення. Команда приймається у форматі `ATS= steps_speed` (кількість кроків_швидкість).

Розглянемо декілька команд.

Команда `ATS= 3200_70` ввімкне кроковий двигун на обертання проти годинникової стрілки, що відповідає руху каретки в ліву сторону. Кроковий двигун виконає 3200 мікрокроків зі швидкістю 70 об/хв.

Команда `ATS= -6400_100` ввімкне кроковий двигун на обертання за годинниковою стрілкою, що відповідає руху каретки в праву сторону. Кроковий двигун виконає 6400 мікрокроків зі швидкістю 100 об/хв.

Після прийняття команди в «Моніторі порта» з'являється повідомлення ОК (рис. 6).

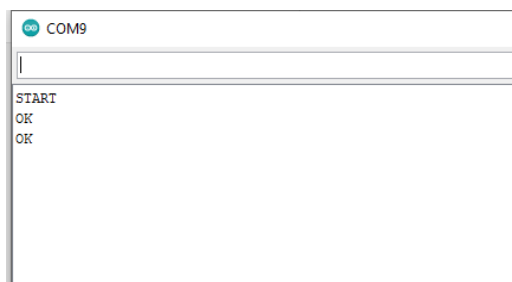


Рис. 6. Монітор порта під час виконання команд на переміщення

Розглянемо, як можна реалізувати керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії за допомогою смартфона або планшета.

Зв'язок між смартфоном та модулем Arduino будемо здійснювати за технологією Bluetooth. Звичайно, це обмежить можливість бездротового керування дистанцією близько 10 м, але в умовах лабораторії більшого і не потрібно. На основі такої технології можна успішно керувати нескладними роботами або пристроями автоматики, а смартфон буде слугувати безкоштовним універсальним пультом управління.

Для початку пояснимо, на якому принципі заснований зв'язок, який ми будемо використовувати. Як відомо, коли модуль Arduino підключається до комп'ютера, конфігурується віртуальний послідовний порт – COM-порт. Він використовується для заливки скетчів в Arduino, а також для обміну інформацією між комп'ютером та мікроконтролером. Також на платі Arduino є два контакти RX і TX, поєднані з пінами D1 і D0. Це контакти відповідно передача (Receive) і прийом (Transmit) стандартного інтерфейсу UART.

Підключивши до цих контактів перехідник Bluetooth-UART (у нашому випадку модуль HC-05) отримаємо апаратний канал зв'язку між пристроєм, підключеним Bluetooth до перехідника, і Arduino.

Таким чином, записуючи в послідовний порт інформацію з одного пристрою та зчитуючи її іншим (це можна робити у двох напрямках), можна організувати обмін інформацією між пристроями. Швидкість такого обміну у разі застосування модуля HC-05 можна налаштувати, у нашому випадку становитиме 38400 бод.

Для створення додатку для планшета або смартфона скористаємося можливостями проекту MIT App Inventor.

MIT App Inventor – це середовище програмування, розроблене у Массачусетському Технологічному Інституті (MIT). Він служить для розробки програм для мобільних пристроїв (смартфонів і планшетів), що працюють на операційній системі Android.

Це не зовсім мова програмування у загальноприйнятому значенні. При його використанні не треба писати текстовий код у вигляді рядків. Програма формується у вигляді зображених на екрані блоків, які просто перетягуються

та складаються, як пазли. Якщо блоки підходять один до одного за логікою програми, вони «злипаються», якщо не підходять, їх неможливо з'єднати. Звичайно, як і в кожній мові в ньому є свої тонкощі та прийоми, але на офіційному сайті є достатньо інформації та прикладів для освоєння мови.

Для того, щоб скористатися середовищем програмування App Inventor необхідно мати обліковий запис Google, за допомогою якого відбувається авторизація на сайті проекту ai2.appinventor.mit.edu. Створення програми відбувається у браузері за умови постійного підключення до Інтернету. Смартфон або планшет, на який встановлюватиметься створена за допомогою App Inventor програма, повинен мати версію ОС Android не нижче 4.0.

У браузері створюється дизайн (зовнішній вигляд) та логіка роботи програми у вигляді блоків, там же готовий проект компілюється у файл, що виконується з розширенням apk. App Inventor формує QR-код, що містить посилання на створений додаток. Таким чином, App Inventor дозволяє створювати цілком працездатні та наочні програми для Android.

Розроблюваний додаток повинен дозволити знайти пристрій Bluetooth та підключитися до нього. Також повинна бути можливість задати кількість кроків, які повинен зробити кроковий двигун та швидкість, з якою це повинно бути зроблено. Із введених даних повинна сформуватися команда у форматі «ATS= кількість кроків_швидкість». Ця команда далі надсилається приєднаному пристрою і отримує відповідь.

Блокова програма має вигляд, що представлений на рис. 7.

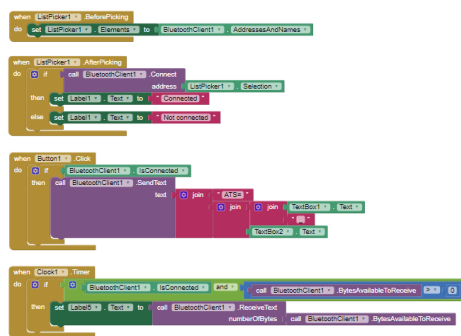


Рис. 7. Логіка роботи програми у вигляді блоків

Під час виклику списку пристроїв при натисненні на кнопку «Виберіть пристрій для підключення» для підключення до Bluetooth будуть відображатися адреси та імена усіх доступних пристроїв.

При виборі зі списку відбувається приєднання до пристрою. На екрані додатку статус підключення змінюється на «Connected». Після успішного підключення потрібно ввести задану кількість кроків та швидкість крокового двигуна. Після цього формується команда на відправку команди по Bluetooth у форматі «ATS=кіл-тькроків_швидкість». При успішному відправленні команди, назад отримується відповідь ОК.

Загальний вигляд додатку, встановлено на операційну систему Android представлено на рис. 8.



Рис. 8. Встановлений додаток

Тестування роботи додатку показало його повну дієздатність. Додаток дозволяє дистанційно через Bluetooth керувати роботою крокового двигуна.

Висновки

Розроблена бюджетна та дієва система керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії, що дозволяє динамічно змінювати параметри системи за допомогою або персонального комп'ютера (ПК), передаючи відповідні команди у систему через СОМ-порт, або за допомогою планшета, передаючи відповідні команди у систему через Bluetooth.

Така система може знайти застосування як у навчальному процесі для відпрацювання стандартних прийомів керування кроковими двигунами та навичок програмування мікроконтролерів, так і в промислових системах, які потребують керування положенням механізму з високою точністю.

Список використаної літератури

1. Димко С.С. Система керування кроковим двигуном на базі мікроконтролера та персонального комп'ютера / Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електротехніки та автоматики. Київ: «Політехніка», 2008. С. 308–311.
2. Бакалин А. Р., Миронец В. В., Голубев Л. П. Микропроцессорная система управления шаговым двигателем с помощью протокола UART / Технологии та дизайн. 2016, № 3. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_7.
3. Дослідження комп'ютерної системи для дистанційного керування кроковим двигуном у системах "розумний дім" / Д. В. Стаценко, Б. М. Злотенко, Т. І. Кулік, М. В. Латко // Сучасні електромеханічні та інформаційні системи : монографія / за заг. ред. І. В. Панасюка. Київ : КНУТД, 2021. С. 9–14.
4. Шеремет А. И., Клименкова Н. В., Клименков А. Г. Математическое описание шагового электропривода и реализация его системы управления на базе микроконтроллера Arduino // Научный вестник ДГМА. № 3 (24Е), 2017. С. 87–96.
5. Офіційна документація проекту Arduino [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>

References

1. Dymko S.S. Stepper motor control system based on a microcontroller and a personal computer / Materials of the international scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students. Modern problems of electrical engineering and automation. Kyiv: Polytechnic, 2008. P. 308–311.
2. Bakalyn A. R., Myronets V. V., Golubev L. P. (2016) Microprocessor control system of a stepper motor using the UART protocol / *Technologies and design*. No. 3. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_7.
3. Research of a computer system for remote control of a stepper motor in "smart home" systems / D. V. Statsenko, B. M. Zlotenko, T. I. Kulik, M. V. Latko // Modern electromechanical and information systems: monograph / in general ed. I. V. Panasyuk. Kyiv: KNUTD, 2021. P. 9–14.
4. Sheremet A. I., Klimchenkova N. V., Klimchenkov A. G. (2017) Mathematical description of the stepper electric drive and realization of its control system based on the Arduino microcontroller / *Scientific Bulletin of the DGMA*. No. 3 (24E). P. 87–96.
5. Official documentation of the Arduino project [Electronic resource]. Retrieved from: <https://www.arduino.cc/>

А. О. ЯРОШ

аспірантка кафедри програмної інженерії
Запорізький національний університет
ORCID: 0009-0003-3495-9009

О. В. КУДІН

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
професор кафедри програмної інженерії
Запорізький національний університет
ORCID: 0000-0002-5917-9127

НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ПРУЖНОСТІ

Значущість розвитку наближених методів у вирішенні диференціальних рівнянь визначається їх широким застосуванням у ключових галузях науки та техніки. Оскільки багато фізичних та інженерних явищ можна математично описати диференціальними рівняннями, але знаходження їх аналітичних розв'язків часто є складним завданням, чисельні методи для наближеного розв'язання стають критично важливими. Ці методи необхідні для комп'ютерного моделювання та симуляції складних технічних систем. Ураховуючи різноманітність диференціальних рівнянь, наближені методи виступають універсальним інструментом, придатним для вирішення важливих завдань у різних галузях, і дозволяють краще враховувати вимоги сучасних обчислювальних технологій. Використання нейронних мереж для наближеного розв'язання диференціальних рівнянь є перспективним напрямком у галузі наукового моделювання. Інноваційний підхід полягає в включенні в мережу фізичної інформації у вигляді складної функції втрат, що поєднує традиційні методи розв'язання фізичних задач із передовими техніками глибокого навчання. У такому підході нейронна мережа, призначена для апроксимації функцій, отримує на вхід не лише вхідні дані, але й фізичну інформацію про систему чи процес, яку вона моделює. Цю фізичну інформацію можна включити у вигляді додаткових параметрів, обмежень чи рівнянь. Складна функція втрат враховує якість апроксимації нейронною мережею, а також фізичні принципи задачі. Це дозволяє нейронним мережам адаптуватися до фізичних обмежень і забезпечує наближене розв'язання задач, враховуючи важливі аспекти фізичної структури. Зазвичай використовуються прості архітектури, наприклад мережі прямого поширення сигналу з невеликою кількістю шарів. У даній роботі досліджується можливість розв'язання нелінійних задач пружності нейромережевим підходом.

Ключові слова: чисельні методи, нейронні мережі, диференціальні рівняння, апроксимація.

A. O. YAROSH

Postgraduate Student at the Department of the Software Engineering
Zaporizhzhia National University
ORCID: 0009-0003-3495-9009

O. V. KUDIN

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Software Engineering Department
Zaporizhzhia National University
ORCID: 0000-0002-5917-9127

NEURAL NETWORK METHODS FOR SOLVING ELASTICITY PROBLEMS

The significance of the development of approximate methods in solving differential equations is determined by their wide application in key fields of science and technology. Since many physical and engineering phenomena can be mathematically described by differential equations, but finding their analytical solutions is often a difficult task, numerical methods for an approximate solution become critically important. These methods are necessary for computer modeling and simulation of complex technical systems. Given the variety of differential equations, approximate methods are a universal tool suitable for solving important problems in various fields, and allow better consideration of the requirements of modern computing technologies. The use of neural networks for the approximate solution of differential equations is a promising direction in the field of scientific modeling. An innovative approach is to include in the network physical information in the form of a complex loss function, which combines traditional methods of solving physical problems with advanced techniques of deep learning. In this approach, a neural network designed to approximate functions receives not only input data, but also physical information about the system or process it models. This physical information can be included as additional parameters, constraints, or equations. The complex loss function takes into account the quality of

approximation by the neural network, as well as the physical principles of the problem. This allows neural networks to adapt to physical constraints and provides an approximate solution of problems, taking into account important aspects of the physical structure. Usually, simple architectures are used, for example, direct signal propagation networks with a small number of layers. This paper investigates the possibility of solving non-linear elasticity problems using a neural network approach.

Key words: numerical methods, neural networks, differential equations, approximation.

Постановка проблеми

Розробка ефективного математичного забезпечення систем аналізу інженерних задач є актуальним напрямом досліджень. Разом із класичними підходами, наприклад, методом скінченних елементів, використовуються також нейронні мережі при прогнозуванні та оптимізації, обробці сигналів тощо [1]. Інженерні задачі часто зводяться до аналізу математичних моделей, які описуються диференціальними рівняннями як лінійними, так і нелінійними [2].

На даний час розвинуто потужні наближені методи розв'язання крайових задач для диференціальних рівнянь та систем з частинними похідними, такі як метод Рітца, Гальоркіна, колокації або скінченних елементів [3]. Альтернативою їм є напрям “scientific machine learning” (SciML) або “Physics-informed machine learning” (PIML) [4; 5], особливістю якого є застосування методів машинного навчання у моделюванні вимогливих до ресурсів наукових задач. Основою для таких методів є теореми про збіжність апроксимації нейронними мережами [6]. Ідея цих підходів полягає у заміні невідомої функції та її похідних нейронною мережею та застосування додаткової інформації з диференціальних рівнянь та граничних умов при навчанні мережі. Так були розроблені, так звані, глибинні варіанти методів Рітца, Гальоркіна, колокації тощо [7–17]. Результатом роботи цих алгоритмів є нейронна мережа з параметрами, що відповідають диференціальному рівнянню та крайовим умовам.

Застосування нейронної архітектури додає чисельним методам такі переваги [5]: штучні нейронні мережі дозволяють апроксимувати нелінійні залежності довільної складності, налаштування параметрів мережі відбувається під час навчання; такі методи є загальними і можуть бути застосованими до звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь у частинних похідних; ефективно працюють на задачах високої розмірності; глибинні методи можуть бути ефективно реалізовані на паралельних архітектурах.

До недоліків можна віднести: необхідність налаштування гіперпараметрів нейромереж, що може бути обчислювально складною задачею; недостатня точність глибинних методів у порівнянні з класичними.

Актуальною задачею є розвиток обчислювальних методів розв'язання диференціальних рівнянь та їх систем у напрямі розширення застосування нейромереж для розв'язання фізичних та інженерних задач, сформульованих у вигляді диференціальних рівнянь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Статтю [7] присвячено розробці загального метода розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь у частинних похідних, який використовує нейронні мережі для апроксимації невідомої функції. Використовується мережа прямого поширення сигналу, параметри якої налаштовуються при мінімізації відповідної функції втрат. В свою чергу, функція втрат складається з двох частин. Перший член відповідає початковим або граничним умовам задачі. Другий член задає нейронну мережу, яка повинна задовольняти диференціальному рівнянню. Особливість цього методу полягає в тому, що розв'язок представляється у замкнутій диференційованій формі, яку можна використовувати у подальших обчисленнях. В той час як традиційні методи пропонують дискретний розв'язок (метод Рунге-Кутта, послідовних наближень тощо). Демонструється збіжність запропонованого метода з точними розв'язками модельних задач.

В роботі [8] розробляється підхід до навчання нейронних мереж на основі даних, що описують деякий фізичний процес. Автори пропонують використовувати апріорні знання про відповідні фізичні закони та гіпотетичні залежності як регуляризатори функції втрат нейромережі. В залежності від характеристик наявних даних, розроблено два типи моделей: з неперервною та дискретною часовою шкалою. Перший тип може використовуватись для апроксимації просторово-часових функцій. Моделі другого типу передбачають ітераційний процес з кроком за часом. В роботі розглянуто параметричні та нелінійні диференціальні рівняння в частинних похідних.

Стаття [9] присвячена розробці нейромережевого варіанта метода Гальоркіна розв'язання багатовимірних параболічних диференціальних рівнянь. Цей варіант метода в цілому відповідає класичному підходу та має такі основні етапи: невідома функція замінюється нейронною мережею, із застосуванням метода автоматичного диференціювання обчислюються необхідні похідні; формується цільова функція, яка є комбінацією квадратичних відхилень значень рівняння та граничних умов; генерується випадкова множина пробних точок з області визначення шуканої функції та граничних умов; обчислюється значення нев'язок цільової функції у випадкових точках; застосовується крок градієнтного спуску до значень параметрів нейронної мережі, причому параметр швидкості навчання зменшується зі зростанням кількості ітерацій алгоритму. Отже, нейромережевий варіант метода Гальоркіна замінює базисні функції на нейронну мережу. Під час навчання мережі стохастичним градієнтним спуском налаштовуються параметри нейромережі з урахуванням диференціального рівняння та крайових умов.

Нейромережевий варіант метода Рітца пропонується в роботі [10]. Основна ідея цього підходу також схожа на попередні з врахуванням того, що цей метод застосовується для варіаційних задач. Функції апроксимації замінюються на нейромережу з параметрами, які налаштовуються під час навчання методом градієнтного спуску.

Робота [11] присвячена адаптації нейромереж до метода колокації на прикладі розв'язання задачі згину тонких квадратних та круглих пластин. Результати обчислювальних експериментів демонструють узгодженість прогнозованої деформації пластини з точним розв'язком. Зазначається, що збільшення кількості шарів нейронної мережі прямого поширення сигналу та кількості нейронів в них, прогнозоване значення наближається до точного. При цьому, використовувались випадкові точки колокації, середня квадратична похибка для оцінки функції втрат та варіант метода градієнтного спуску з адаптивною швидкістю навчання.

Бібліотека розв'язання диференціальних рівнянь DeepXDE, яка є Python реалізацією підходу на основі нейронних мереж з додатковою фізичною інформацією розглядається в статті [12]. Пропонується метод адаптивного уточнення та основні залишків. Результати моделювання порівнюються з методом скінченних елементів. Розглядається задачі апроксимації заданої функції нейронною мережею, розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь у частинних похідних, а також обернена проблема диференціальних рівнянь в частинних похідних. Бібліотека широко застосовується у наукових дослідженнях, зокрема в [13] фізично-інформовані нейронні мережі застосовуються в задачах оптимізації.

В [14] мережі з додатковою фізичною інформацією застосовуються для розробки системи неперервного моніторингу стану механічної системи на основі даних. Розв'язується задача прогину балки Ейлера-Бернуллі. Розглядається розподілене поперечне та точкове навантаження. Результати порівнюються з аналітичним та скінченно-елементним розв'язками, продемонстрована задовільна збіжність нейромережевого метода.

Роботу [15] присвячено адаптації нейронних мереж на основі фізики (Physics-Informed Neural Networks, PINN) для визначення вертикальних переміщень і кутів закручування балок з функціонально-градієнтних матеріалів. Особливість використання PINN в цій роботі полягає у використанні енергетичного підходу. Метод тестується на матеріалі з різними за напрямками властивостями. Наведено кілька чисельних прикладів, які показують гарну узгодженість із розв'язками закритої форми.

В статті [16] представлено застосування PINN для аналізу вигину та вільної вібрації тривимірних пористих балок з функціонально градієнтного матеріалу. Припускається, що властивості матеріалу балки безперервно змінюються в трьох вимірах відповідно до довільної функції. Основні рівняння руху отримані з використанням принципу Гамільтона та розв'язані за допомогою обчислювального підходу PINN. Прогин балки апроксимується за допомогою глибокої нейронної мережі прямого поширення сигналу, вхідною інформацією якої є просторова координата. Параметри мережі навчаються шляхом мінімізації функції втрат, що складається з керівного диференціального рівняння та граничних умов. Власна частота балки розглядається як невідомий параметр у керівному рівнянні; таким чином, його потрібно отримати, розв'язуючи обернену задачу. Ця процедура дозволяє знаходити вищі власні частоти мод, що неможливо за попередніми методами PINN.

Метод найменших квадратів у контексті методології PINN розглядається в роботі [17]. Ключова ідея підходу полягає в тому, щоб перетворити диференціальне рівняння вищого порядку в систему рівнянь нижчого порядку за допомогою додаткових змінних, тоді функція втрат, що складається з інтегралів відповідних квадратів залишків над проблемною областю, мінімізується. Запропонований підхід демонструє переваги порівняно з оригінальним методом PINN з точки зору точності розв'язування, обчислювальної вартості для кількох задач згинання балки, що мають неперервні та розривні розв'язки.

В статті [18] пропонується модель PINN-Stress, яка дозволяє зменшити витрати на обчислення, зберігаючи точність для задач визначення розподілу напруги на основі моделювання кінцевих елементів та з використанням розв'язуючих рівнянь у частинних похідних Використовуючи автоматичне диференціювання, диференціальне рівняння вбудовується у функцію втрат глибокої нейронної мережі. Модель PINN-Stress може прогнозувати послідовність розподілу напруг майже в реальному часі та може узагальнювати краще, ніж модель без PINN.

Неоднорідна балка, що спирається на пружну основу та піддається довільному зовнішньому навантаженню досліджується в [19]. Підхід з використанням нейромереж має на меті передбачити не лише саму шукану функцію, але й її старші похідні. У контексті цієї роботи основною змінною є прогин балки, тоді як її похідні вищого порядку пов'язані з напругою зсуву та моментом балки.

В [20] розглядається задача нелінійного згину тривимірних функціонально градієнтних балок, що спирається на основу Вінклера-Пастернака, використовується платформа глибокого навчання TensorFlow спільно з бібліотекою DeepXDE для проектування мережі.

Статтю [21] присвячено застосуванню PINN у поєднанні зі функціями напружень Ейрі та рядами Фур'є для пошуку оптимальних розв'язків кількох еталонних бігармонічних задач пружності. В роботі виявлено, що збагачення простору ознак за допомогою функцій напружень Ейрі може значно підвищити точність розв'язання за допомогою PINN для бігармонічних диференціальних рівнянь.

В [22] представлено нову методологію для моделювання динаміки балок на пружних основах. Зокрема, моделі балок Ейлера-Бернуллі та Тимошенка на основі Вінклера моделюються з використанням підходу до з PINN

з урахуванням причинності. Звичайні PINN стикаються з проблемами при обробці великих просторово-часових областей, навіть для проблем із аналітичними рішеннями закритої форми. Для подолання цього обмеження використовується функція втрат PINN, яка враховує причинно-наслідковий зв'язок, ефективно фіксуючи базову фізику.

Фреймворк створення нейронної мережі з фізичною інформацією пропонується в [23] для аналізу поведінки нелінійного вигину тривимірної пористої тонкої балки з функціонально градієнтного матеріалу, яка спирається на основу Вінклера-Пастернака.

З огляду наведених статей можна зробити висновок, що нейронні мережі з фізичною інформацією з успіхом застосовуються для розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь у частинних похідних, зокрема, у задачах пружності. Менше висвітлено питання розв'язання нелінійних задач пружності з різною природою нелінійності (геометрична нелінійність або фізична). В той же час, практичні задачі, які виникають перед конструкторами та інженерами, дуже часто є нелінійними та відображають наближену до реальності поведінку конструкції з сучасних матеріалів.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є застосування нейромережевих методів до нелінійних задач теорії пружності. В той же час, виконується тестування розроблених мереж на лінійних задачах та порівняння результатів з аналітичними розв'язками.

Викладення основного матеріалу дослідження

Нейромережу можна подати як складну нелінійну функцією, яка виконує завдання відображення вхідних даних у вихідні. Вона складається з нейронів, які організовані в шари, і кожен нейрон взаємодіє з іншими за допомогою зважених зв'язків та функцій активацій [24].

Припустимо, маємо одношарову нейронну мережу з вектором входу x , виходом y та матрицею ваг W , а також вектором зсуву b . Математично цю мережу можна описати наступним чином:

$$y = f(Wx + b),$$

де

– $f(\cdot)$ – активаційна функція, яка додає нелінійність до моделі.

Наведене рівняння відображає просту трансформацію вхідних даних x у вихід y . Активаційна функція важлива для того, щоб дати нейронній мережі можливість навчатися складнішим взаємозв'язкам та нелінійним шаблонам у даних [24].

Для багатошарових нейронних мереж цей опис може бути розширений, додаючи додаткові шари та ваги. В такому випадку вираз може виглядати як послідовність функцій, де виходи одного шару є входами наступного. Такий підхід дозволяє нейронним мережам моделювати більш складні взаємозв'язки в даних.

Багатошарову нейронну мережу можна узагальнити як композицію функцій, де кожен шар є лінійною трансформацією вхідних даних, а активаційні функції надають нелінійність моделі. Для задач багатовимірних входів та виходів загальна математична форма може виглядати наступним чином.

Нехай маємо L шарів у багатошаровій нейронній мережі. Кожен шар має свою матрицю ваг $W^{[l]}$ та зсув $b^{[l]}$, а також активаційну функцію $f^{[l]}$. Вхідний вектор позначений x , а вихідний вектор мережі – y . Опис функції мережі для одного прикладу може бути подано наступним чином [24]:

$$\begin{aligned} z^{[l]} &= W^{[l]} \cdot a^{[l-1]} + b^{[l]}, \\ a^{[l]} &= f^{[l]}(z^{[l]}), \end{aligned}$$

де

– l – індекс шару (від 1 до L),

– $z^{[l]}$ – лінійна комбінація входів та параметрів шару,

– $a^{[l]}$ – вихідний вектор шару після застосування активаційної функції.

Для багатошарової мережі вивід буде остаточним результатом останнього шару: $y = a^{[L]}$. Отже, загальна функція, яка описує багатошарову нейронну мережу прямого поширення сигналу, може бути визначена як композиція функцій, представлена наступним чином [24]:

$$y = f^{[L]} \left(W^{[L]} \cdot f^{[L-1]} \left(W^{[L-1]} \cdot \left(\dots \cdot f^{[1]} \left(W^{[1]} \cdot x + b^{[1]} \right) + b^{[L-1]} \right) + b^{[L]} \right) \right),$$

де

– L – кількість шарів у нейронній мережі,

- x – вхідний вектор,
- $W^{[l]}$ та $b^{[l]}$ – ваги та зсуви шару l ,
- $f^{[l]}(\cdot)$ – функція активації шару l .

Ця функція представляє собою послідовність лінійних та нелінійних операцій для обробки вхідного вектора та отримання вихідного результату. Кожен шар мережі вносить власний вклад у зміну структури та формування складної залежності між вхідними та вихідними даними.

Ваги $W^{[l]}$ та $b^{[l]}$ мережі є параметрами, які оптимізуються під час навчання для досягнення певного вихідного результату.

У багатошаровій мережі прямого поширення сигналу кожен нейрон у шарі пов'язаний з кожним нейроном в попередньому та наступному шарах. В процесі тренування мережі використовується функція втрат для визначення різниці між прогнозованими та фактичними значеннями. Мета оптимізації – мінімізувати функцію втрат для досягнення точного прогнозу.

Оптимізатор у контексті нейронних мереж – це ключовий елемент тренування, що відповідає за адаптацію параметрів мережі при мінімізації функції втрат. Процес оптимізації розпочинається з обчислення градієнтів функції втрат, які вказують напрямком найшвидшого зменшення втрат. Зазвичай, використовуються такі методи оптимізації, як градієнтний спуск, стохастичний градієнтний спуск та різні варіації, що визначаються задачею та властивостями даних.

Наведені компоненти дозволяють нейромережі моделювати складні та нелінійні залежності в даних. Складність функції може зростати з кількістю шарів, нейронів та загальною складністю архітектури. Тренування нейромережі полягає в підборі оптимальних ваг та зсувів для вирішення конкретної задачі.

PINN представляють собою підхід в області машинного навчання та фізичного моделювання, який поєднує потужність нейронних мереж з диференціальними рівняннями для розв'язання завдань, пов'язаних із фізичними процесами. У контексті PINN, нейронна мережа навчається на основі даних, де вхідні та вихідні пари відображають точки в домені (x, u) , де x – це точка в просторі, а u – відповідне значення фізичної величини. Однак відмінність PINN полягає в тому, що до функції витрат додаються фізичні рівняння, такі як диференціальні рівняння та граничні умови. Це дозволяє моделі не лише апроксимувати дані, а й враховувати фізичні обмеження та відомі закони. Під час оптимізації, PINN шукає розв'язок, який відповідає фізичним законам та навчальним даним, забезпечуючи таким чином фізичну правдоподібність та ефективність у вирішенні задач фізики та інженерії [11].

Розглянемо загальну формулювання для диференціального рівняння n -го порядку з граничними умовами. Нехай $u(x)$ – шукана функція, яка задовольняє рівняння та граничні умови.

У загальному випадку диференціальне рівняння, що описує фізичний процес:

$$F(u, \nabla u, \nabla^2 u, \dots, \nabla^n u, x, t) = 0,$$

де

- $u(x)$ – функція, яка залежить від n змінних $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$,
 - ∇ – градієнт,
 - x – просторові координати,
 - t – час. Функція F виражає диференціальне рівняння з урахуванням похідних до n -го порядку.
- Граничні умови виглядають так:

$$G(u(a), u(b)) = 0,$$

де

- a та b – вектори, представляють нижню та верхню границі домену.
- Функція втрат (Loss Function) нейромережі, яка використовується при оптимізації ваг мережі [11]:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{data}} + \mathcal{L}_{\text{physics}},$$

де

- $\mathcal{L}_{\text{data}}$ відображає середньоквадратичну помилку на основі навчальних даних (в точках колокації),
- $\mathcal{L}_{\text{physics}}$ відображає фізичну помилку, яка включає у себе вирази, що впливають з диференціального рівняння та граничних умов.

Отже, під час оптимізації нейронної мережі визначається функція $u(x)$, яка задовольняє як навчальні дані, так і фізичні закони, що описують систему. Фізичні рівняння та граничні умови включаються безпосередньо в функцію витрат для забезпечення фізичної правдоподібності розв'язку [11].

Розглянемо декілька модельних задач лінійного та нелінійного згину круглих пластин та балок.

Приклад 1. Згин круглої пластини з защемленим контуром. Диференціальне рівняння прогину $w(r)$ [25]:

$$\frac{d^4 w}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^3 w}{dr^3} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r^3} \frac{dw}{dr} = \frac{q}{D}$$

де

- q – значення розподіленого поперечного навантаження,
- D – циліндрична жорсткість пластини,
- r – просторова координата в полярній системі координат.

Граничні умови мають вигляд [25]:

$$\frac{dw}{dr}(a) = 0, \frac{dw}{dr}(0) = 0, w(a) = 0,$$

де

- a – радіус круглої пластини.

Розглянемо поперечний згин круглої одношарової пластини з такими параметрами: товщина пластини $h = 18 \cdot 10^{-3}$ м, радіус $a = 0.4$ м, модуль зсуву та коефіцієнт Пуассона матеріалу – $G = 2.77 \cdot 10^4$ МПа та $\nu = 0.3$ відповідно, розподілене навантаження $q = 0.5$ МПа. Результати порівняння отриманого нейромережевого розв’язку з точним [25; 26] наведено на рисунку 1.

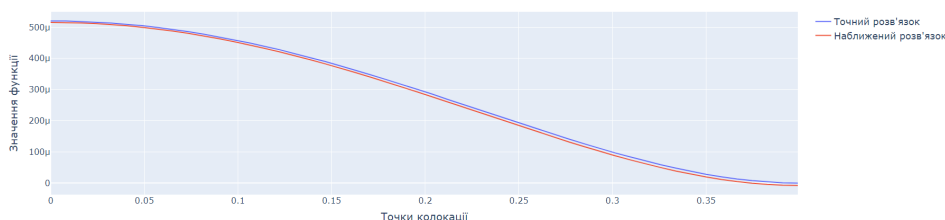


Рис. 1. Защемлення круглої пластини: точний та наближений нейромережевий розв’язки

Програмну реалізацію із використанням бібліотеки Torch у Google Colab наведено <https://t.ly/CA1Rq>

Приклад 2. Згин круглої пластини з шарнірно опертим контуром. Диференціальне рівняння співпадає з рівнянням прикладу 1, а граничні умови:

$$w(a) = 0, -D \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{\nu}{r} \frac{dw}{dr} \right) = 0,$$

де ν – коефіцієнт Пуассона.

Параметри пластини співпадають з прикладом 1. На рисунку 2 наведено результати обчислювальних експериментів. Програмний розв’язок – https://t.ly/_Qaj2.

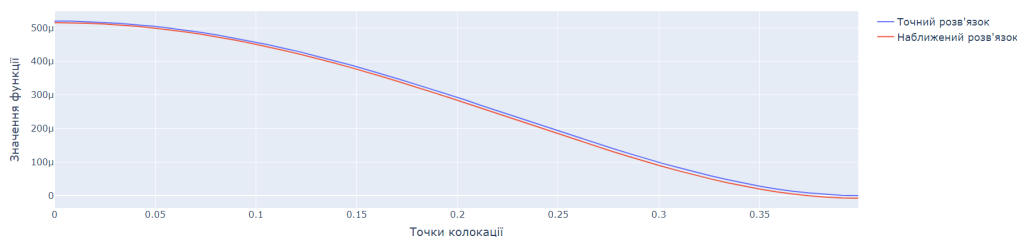


Рис. 2. Вільне опирання круглої пластини: точний та наближений нейромережевий розв’язки

Відносна помилка отриманих наближених розв’язків в задачах згину круглої пластини становить до 2%.

Приклад 3. Згин балки з закріпленими кінцями. Диференціальне рівняння має вигляд [26]:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = \frac{q}{EI}$$

де

- q – значення розподіленого поперечного навантаження,
 - E – модуль Юнга,
 - I – момент інерції балки.
- Граничні умови:

$$w(L) = 0, w(0) = 0, \frac{dw}{dx}(0) = 0, \frac{dw}{dx}(L) = 0,$$

де

- L – довжина балки.

Результати обчислень наведено в таблиці 1. Розглянуто задачу згину балки з круговим перерізом з такими параметрами: довжина $L = 2$ м, розподілене поперечне навантаження $q = 1$ МПа, модуль зсуву $G = 2.77 \cdot 10^4$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.3$, діаметр $d = 0.5$ м.

Таблиця 1

Згин балки. Порівняння значень точного та наближеного розв’язку

Точка колокації	Точний розв’язок	Нейромережевий розв’язок
0	0	0
0.2	1.4396·10 ⁻⁴	1.1106·10 ⁻⁴
0.4	4.5498·10 ⁻⁴	4.2581·10 ⁻⁴
0.6	7.8378·10 ⁻⁴	7.6258·10 ⁻⁴
0.8	10.237·10 ⁻⁴	10.133·10 ⁻⁴
1	11.108·10 ⁻⁴	11.127·10 ⁻⁴

Як можна побачити, похибка максимального прогину становить менше 1%. Програмну реалізацію наведено за посиланням <https://t.ly/sOXtt>

Приклад 4. Згин балки з одним закріпленим кінцем і одним вільним кінцем [26].

Граничні умови мають вигляд:

$$w(0) = 0, \frac{dw}{dx}(0) = 0.$$

Згідно з результатами обчислень, наведеними у Google Colab <https://t.ly/TKVSf> відносна помилка для цієї задачі не перевищує 1%

Приклад 5. Згин балки з одним закріпленим кінцем в геометрично нелінійній постановці [27]. Нелінійне диференціальне рівняння в даному випадку набуває вигляду

$$\frac{d^2w}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \left(1 + \left(\frac{dw}{dx} \right)^2 \right)^{3/2}.$$

Розглядається задача з згину балки коцентрованим навантаженням на вільному кінці з такими параметрами: довжина $L = 1$ м, коцентроване навантаження $q = 30$ Н, модуль Юнга $E = 70$ ГПа, діаметр кругового перерізу $d = 10$ мм. Результати порівняння з лінійного та нелінійного випадків наведено на рисунку 3.

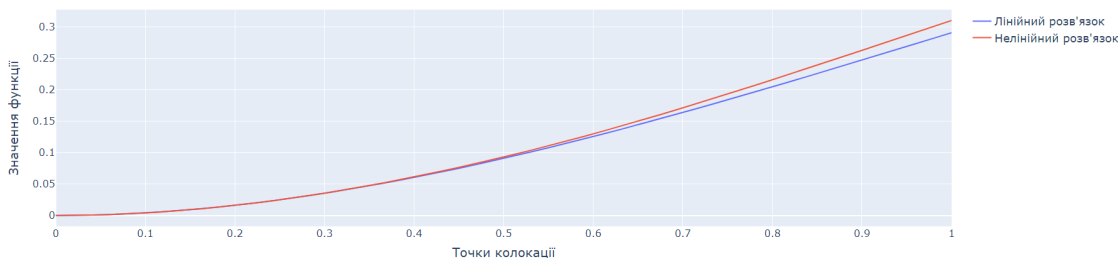


Рис. 3. Геометрично нелінійний згин балки

Максимальний прогин в нелінійному випадку на 6.6% більше лінійного випадку, що відповідає результатам [27]. Приклад програмної реалізації наведено <https://t.ly/XNjNA>.

Приклад 6. Згин балки на фізично нелінійній основі. Розглядається задача згину балки на нелінійно-пружній основі Вінклера під дією концентрованого навантаження в центрі. Нелінійне диференціальне рівняння наведено в роботі [28]:

$$\frac{d^4 w}{dz^4} + \frac{4w}{1 + \mu w} = \frac{4}{k} p(z),$$

де

- z – безрозмірна просторова координата,
- μ – коефіцієнт нелінійності основи Вінклера,
- k – коефіцієнт навантаження.

Функція навантаження визначається через дельта функцію Дірака:

$$p(z) = \bar{P} \delta(z - \alpha),$$

де

- \bar{P} – безрозмірне значення концентрованого навантаження,
- α – точка прикладення концентрованого навантаження.

Граничні умови:

$$w(\beta) = 0, w(0) = 0, \frac{dw}{dx}(0) = 0, \frac{dw}{dx}(\beta) = 0,$$

де

- β – безрозмірна довжина балки.

Розглянемо задачу згину з такими параметрами: довжина балки $\beta = 5$, коефіцієнт нелінійності $\mu = 6$, фактор навантаження $\bar{P}/k = 0.5$. Результати обчислень наведено на рисунку 4, що відповідає роботі [29].

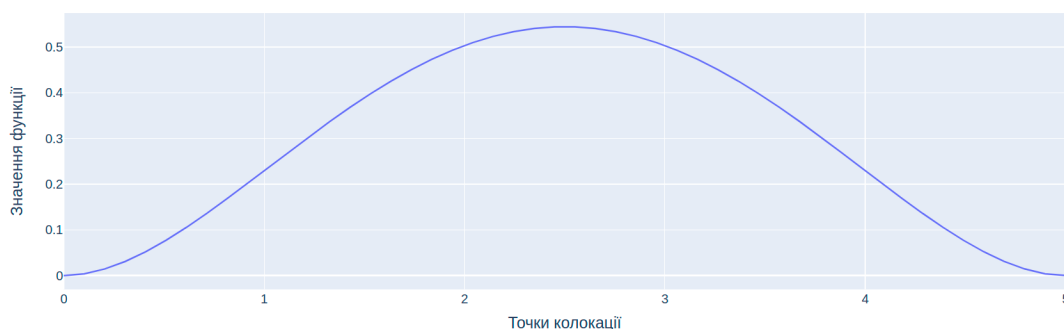


Рис. 4. Згин балки на нелінійній основі

Програмна реалізація <https://t.ly/6KxxJ>.

Висновки

Розглянуто застосування нейронних мереж з фізичною інформацією для розв'язання лінійних та нелінійних задач пружності. Перевагами даного підходу є те, що подібні нейромережі можуть автоматично апроксимувати шукані функції, оскільки при навчанні використовується інформація про диференціальне рівняння та граничні умови. В той же час, суттєвим етапом методів Гальоркіна, колокації або Рітца є вибір базисних або пробних функцій. Цього не потрібно робити при використанні нейромережевого підходу, однак постає питання оптимального налаштування гіперпараметрів мереж. Продемонстрована збіжність з результатами інших робіт з геометрично та фізично нелінійною постановкою задач. Перспективи подальших досліджень полягають у розробці методів розв'язання більш широкого кола нелінійних задач пружності, в тому числі, динамічних.

Список використаної літератури

1. Vladov S., Shmelov Yu., Kotliarov K., Hrybanova S., Husarova O., Derevyanko I., Chyzhova L. Onboard parameter identification method of the TV3-117 aircraft engine of the neural network technologies. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 5/2019 (118), 2019. Р. 90–96.

2. Edwards C.H., Penney D.E., Calvis D.T. *Differential Equations and Boundary Value Problems: Computing and Modeling*. Boston: Pearson, 2014. 797p.
3. Pinder G.F. *Numerical Methods for Solving Partial Differential Equations*. John Wiley & Sons, Inc., 2018.
4. Karniadakis G.E., Kevrekidis I.G., L.Lu, P. Perdikaris, Wang S., Yang L., Physics-informed machine learning, *Nat Rev Phys*, vol. 3, no. 6, pp. 422–440, 2021, doi: 10.1038/s42254-021-00314-5.
5. Willard J., Jia X., Xu S., Steinbach M., Kumar V. Integrating Scientific Knowledge with Machine Learning for Engineering and Environmental Systems. *ACM Comput. Surv.*, 2022, <https://doi.org/10.1145/3514228>
6. Cybenko G.V. Approximation by Superpositions of a Sigmoidal function, *Mathematics of Control, Signals and Systems*, , 1989, vol. 2 no. 4 pp. 303–314.
7. Lagaris I.E., Likas A., Fotiadis D.I. Artificial Neural Networks for Solving Ordinary and Partial Differential Equations. *arXiv:physics/9705023v1*, 1997, <https://doi.org/10.1109/72.712178>
8. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G.E. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics* 378, 2019, 686–707.
9. Sirignano J., Spiliopoulos K. DGM: A deep learning algorithm for solving partial differential equations. *arXiv:1708.07469v5*, 2018.
10. Weinan E, Bing Yu. The Deep Ritz Method: A Deep Learning-Based Numerical Algorithm for Solving Variational Problems. *Commun. Math. Stat.*, 2018, 6:1–12. <https://doi.org/10.1007/s40304-018-0127-z>
11. Hongwei Guo, Timon Rabczuk, and Xiaoying Zhuang. A Deep Collocation Method for the Bending Analysis of Kirchhoff Plate. *arXiv:2102.02617v1*, 2021.
12. Lu Lu, Xuhui Meng, Zhiping Mao, George Em Karniadakis. DEEPXDE: A Deep Learning Library For Solving Differential Equations. *arXiv:1907.04502v2*, 2020.
13. Seo J. Solving real-world optimization tasks using physics-informed neural computing. *Scientific Reports*, 14(1), 202, 2024.
14. Radbakhsh S.H., Zandi K., Nikbakht M. Physics-informed neural network for analyzing elastic beam behavior. *Structural Health Monitoring*, 2023.
15. Duy T.N. Trinh, Khang A. Luong, Jaehong Lee, An analysis of functionally graded thin-walled beams using physics-informed neural networks, *Engineering Structures*, Volume 301, 2024, 117290, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.117290>.
16. Fallah A., Aghdam M.M. Physics-informed neural network for bending and free vibration analysis of three-dimensional functionally graded porous beam resting on elastic foundation. *Engineering with Computers* 40, 437–454 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00366-023-01799-7>
17. Khang A. Luong, Thang Le-Duc, Jaehong Lee, Deep reduced-order least-square method—A parallel neural network structure for solving beam problems, *Thin-Walled Structures*, Volume 191, 2023, 111044, ISSN 0263-8231, <https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.111044>
18. Bolandi, H., Sreekumar, G., Li, X. et al. Physics informed neural network for dynamic stress prediction. *Appl Intell* 53, 26313–26328 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10489-023-04923-8>
19. Faroughi, S., Darvishi, A. & Rezaei, S. On the order of derivation in the training of physics-informed neural networks: case studies for non-uniform beam structures. *Acta Mech* 234, 5673–5695 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00707-023-03676-2>
20. Maziyar Bazmara, Mohammad Silani, Mohammad Mianroodi, Mohsen Sheibanian. Physics-informed neural networks for nonlinear bending of 3D functionally graded beam. *Structures* 49 (2023) 152–162, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.115> 21. Vahab M., Haghighat E., Khaleghi M., Khalili N. A Physics Informed Neural Network Approach to Solution and Identification of Biharmonic Equations of Elasticity. *arXiv:2108.07243*, 2021
22. Kapoor T., Wang H., Núñez A., Dollevoet R. Transfer Learning For Improved Generalizability In Causal Physics-Informed Neural Networks For Beam Simulations. <http://arxiv.org/abs/2311.00578>, 2023.
23. M. Bazmara, M. Mianroodi, and M. Silani, Application of physics-informed neural networks for nonlinear buckling analysis of beams, *Acta Mech. Sin.* 39, 422438 (2023), <https://doi.org/10.1007/s10409-023-22438-x>
24. S. Haykin, *Neural Networks and Learning Machines* (3rd Edition), Prentice Hall, 2009
25. Reddy J.N. *Theory and Analysis of Elastic Plates and Shells* (3rd Edition), CRC Press, 2007.
26. Кудін О.В., Сторожук С.А., Чопоров С.В. Наближені аналітичні та чисельні методи аналізу міцності тришарових тонкостінних конструкцій: монографія. Херсон : Видавничий дім “Гельветика”, 2019. 160 с.
27. Vinson J.R. *The Behavior of Thin Walled Structures: Beams, Plates, and Shells*. Kluwer Academic Publishers, 1989.
28. Wang Z.-Q., Jiang J., Tnag B.-T., Zheng W. High Precision Numerical Analysis of Nonlinear Beam Bending Problems Under Large Deflection. *Applied Mechanics and Materials Vols. 638-640*. P. 1705–1709, 2014. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.638-640.1705>

29. Mohammadpour A., Rokni E., Fooladi M., Kimiaefar A. Approximate Analytical Solution For Bernoulli-Euler Beams Under Different Boundary Conditions With Non-Linear Winkler Type Foundation. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 50, 2, pp. 339–355, 2012.

References

1. Vladov S., Shmelov Yu., Kotliarov K., Hrybanova S., Husarova O., Derevyanko I., Chyzhova L. (2019) Onboard parameter identification method of the TV3-117 aircraft engine of the neural network technologies. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Випуск 5/2019 (118). pp. 90–96.
2. Edwards C.H., Penney D.E., Calvis D.T. (2014) *Differential Equations and Boundary Value Problems: Computing and Modeling*. Boston: Pearson. 797 p.
3. Pinder G.F. (2018) *Numerical Methods for Solving Partial Differential Equations*. John Wiley & Sons, Inc.
4. Karniadakis G.E., Kevrekidis I.G., L.Lu, P. Perdikaris, Wang S., Yang L. (2021) Physics-informed machine learning, *Nat Rev Phys*, vol. 3, no. 6, pp. 422–440, doi: 10.1038/s42254-021-00314-5.
5. Willard J., Jia X., Xu S., Steinbach M., Kumar V. (2022) Integrating Scientific Knowledge with Machine Learning for Engineering and Environmental Systems. *ACM Comput. Surv.*, <https://doi.org/10.1145/3514228>
6. Cybenko G.V. (1989) Approximation by Superpositions of a Sigmoidal function, *Mathematics of Control, Signals and Systems*, vol. 2 no. 4 pp. 303–314.
7. Lagaris I.E., Likas A., Fotiadis D.I. (1997) Artificial Neural Networks for Solving Ordinary and Partial Differential Equations. arXiv:physics/9705023v1, <https://doi.org/10.1109/72.712178>
8. Raissi M., Perdikaris P., Karniadakis G.E. (2019) Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics* 378, 686–707.
9. Sirignano J., Spiliopoulos K. (2018) DGM: A deep learning algorithm for solving partial differential equations. arXiv:1708.07469v5.
10. Weinan E, Bing Yu. (2018) The Deep Ritz Method: A Deep Learning-Based Numerical Algorithm for Solving Variational Problems. *Commun. Math. Stat.*, 6:1–12. <https://doi.org/10.1007/s40304-018-0127-z>
11. Guo H., Rabczuk T., Zhuang X. (2021) A Deep Collocation Method for the Bending Analysis of Kirchhoff Plate. arXiv:2102.02617v1.
12. Lu Lu, Xuhui Meng, Zhiping Mao, George Em Karniadakis. (2020) DEEPXDE: A Deep Learning Library For Solving Differential Equations. arXiv:1907.04502v2, 2020.
13. Seo J. (2024) Solving real-world optimization tasks using physics-informed neural computing. *Scientific Reports*, 14(1), 202.
14. Radbakhsh S.H., Zandi K., Nikbakht M. (2023) Physics-informed neural network for analyzing elastic beam behavior. *Structural Health Monitoring*.
15. Duy T.N. Trinh, Khang A. Luong, Jaehong Lee. (2024) An analysis of functionally graded thin-walled beams using physics-informed neural networks, *Engineering Structures*, Volume 301, 117290, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.117290>.
16. Fallah, A., Aghdam, M.M. (2024) Physics-informed neural network for bending and free vibration analysis of three-dimensional functionally graded porous beam resting on elastic foundation. *Engineering with Computers* 40, 437–454. <https://doi.org/10.1007/s00366-023-01799-7>.
17. Khang A. Luong, Thang Le-Duc, Jaehong Lee. (2023) Deep reduced-order least-square method—A parallel neural network structure for solving beam problems, *Thin-Walled Structures*, Volume 191, 111044, ISSN 0263-8231, <https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.111044>
18. Bolandi, H., Sreekumar, G., Li, X. et al. (2023) Physics informed neural network for dynamic stress prediction. *Appl Intell* 53, 26313–26328. <https://doi.org/10.1007/s10489-023-04923-8>
19. Faroughi, S., Darvishi, A., Rezaei, S. (2023) On the order of derivation in the training of physics-informed neural networks: case studies for non-uniform beam structures. *Acta Mech* 234, 5673–5695. <https://doi.org/10.1007/s00707-023-03676-2>
20. Maziyar Bazmara, Mohammad Silani, Mohammad Mianroodi, Mohsen Sheibanian. (2023) Physics-informed neural networks for nonlinear bending of 3D functionally graded beam. *Structures* 49, 152–162, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.115>
21. Vahab M., Haghghat E., Khaleghi M., Khalili N. (2021) A Physics Informed Neural Network Approach to Solution and Identification of Biharmonic Equations of Elasticity. arXiv:2108.07243.
22. Kapoor T., Wang H., Núñez A., Dollevoet R. (2023) Transfer Learning For Improved Generalizability In Causal Physics-Informed Neural Networks For Beam Simulations. <http://arxiv.org/abs/2311.00578>.
23. Bazmara M., Mianroodi M., Silani M. (2023) Application of physics-informed neural networks for nonlinear buckling analysis of beams, *Acta Mech. Sin.* 39, 422438, <https://doi.org/10.1007/s10409-023-22438-x>
24. Haykin S. (2009) *Neural Networks and Learning Machines* (3rd Edition), Prentice Hall.
25. Reddy J.N. (2007) *Theory and Analysis of Elastic Plates and Shells* (3rd Edition), CRC Press.

26. Kudin O.V., Storozhuk Ye.A., Choporov S.V. (2019) Nablyzheni analitychni ta chyselni metody analizu mitsnosti trysharovykh tonkostinnykh konstruksii: monohrafiia [Approximate analytical and numerical methods for analyzing the strength of three-layer thin-walled structures: monograph]. Kherson : "Helvetyka". 160 s.
27. Vinson J.R. (1989) The Behavior of Thin Walled Structures: Beams, Plates, and Shells. Kluwer Academic Publishers.
28. Wang Z.-Q., Jiang J., Tnag B.-T., Zheng W. (2014) High Precision Numerical Analysis of Nonlinear Beam Bending Problems Under Large Deflection. Applied Mechanics and Materials Vols. 638-640. P. 1705-1709. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.638-640.1705>
29. Mohammadpour A., Rokni E., Fooladi M., Kimiaeifar A. (2012) Approximate Analytical Solution For Bernoulli-Euler Beams Under Different Boundary Conditions With Non-Linear Winkler Type Foundation. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 50, 2, pp. 339–355.

УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 631.11.631.1.027:65.011.3

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.42>

Н. В. КОЛОДНЕНКО

кандидат економічних наук,
доцент кафедри маркетингу та логістики
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-8661-9511

Т. В. УСТІК

доктор економічних наук,
професор кафедри маркетингу та логістики
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0001-9967-0669

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ МАРКЕТИНГОВИМИ РИЗИКАМИ ЯК ЗАСІБ ПОКРАЩЕННЯ МАРКЕТИНГОВОЇ ПОЛІТИКИ ПІДПРИЄМСТВ СФЕРИ АГРОБІЗНЕСУ

В роботі здійснене комплексне науково-теоретичне дослідження проблеми пошуку шляхів зниження маркетингових ризиків підприємницької діяльності.

Маркетингова діяльність у сфері сільськогосподарського підприємства розвивається в умовах формування внутрішнього ринкового середовища, що призводить до додаткових ризиків та невизначеностей. Важливо відзначити, що саме маркетинг стає ключовим фактором для довгострокового існування сільськогосподарського підприємства на ринкових умовах, і, отже, маркетингові ризики набувають великого значення. З огляду на високий рівень ризиків у цій галузі, держава активно впливає на агропромисловий сектор, що ускладнює застосування класичних маркетингових інструментів у сільському господарстві. Розробка стратегії мінімізації маркетингових ризиків вимагає специфічних інструментів управління.

Обрана тема дослідження виправдана актуальністю та необхідністю докладного вивчення окремих аспектів маркетингової діяльності сільськогосподарських підприємств у нових умовах ринкової перебудови.

У роботі висвітлено напрямки зниження маркетингових ризиків підприємств, зокрема визначено особливості управління такими ризиками як засіб покращення маркетингової політики. Розроблена модель ризикоорієнтованої маркетингової стратегії, а також акцентовано увагу на необхідності створення карти ризиків як складової програми управління ризиками на підприємстві.

Ефективність агровиробництва та загальна конкурентоспроможність продукції як на національному, так і міжнародному ринках також залежать від якості аналізу, рівня прийнятого ризику та методів його хеджування, що вимагає використання науково обґрунтованих методів управління ризиками. Водночас розвиток диверсифікації ринків підняв на новий рівень вимоги стосовно класифікації та оцінювання ризиків, що має безпосередній вплив на результати діяльності агросектору

Маркетингові ризики відносяться до небезпек або невизначеностей, які можуть виникнути в процесі реалізації маркетингових стратегій та дій. Ці ризики можуть впливати на успішність маркетингових кампаній, продажів продукції чи послуг, і загалом на позицію підприємства на ринку.

Управління маркетинговими ризиками передбачає ретельне планування, аналіз і контроль заходів, що дозволяє зменшити вплив негативних факторів та використовувати можливості для покращення ринкового положення підприємства. Маркетингові ризики підприємства можна класифікувати за різними критеріями в залежності від їх джерела, природи та впливу на маркетингову діяльність.

Ключові слова: ризики, маркетингові ризики, ризикоорієнтована стратегія, управління маркетинговими ризиками, страхування ризиків, карта ризиків.

N. V. KOLODNENKO

PhD in Economics,
Associate Professor at the Department of Marketing and Logistics
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-8661-9511

T. V. USTIK

Doctor of Economics,
Professor at the Department of Marketing and Logistics
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0001-9967-0669

FEATURES OF MARKETING RISK MANAGEMENT AS A MEANS OF IMPROVING THE MARKETING POLICY OF AGRIBUSINESS COMPANIES

In the work, a comprehensive scientific and theoretical study of the problem of finding ways to reduce marketing risks of entrepreneurial activity is carried out.

Marketing activity, its place and significance for an agricultural enterprise develops in parallel with the formation of the domestic market environment; this situation is an additional source of risks and uncertainty. It should be noted that the marketing activity of an agricultural enterprise is the guarantee of its long-term existence in market conditions, and therefore the marketing risks of the enterprise are of high importance. Due to the characteristic high level of risks for agricultural enterprises, in order to maintain conditions of stability and development, the state actively influences the agro-industrial complex, therefore the use of classic marketing tools in the activities of agricultural enterprises is complicated, and the strategy of minimizing marketing risks for such an enterprise requires specific management tools. The relevance of the topic and the inadequacy of the study of its individual aspects in the conditions of market restructuring determined the choice of the research topic, its content, goal and task.

The work substantiates the directions of reducing marketing risks of enterprises, in particular, the peculiarities of marketing risk management at an agricultural enterprise as a means of improving marketing policy are substantiated, a model of risk-oriented marketing strategy is developed. Attention is focused on the need to develop a risk map as an element of the enterprise's risk management program.

The efficiency of agricultural production and the overall competitiveness of products both on the national and international markets also depend on the quality of the analysis, the level of accepted risk and the methods of its hedging, which requires the use of scientifically based risk management methods. At the same time, the development of diversification of markets raised to a new level the requirements regarding the classification and assessment of risks, which has a direct impact on the results of the agricultural sector.

Marketing risks refer to dangers or uncertainties that may arise in the process of implementing marketing strategies and actions. These risks can affect the success of marketing campaigns, sales of products or services, and generally the company's position on the market.

Management of marketing risks involves careful planning, analysis and control of measures, which allows to reduce the impact of negative factors and use opportunities to improve the market position of the enterprise. Marketing risks of the enterprise can be classified according to various criteria, depending on their source, nature and impact on marketing activities.

Key words: risks, marketing risks, risk-oriented strategy, marketing risk management, risk insurance, risk map.

Постановка проблеми

В першу чергу, маркетингові ризики пов'язані зі змінами в смаках та уподобаннях споживачів, а також можуть бути викликані економічними кризами, що впливають на попит на продукцію чи послуги. Зміни у конкурентному середовищі, поява нових конкурентів або стратегічні дії конкурентів можуть впливати на ринкову частку підприємства. Недостатня відповідність маркетингових стратегій, рекламних кампаній чи комунікаційних заходів очікуванням споживачів може негативно сказатися на іміджі бренду та обсягах продажів. Запровадження нових технологій або використання інновацій може впливати на вигляд і функціональність продуктів чи послуг, що може стати як перевагою, так і ризиком для підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ефективне управління маркетинговими ризиками на аграрному підприємстві передбачає систематичний підхід та постійний моніторинг ринкових умов. Важливо враховувати особливості галузі та конкретного підприємства при впровадженні стратегій управління ризиками. Цей процес включає ряд стратегій та заходів, спрямованих на зменшення можливих негативних впливів ринкових факторів на успішність бізнесу.

В управлінні маркетинговими ризиками в аграрному секторі важливо враховувати кілька ключових напрямів. Серед них варто виділити проведення систематичних досліджень ринку, що охоплюють аналіз попиту, пропозиції, цін, тенденцій споживання, конкуренції та інших факторів, що можуть впливати на ринок сільськогосподарської продукції. Також слід ретельно вивчати діяльність конкурентів, оцінювати їхні стратегії маркетингу та адаптувати власні дії відповідно до змін на ринку.

Додаткове розширення асортименту шляхом включення нових видів продукції або розширення наявного асортименту може сприяти зменшенню ризиків, пов'язаних зі змінами в попиті на конкретні товари. Розширення ринків та розміщення сільськогосподарських угідь може виявитися ефективним для зниження впливу коливань на місцевих ринках. Укладення довгострокових угод з покупцями або постачальниками може сприяти зменшенню нестабільності цін та забезпечити більшу стабільність у виробництві та збуті. Застосування інструментів фінансового захисту, таких як ф'ючерси чи опціони на сільськогосподарські товари, може допомогти знизити вплив коливань цін на продукцію.

Аграрні підприємства, що спеціалізуються на виробництві та переробці сільськогосподарської продукції, також мають справу з різноманітними маркетинговими ризиками.

– Кліматичні та природні небезпеки, такі як негода, повені чи град, можуть негативно впливати на виробництво та якість сільськогосподарської продукції. Зміни в рівні врожайності можуть впливати на обсяги виробництва та вартість продукції.

– Ризики цін: Зміни у ринкових цінах на сільськогосподарську продукцію можуть впливати на фінансовий стан аграрного підприємства.

– Ризики ринкової динаміки: Зміни в споживчому попиті або обмеження експорту можуть створити нестабільність на ринку для аграрної продукції.

– Логістичні ризики: Проблеми з транспортом та логістикою можуть впливати на процес постачання сільськогосподарської продукції на ринок.

– Ризики в області технологій: Недоступність або обмеженість використання новітніх технологій може вплинути на продуктивність виробництва.

– Правові ризики: Зміни в законодавстві, що регулює сільське господарство, можуть впливати на виробництво та реалізацію аграрної продукції.

– Ризики іміджу: Проблеми з якістю продукції чи харчові скандали можуть вразити репутацію аграрного бренду.

– Сезонні ризики: Залежність від сезонності може призводити до нерівномірного графіка доходів та збільшеного попиту в певні періоди року.

Окремо варто виділити ризик взаємодії з партнерами та конкурентами під час продажу продукції, до якого можна віднести ризики неефективної рекламної компанії, неефективного використання збутових моделей; ризик співпраці з неплатоспроможними партнерами; затримка партнерами з виконання їх договірних зобов'язань; зупинка партнерів щодо спільної бізнесової діяльності тощо [7, с. 55].

Для зменшення цих ризиків аграрні підприємства можуть використовувати стратегії диверсифікації виробництва, впровадження сучасних технологій, укладання договорів на постійні поставки, аналіз ринкових тенденцій та активне взаємодію з ринком.

Формулювання мети дослідження

Сформульована мета наукового дослідження визначає виконання таких завдань: – Аналіз теоретико-методичних засад управління маркетинговими ризиками торгівельних підприємств.

– Дослідження організаційно-економічних характеристик підприємства.

– Оцінка маркетингової діяльності підприємства.

– Проведення оцінювання маркетингових ризиків підприємства.

– Визначення особливостей управління маркетинговими ризиками на підприємстві.

– Розробка стратегії управління маркетинговими ризиками на основі оцінок та визначень.

– Обґрунтування використання карти ризиків як необхідної складової програми управління ризиками на підприємстві.

Викладення основного матеріалу дослідження

Ефективне управління запасами може запобігти надлишковому залишку товарів або невикладному зберіганню продукції. Забезпечення гнучкості виробництва є ключовим для швидкого реагування на зміни в попиті. Приєднання до фермерських об'єднань або кооперативів може створити додаткові можливості для об'єднання ресурсів та спільної реакції на виклики ринку. Активна готовність адаптувати стратегії управління маркетинговими ризиками відповідно до змін на ринку. Забезпечення постійного навчання персоналу для використання останніх маркетингових та аналітичних інструментів.

Всі зазначені складові представимо в моделі управління маркетинговими ризиками (рис. 1).

Шляхом експертної оцінки були ідентифіковані ключові групи ризикових факторів для економічної діяльності підприємств, які можна класифікувати наступним чином:

а) Фактори, пов'язані з непередбачуваними змінами природно-кліматичних умов та, відповідно, коливаннями врожайності зернових культур, які використовуються як сировина в виробничих процесах підприємства (природа);

б) Фактори ринкового ризику, які створюють сприятливі або небезпечні зовнішні умови для господарської діяльності компанії (включаючи всі зовнішні впливи, які опосередковано впливають на ринок (ринки));



Рис. 1. Модель управління маркетинговими ризиками

в) Внутрішні фактори ризику, що виникають з характеру економічної діяльності компанії (зазвичай відображаються в обраній стратегії управління ризиками господарської діяльності компанії (підприємство).

Для того, щоб побудувати цілісну модель виникнення ризиків, групу факторів ризику, які є основними елементами системи, слід доповнити ще одним регулюючим елементом – державою (рис. 2).

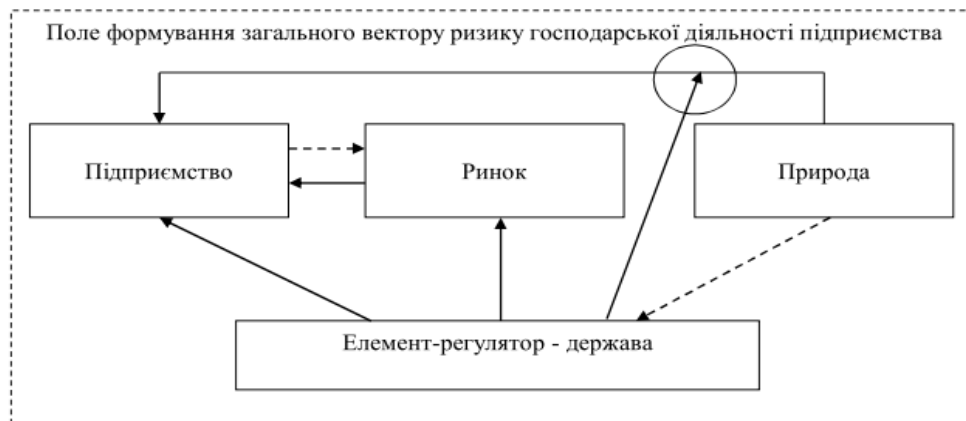


Рис. 2. Моделювання системи формування сукупного ризику господарської діяльності підприємства

Розглядаючи взаємозв'язок різних компонентів системи формування ризиків у господарській діяльності підприємства, важливо враховувати, що саме «підприємство» є найбільш вразливим елементом, який піддається впливу інших компонентів цієї системи. Ризик банкрутства та зниження прибутковості є значущим показником для оцінки ризиків, що виникають внаслідок «підприємницької» складової. Слід приділити увагу особливому значенню факторів ризику, які випливають з «ринкової» складової. Саме ринок визначає попит на товари, визначає ймовірність продажу та встановлює обґрунтовані обсяги виробництва.

Інші компоненти системи формування ризиків у господарській діяльності підприємства є «природними» елементами, на які переважно не впливають інші учасники та регуляторні фактори. Однак загальні «природні» елементи впливу природно-кліматичних ризиків безпосередньо впливають на інші компоненти системи формування ризиків у господарській діяльності підприємства і навіть мають вплив на поведінку регуляторних факторів [5].

Комплексна експертна оцінка загального рівня бізнес-ризиків представлена нижче (табл. 1).

Таким чином, як видно з табл. 1, кожен з експертів поступово визначає рівень кожного ризик-фактору та його частку у формуванні підсумкового рівня ризику аграрного підприємства. На основі отриманих даних за допомогою комплексної моделі експертного оцінювання загального рівня ризику господарської діяльності підприємства (1) узагальнюються оцінки експертів з урахуванням коефіцієнта зонального ризику.

Таблиця 1

Програма, в рамках якої експерти комплексно оцінюють загальний рівень ризику господарської діяльності підприємства

Фактор ризику	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	...	Експерт n
Питома вага оцінки експерта в загальній оцінці	d1	d2	d3		dn
Фактор ризику 1	r11	r21	r31	...	rn1
	Y (r11)	Y (r21)	Y (r31)	...	Y (rn1)
Фактор ризику 2	r12	r22	r32	...	rn2
	Y (r12)	Y (r22)	Y (r32)	...	Y (rn2)
Фактор ризику 3	r13	r23	r33	...	rn3
	Y (r13)	Y (r23)	Y (r33)	...	Y (rn3)
...

Фактор ризику t	r1m	r2m	r3m	...	rn3
	Y (r1m)	Y (r2m)	Y (r3m)	...	rm

$$R_{\text{заг}} = k_{\text{з.р.}} \times \sum_{k=1}^{k=m} (r_{\text{нцк}} \times Y_{\text{нцк}}) \tag{1}$$

де $R_{\text{заг}}$ – загальний рівень ризику, $k_{\text{з.р.}}$ – коефіцієнт зонального ризику, $r_{\text{нцк}}$ – середньозважена оцінка k-го фактору ризику, $Y_{\text{нцк}}$ – середньозважена вага k-го фактору ризику в загальній оцінці ризику господарської діяльності підприємства, значення індексу $K = 1, 2, 3, \dots m$. При цьому, m – загальна кількість обраних для оцінки факторів ризику.

Розрахунок $r_{\text{нцк}}$ здійснюється для кожного окремого фактору ризику за такою формулою:

$$r_{\text{нцк}} = \sum_{b=1}^{b=n} (r_b \times d_b) \tag{2}$$

де $r_{\text{нцк}}$ – оцінки факторів ризику, зроблені експертами, $d_{\text{нцк}}$ – вагові коефіцієнти, що характеризують ступінь довіри оцінкам окремих експертів (питома вага оцінки експерта в загальній оцінці ризику).

Розрахунок $Y_{\text{нцк}}$ здійснюється для кожного окремого фактору ризику за наступною формулою:

$$Y_{\text{нцк}} = \sum_{b=1}^{b=n} (Y_b \times d_b) \tag{3}$$

де $Y_{\text{нцк}}$ – оцінки питомих ваг факторів ризику в загальній оцінці ризику господарської діяльності підприємства, зроблені експертами.

За допомогою спеціально розробленої анкети для проведення інтерв'ю з експертами, була запропонована система інструментів для комплексної оцінки ризиків у господарській діяльності підприємств. Експертне оцінювання ризиків у господарській діяльності підприємства проводилось у два етапи. Перший етап включав визначення основних факторів ризику та їх класифікацію за групами. Другий етап передбачав пряму оцінку впливу груп факторів ризику на загальний рівень ризику господарської діяльності підприємства, а також проведення експертної оцінки рівня ризику, утвореного окремими групами факторів.

В групу ключових ризик-факторів господарської діяльності аграрного підприємства віднесено наступні:

- а) «Природа» (П);
- б) «Ринок» (Р);
- в) «Підприємство» (ПП).

Регуляторні елементи, представлені державою, не включені до факторів ризику через їх передбачувану та раціональну поведінку, а також особливу роль держави у впровадженні заходів з управління ризиками.

На роль експертів були залучені ключові спеціалісти підприємств. Кожен експерт користувався однаковою рівнем довіри, що відображено у відсотковому співвідношенні їхніх оцінок при формуванні загальної оцінки групи факторів ризику в господарській діяльності підприємства. Варто відзначити, що оцінка груп ризиків «природа» та

«ринок» залишалася однаковою для всіх підприємств, тоді як оцінка групи ризик-факторів «підприємство» залежала від особливостей кожного конкретного підприємства. Перед проведенням оцінки рівня ризику за групою факторів «підприємство» експерти були інформовані про результати комплексної оцінки ризиків зовнішнього середовища підприємств у регіоні.

Для визначення рівня ризику, який виникає від конкретної групи ризик-факторів у господарській діяльності підприємства, використовуються квалітативні оцінки. Шкала таких оцінок включає значення «дуже низький», «низький», «середній», «високий» та «дуже високий». Крім того, крім якісної оцінки, експерт також визначає відсотковий внесок кожної групи ризик-факторів у загальний рівень ризику господарської діяльності. Загальна вага групи ризик-факторів, призначена експертом, повинна складати 100%. Для оцінки рівня ризику за кожною визначеною групою використовується вказана шкала ризик-факторів використано наступну шкалу ранжування оцінок (табл. 2).

Таблиця 2

Шкала ранжування якісних оцінок рівня ризику господарської діяльності підприємств

Якісна оцінка рівня ризику	Рангове значення
Дуже низький	0–1
Низький	1–2
Середній	2–3
Високий	3–4
Дуже високий	4–5

Результати проведеного оцінювання ризиків господарської діяльності підприємств наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати експертної оцінки ризиків господарської діяльності підприємств

Експерт	Частка експерта в загальній оцінці	Оцінка груп факторів ризику							
		П – природа		Р – ринок		ПП – підприємство			
		оцінка питомої ваги, %	оцінка рівня ризику	оцінка питомої ваги, %	оцінка рівня ризику	оцінка питомої ваги, %	Оцінка рівня ризику		
						ФГ Натон	ТОВ АФ «Вікторія»	СП АГРОС	
1.	0,1	5	4	70	5	25	3	4	5
2.	0,1	10	3	10	5	80	2	3	1
3.	0,1	10	3	40	3	50	1	2	3
4.	0,1	10	2	45	4	45	3	4	4
5.	0,1	15	3	45	4	40	3	3	5
6.	0,1	30	2	35	2	35	4	4	5
7.	0,1	25	4	25	5	50	2	3	5
8.	0,1	30	1	50	3	20	4	4	5
9.	0,1	15	2	70	5	15	1	2	4
10.	0,1	25	3	50	3	25	2	3	4
Середнє	0,1	17,5	2,7	44,0	3,9	38,5	2,5	3,2	4,4

Згідно даних табл. 2, одержано такі середньозважені оцінки частки груп ризик-факторів в формуванні підсумкового рівня ризику господарської діяльності підприємств: П – «Природа» – 17,5%; Р – «Ринок» – 44,0%; ПП – «Підприємство» – 38,5%. Графічне представлення отриманої експертної оцінки наведено на рис. 3.

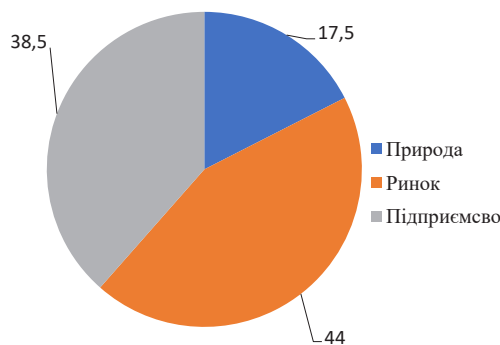


Рис. 3. Експертна оцінки частки груп ризик-факторів ризику у загальному ризику підприємства

На основі експертних оцінок було отримано середньозважену оцінку рівня ризику, що виникає в кожній групі ризиків господарської діяльності підприємств, яку було представлено у вигляді порядкового значення: П – «Природа» – 2,7; Р – «Ринок» – 3,9; ПП – «Підприємство»:

- ФГ «Натон» – 2,5;
- ТОВ АФ «Вікторія» – 3,2;
- СП АГРОС – 4,4.

За експертними оцінками рівня ризику господарської діяльності підприємств від окремих груп факторів ризику, група факторів ризику Р – «ринок» має відносно високий рівень ризику, група факторів П – «природа» виявляє середній рівень ризику, а група факторів ПП – «підприємство», оцінка варіюється в залежності від специфіки господарської діяльності підприємства.

На рисунку 4 наведено графічне зображення експертної оцінки рівня ризику опитаних компаній за групами факторів ризику.

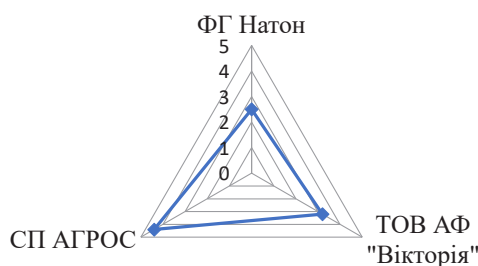


Рис. 4. Експертна оцінка рівня ризику опитаних компаній за групами факторів ризику

Загальна середньозважена оцінка ризику господарської діяльності підприємств, розрахована на прикладі підприємств ФГ «Натон», ТОВ АФ «Вікторія» та СП АГРО за формули 1, становить:

1. Для ФГ «Натон»:

$$R_{3AG} = k_{з.р.} \times \sum_{k=1}^{k=m} (r_{сзк} \times Y_{сзк}) = 0,86 \times (2,7 \times 0,175 + 3,9 \times 0,44 + 2,5 \times 0,385) = 2,65$$

у відповідності до шкали якісних оцінок рівня ризику значення 2,65 відповідає середньому рівню ризику.

2. Для ТОВ АФ «Вікторія»:

$$R_{3AG} = k_{з.р.} \times \sum_{k=1}^{k=m} (r_{сзк} \times Y_{сзк}) = 0,86 \times (2,7 \times 0,175 + 3,9 \times 0,44 + 3,2 \times 0,385) = 2,8$$

отримана величина якісної оцінки ризику 2,8 також свідчить про середній рівень ризику.

3. Для СП АГРО:

$$R_{3AG} = k_{з.р.} \times \sum_{k=1}^{k=m} (r_{сзк} \times Y_{сзк}) = 0,86 \times (2,7 \times 0,175 + 3,9 \times 0,44 + 4,4 \times 0,385) = 3,6$$

одержане значення показника рівня ризику для підприємства 3,6 ідентифікується як величина високого рівня ризику.

Отже, отримано загальну середньозважену оцінку рівня ризику господарської діяльності підприємств у Сумській області, яка представлена у формі рейтингу. Якісний аналіз числових значень рівня ризику здійснюється відповідно до рангової шкали якісної оцінки ризику господарської діяльності підприємств.

Управління в умовах повністю неконтрольованого середовища вимагає більшої гнучкості, а також розробки стратегій, що дозволяють адаптуватися до змін та враховувати невизначеність та несприятливі фактори, які не піддаються безпосередньому контролю. Таке середовище характеризується тим, що підприємство має обмежений або ж відсутній вплив на багато чинників, які впливають на його діяльність. Це означає, що певні аспекти діяльності підприємства залежать від зовнішніх факторів, на які воно не може впливати [3]. Декілька аспектів, які можуть бути абсолютно неконтрольованими для підприємства, включають природні умови, світові події та геополітику, технологічні, соціально-культурні та інші.

Висновки

Результати науково-прикладного дослідження вирішили завдання щодо управління маркетинговими ризиками аграрних підприємств. Виявлено, що ідентифікація, об'єднання та оцінка маркетингових ризиків є важливою основою для прийняття ефективних комерційних рішень в умовах невизначеності чи нестабільності. Використання аналітичних методів управління ризиками дозволяє формувати інформацію, що зменшує вплив ризиків на підприємницьку діяльність аграрного підприємства.

Комплексне оцінювання маркетингових ризиків агропідприємств вимагає використання релевантних інструментів для вимірювання впливу ризик-факторів на різних рівнях та систематизації даних. Це допомагає

сформувати повне уявлення про загрози для стабільної діяльності агропідприємства та визначити їхні причини та наслідки. Експертний аналіз визначив п'ять основних факторів макросередовища, що впливають на сільсько-господарські підприємства.

Зазначено, що управління маркетинговими ризиками в сільському господарстві включає проведення регулярних досліджень ринку, аналіз попиту, пропозиції, цін, тенденцій споживання, конкуренції та інших факторів. Також важливе слідування за конкурентами, оцінка їхніх стратегій маркетингу та реакція на зміни в ринкових умовах. Запропонована система інструментів для комплексної оцінки ризиків господарської діяльності підприємств була визначена за допомогою спеціально розробленої анкети для інтерв'ю з експертами.

Список використаної літератури

1. Гудзь Ю., Джерельюк Ю., Кравчик Ю. Етапи формування маркетингової стратегії підприємства. *Innovation and Sustainability*. 2023. № 1. С. 197–203.
2. Дорош Н. І. Оцінювання управління ризиками як функція внутрішнього ризикорієнтованого аудиту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*. 2017. № 5 (194). С. 13–21.
3. Євтушенко Г.В. Особливості управління ризиками в аграрному секторі економіки. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. 2020. С. 49–52.
4. Занора В.О., Войтко С.В. Управління підприємствами: планування технологічних витрат, ризик-менеджмент, мотивування, прийняття управлінських рішень: монографія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського; Політехніка, 2017. 224 с.
5. Карпенко Л., Чорненька Л. Ідентифікація та управління ризиками в маркетинговій діяльності. *Економічний простір*. 2022. 180. С. 54–57.
6. Кириченко Н.В. Методичні основи формування системи ризик менеджменту аграрних підприємств. *Агровісвіт*. № 9–10. 2021. С. 46–52.
7. Коляда Ю. В., Кмитюк Т. Л., Шатарська І. Ф. Система методів та моделей оцінювання нелінійної динаміки числової міри економічного ризику. *Ефективна економіка*. 2020. № 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8052> (дата звернення: 18.11.2023).
8. Красноручський О.О., Маренич Т. Г., Марченко В. А., Помоголова Н. В. Трансформація маркетингу аграрних підприємств в умовах воєнного часу. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2023. Том 8. № 3. С. 10–17.
9. Мандич О.В., Науменко А.О., Устік Т.В., Колодненко Н.В. Реінжиніринг бізнес-проектів: організаційні, управлінські та фінансові аспекти. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2022. Том 7 № 2, ст. 53–59.
10. Мандич О.В., Бабко Н.М., Устік Т.В., Колодненко Н.В. Формування digital-стратегії компанії. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2022. Том 7 № 4 ст. 10–15.

References

1. Hudz Yu., Jerelyuk Yu., Kravchuk Yu. (2023) Stages of formation of the marketing strategy of the enterprise. [Etapny formuvannya marketynhovoї stratehii pidpryemstva]. *Innovation and Sustainability*. No. 1. P. 197-203 [in Ukrainian].
2. Dorosh N. I. (2023) Assessment of risk management as a function of internal risk-oriented audit. [Otsiniuvannya upravlinnia ryzykamy yak funktsiia vnutrishnoho ryzykorientovanoho audytu] *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Economy*. No. 5 (194). P. 13–21.
3. Yevtushenko H.V. (2020). Peculiarities of risk management in the agricultural sector of the economy. [Osoblyvosti upravlinnia ryzykamy v ahrarnomu sektori ekonomiky]. *Scientific Bulletin of the International Humanitarian University* P. 49–52.
4. Zanora V.O., Voitko S.V. (2017). Management of enterprises: planning of technological costs, risk management, motivation, management decision-making: monograph. [Upravlinnia pidpryemstvamy: planuvannya tekhnolohichnykh vytrat, ryzyk-menedzhment, motyvuvannya, pryiniattia upravlinskykh rishen] Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi; Polytechnic, 224 p. [in Ukrainian].
5. Karpenko L., Chornenka L (2022). Identification and management of risks in marketing activity. [Identyfikatsiia ta upravlinnia ryzykamy v marketynhovii diialnosti]. *Economic space*. 180. P. 54–57.
6. Kirichenko N.V. (2021) Methodological foundations of formation of the system of risk management of agricultural enterprises. [Metodychni osnovy formuvannya systemy ryzyk menedzhmentu ahrarnykh pidpryemstv] *Agroworld* No. 9–10. P. 46–52.
7. Kolyada Yu. V., Kmytyuk T. L., Shatarska I. F. (2020). System of methods and models for evaluating the nonlinear dynamics of the numerical measure of economic risk. [Systema metodiv ta modelei otsiniuvannya neliniinoi dynamiky chyslovoi miry ekonomichnoho ryzyku] *Efficient economy*. No. 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8052> (access date: 11/18/2023).
8. Krasnorutskiy O.O., Marenich T.G., Marchenko V.A., Pomogalova N.V. (2023). Transformation of marketing of agrarian enterprises in wartime conditions. [Transformatsiia marketynhu ahrarnykh pidpryemstv v umovakh voiennoho chasu] *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. Volume 8. No. 3. P. 10–17.
9. Mandych O.V., Naumenko A.O., Ustik T.V., Kolodnenko N.V. (2022) Reengineering of business projects: organizational, managerial and financial aspects. [Reinzhyrnyrh biznes-proektiv: orhanizatsiini, upravlinski ta finansovi aspekty] *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. Volume 7 No. 2, Article 53–59.
10. Mandych O.V., Babko N.M., Ustik T.V., Kolodnenko N.V. (2022) Formation digital strategies of the company. [Formuvannya digital-stratehii kompanii]. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. Volume 7, No. 4, Art. 10–15.

С. М. КОЛОНТАЙ

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри публічного управління
та менеджменту природоохоронної діяльності
Одеський державний екологічний університет
ORCID: 0000-0001-8699-7320

С. І. АТАНАСОВ

аспірант кафедри математики та квантової механіки
Одеський державний екологічний університет
ORCID: 0009-0000-7978-0078

УПРАВЛІННЯ СТАЛИМ РОЗВИТКОМ РЕКРЕАЦІЙНО-ТУРИСТИЧНОЇ СФЕРИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

В роботі розглянута рекреаційно-туристична діяльність, як сфера національної економіки, яка сприяє підвищенню конкурентоспроможності країни. Рекреаційно-туристична діяльність країни (регіону) розвиває місцеву інфраструктуру, створює робочі місця, сприяє розвитку місцевого бізнесу.

У дослідженні наведено, що науковою основою, яка визначає розвиток рекреаційно-туристичної сфери України, є концепція сталого розвитку. Концепція сталого розвитку інтегрувалась в кожну сферу соціально-економічного розвитку. Що стосується рекреаційно-туристичної сфери, розвитку рекреації, туризму та різних його форм, сталий розвиток відіграє важливу роль у розвитку, збереженні та підтримці рекреаційно-туристичної сфери для майбутнього покоління, без шкоди навколишньому природному середовищу, інтересам туристів та рекреантів, місцевим жителям та зацікавленим сторонам. Сталий розвиток має високу позитивну кореляцію з розвитком рекреації та туризму, а також значно впливає на розвиток рекреації та туризму в різних рекреаційно-туристичних напрямках.

Розглянуто проблеми, які пов'язані з рекреаційно-туристичним бізнесом та сталим розвитком, такі як вплив рекреаційно-туристичної діяльності на природне навколишнє середовище, соціокультурні наслідки, нерівномірний розподіл користі від туризму, відсутність свідомого споживання та культурного розуміння, нестабільність та сезонність.

Результати дослідження свідчать про те, що сталий розвиток рекреаційно-туристичної діяльності впливає на розвиток економіки, суспільства та навколишнє природне середовище. Взаємозв'язок між сталим розвитком та рекреаційно-туристичною діяльністю є ключовим для успішного розвитку рекреації та туризму.

В роботі розглянуто проблеми рекреаційно-туристичної сфери в Україні в умовах невизначеності. Наслідки війни рекреаційно-туристична сфера буде відчувати протягом багатьох років після закінчення військових дій. Але, незважаючи на всі труднощі та виклики, рекреаційно-туристичний бізнес, як важлива галузь економіки України, адаптується до війни та продовжує працювати.

Ключові слова: управління, рекреація, туризм, рекреаційно-туристична сфера, сталий розвиток, невизначеність.

S. M. KOLONTAI

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Public Administration
and Management of Environmental Protection Activities
Odesa State Environmental University
ORCID: 0000-0001-8699-7320

S. I. ATANASOV

Postgraduate Student at the Department of Mathematics
and Quantum Mechanics
Odesa State Environmental University
ORCID: 0009-0000-7978-0078

MANAGEMENT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE RECREATION AND TOURISM SPHERE IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Recreational and tourist activities are considered in the work as a sphere of the economy that contributes to increasing the country's competitiveness. Recreational and tourist activities develop local business and infrastructure, create jobs.

The research shows that the concept of sustainable development has now been integrated into every sphere of the country's socio-economic development. As for recreation and tourism, sustainable development plays an important role in preserving and sustaining recreation and tourism for future generations, without harming the surrounding natural environment, the interests of tourists and recreationists, local residents and stakeholders. Issues related to recreational tourism business and sustainable development are considered, such as the impact of recreational tourism activities on the natural environment, socio-cultural consequences, uneven distribution of benefits from tourism, lack of conscious consumption and cultural understanding, instability and seasonality. The sustainable development of recreation and tourism is a popular trend in the modern development of recreational and tourist activities and various forms of tourism.

The results of the study indicate that the sustainable development of recreational and tourist activities affects the development of the economy, society and the surrounding natural environment. The relationship between sustainable development and recreation and tourism activities is key to the successful development of recreation and tourism.

The work examines the problems of the recreation and tourism sphere in Ukraine in conditions of uncertainty. Currently, the development of domestic tourism in Ukraine and the example of countries that were or were affected by war will help the recreation and tourism sector to survive. The recreation and tourism sphere will feel the consequences of the war for many years after the end of hostilities. But, despite all the difficulties and challenges, the recreation and tourism business, as an important branch of the Ukrainian economy, adapts to the war and continues to work.

Key words: management, recreation, tourism, recreation and tourism sphere, sustainable development, uncertainty.

Постановка проблеми

Рекреаційно-туристична діяльність, як сфера національної економіки, сприяє підвищенню конкурентоспроможності країни, розвиває місцеву інфраструктуру, створює робочі місця, сприяє розвитку місцевого бізнесу. Науковою основою, яка визначає розвиток рекреаційно-туристичної сфери України, є концепція сталого розвитку. В умовах сучасного стану економіки держави та процесу адаптації рекреаційно-туристичної сфери до сучасних умов ведення бізнесу, особлива увага приділяється визначенню шляхів управління сталим розвитком рекреаційно-туристичної сфери в Україні в умовах невизначеності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Окремі аспекти вирішення питань, пов'язаних з управлінням рекреаційно-туристичною сферою, досліджені у роботах вітчизняних фахівців, таких як Кифяк В., Мальська М., Школа І., Ситник Г., Леоненко Н., Писаревський І. та ін. Водночас, у рекреаційно-туристичній сфері все ще залишаються проблеми, пов'язані з формуванням ефективної системи управління рекреаційно-туристичною діяльністю.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є узагальнення та визначення питань управління сталим розвитком рекреаційно-туристичної сфери, аналіз проблем рекреаційно-туристичної сфери в Україні в умовах невизначеності.

Викладення основного матеріалу дослідження

Рекреаційно-туристична діяльність є сферою національної економіки, яка сприяє підвищенню конкурентоспроможності країни. Значення рекреаційно-туристичної діяльності в світі постійно збільшується. Особливістю сучасного етапу розвитку рекреаційно-туристичної галузі є зміна її організаційних форм і проникнення в рекреаційно-туристичний бізнес транспортних, торгових, промислових і інших компаній. Рекреаційно-туристична діяльність країни (регіону) розвиває місцеву інфраструктуру, створює робочі місця, сприяє розвитку місцевого бізнесу.

Рекреаційно-туристична діяльність відноситься до так званих «інфраструктурних послуг», що становить одну з підсистем регіону, яка відповідає за його цілісність і розвиток, його «інфраструктурний комплекс», тобто сукупність економічних елементів, що забезпечують, регулюють і підтримують вплив на відтворювальний процес соціально-економічної системи регіону, спрямований на підвищення якості життя населення. Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що як базові складові такого інфраструктурного комплексу регіону доцільно розглядати чотири блоки інфраструктур: дорожня, інженерна, транспортно-логістична, а також галузева інфраструктурні комплекси. Суб'єкти і об'єкти туризму, як комплексу галузей, присутні у всіх названих блоках.

Збільшення рекреаційно-туристського потоку, з одного боку, забезпечує надходження коштів суб'єктам рекреаційно-туристичної інфраструктури, з другого – веде до забруднення довкілля, завдає шкоди рекреаційно-туристичним об'єктам, провокує соціальні проблеми.

Позитивний та негативний вплив рекреаційно-туристичної діяльності на природне навколишнє середовище представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Позитивний та негативний вплив рекреаційно-туристичної діяльності
на природне навколишнє середовище**

Позитивний вплив	Негативний вплив
<ul style="list-style-type: none"> – прями фінансові внески на охорону навколишнього середовища, що надходять у вигляді плати за відвідування об'єктів екологічного туризму; – підтримка і розвиток особливо охоронюваних природних територій; – пом'якшення впливу на екосистеми (за умови дотримання екологічних норм); – раціоналізація землекористування; – охорона рідкісних видів екосистем (при додержанні вимог пропускну здатності) 	<ul style="list-style-type: none"> – інтенсивне використання водних ресурсів для забезпечення готелів, аквазон, прямого споживання туристами; – деградація і виснаження земельних ресурсів в результаті інтенсивного будівництва об'єктів, пов'язаних з туризмом: житла, доріг, аеропортів і т.п.; – збільшення забруднення атмосфери в зв'язку з ростом міжнародних рекреаційно-туристичних перевезень різними видами транспорту; – збільшення споживання енергії як наслідок введення в експлуатацію нових об'єктів туристичної індустрії

Останнім часом концепція сталого розвитку стала дуже важливою та інтегрувалась в кожен сферу соціально-економічного розвитку. Що стосується рекреаційно-туристичної сфери, розвитку рекреації, туризму та різних його форм, сталий розвиток відіграє важливу роль у розвитку, збереженні та підтримці рекреаційно-туристичної сфери для майбутнього покоління, без шкоди навколишньому природному середовищу, інтересам туристів та рекреантів, місцевим жителям та зацікавленим сторонам.

Сталий розвиток рекреації та туризму є популярною тенденцією в сучасному розвитку рекреаційно-туристичної діяльності та різних формах туризму, таких як екологічний, сільський, пригодницький, паломницький, гастрономічний тощо.

Управління сталим розвитком – це послідовні екологічні методи ведення рекреаційно-туристичного бізнесу. Це стосується всього комплексу туристичних послуг, відстеження впливу на навколишнє середовище, підтримка постачальників туристичних послуг на шляху до сталого розвитку.

Сталий розвиток рекреаційно-туристичної діяльності – необхідна умова сьогодення. Це інструмент для розвитку рекреаційно-туристичної діяльності найбільш відповідальним, екологоорієнтованим та сталим способом [1].

Розглянемо проблеми, які пов'язані з рекреаційно-туристичним бізнесом та сталим розвитком. Це [2]:

– Вплив рекреаційно-туристичної діяльності на природне навколишнє середовище. Великий потік рекреантів та туристів може призвести до надмірного використання природних ресурсів, забруднення довкілля, знищення екосистем та втрати біорізноманіття.

– Соціокультурні наслідки. Масовий туризм може призвести до втрати традицій та спотворення місцевої культури.

– Нерівномірний розподіл користі від туризму. Зазвичай прибуток від рекреаційно-туристичної діяльності концентрується в популярних регіонах, а інші регіони залишаються без економічної вигоди від рекреаційно-туристичного сектору.

– Відсутність свідомого споживання та культурного розуміння. Рекреанти та туристи можуть бути екологічно безграмотні та не усвідомлювати свій вплив на місцеву спільноту та довкілля.

– Нестабільність та сезонність впливає на стабільність бізнесу та зайнятість населення регіону.

Зазначені проблеми потрібно вирішувати спільно з урядовими органами, місцевими спільнотами, бізнес-сектором, рекреантами та туристами [2].

У разі продуманої організації рекреаційно-туристичного бізнесу (використання ресурсозберігаючих технологій, перерозподіл потоків відпочиваючих на території дестинації з урахуванням її пропускну здатності і т.п.), дохід, що отримується від рекреаційної експлуатації територій дозволяє проводити природоохоронні заходи. Подорожі та туризм повинні допомогти людям в досягненні гармонії з природою, робити внесок в збереження, захист та відновлення екосистем. Рекреаційно-туристична діяльність може стати фактором поліпшення екології регіону за умови, що стале використання навколишнього природного середовища буде складати невіддільну частину процесу розвитку рекреації та туризму.

Потрібно зважати на те, що тільки екологічно чисті регіони приваблюють рекреантів та туристів, а це сприяє їх повноцінному оздоровленню і відпочинку. Забруднення навколишнього природного середовища призведе до повного зникнення в регіоні рекреації та туризму як сфери діяльності.

Таким чином, екологічність або не екологічність рекреаційно-туристичної діяльності визначається мірою і характером впливу рекреації та туризму на навколишнє природне середовище. Безпека туристичних продуктів – ключова вимога до індустрії туризму. Безумовно, повну відповідність стандартам безпеки неможливо забезпечити без достатнього рівня екологізації туристських дестинацій. Тому турбота про безпеку людей, охорона навколишнього середовища, створення умов для забезпечення екологізації туризму є неодмінною частиною політики на міжнародному, національному та регіональному рівнях.

Екологічний аспект можна розглядати і як один з елементів потенціалу рекреаційно-туристичної дестинації, і як окремий потенціал – екологічний, під яким можна розуміти такий рівень відвідуваності дестинації

рекреантами та туристами, перевищення якого призведе до негативних екологічних наслідків. Це може бути як результат дії самих рекреантів та туристів, або як наслідок функціонування туристичної інфраструктури.

У міжнародній туристичній діяльності просування «зелених» технологій в рекреаційно-туристичній сфері здійснює міжнародна організація Travelife Sustainability System. Travelife – це об'єктивна і доступна система, яка допомагає туроператорам покращити діяльність у сферах соціального та екологічного впливу, дотримуючись критеріїв сталості. Це онлайн-система сталого розвитку готелів, яка заснована на міжнародних стандартах [3].

Цікавий міжнародний досвід залучення до процесу екологізації рекреаційно-туристських DESTINAЦІЙ волонтерів. Це рух, організований туристськими клубами і урядовими організаціями, які відають питаннями охорони природи, для безоплатної діяльності, спрямованої на захист навколишнього середовища і на користь людей, які потребують допомоги. Найбільш відомими акціями даного напрямку є:

- міжнародні екологічні експедиції на Еверест (Непал), Стежку інків (Перу), де є можливість прибирати сміття, залишене туристами, в Коста-Ріка (біологічний заповідник Дошовий ліс Карара), на озера (облаштування екологічних стежок, розчищення проходів від кущів і дерев, що впали, пристрій вогнищ, підготовка дерев'яних покажчиків та ін.);

- допомога диким тваринам. Це може бути відмивання птахів від нафтопродуктів, що розлилися, облік чисельності популяцій тварин, догляд за пораненими і хворими тваринами, наприклад дослідження пляжів в пошуках свіжих кладок яєць морських черепах, обгородження їх або перенесення в безпечні місця і т.п.;

- тури по слідах стихійних лих: групи туристів-волонтерів відправляються в країни, які постраждали від цунамі, землетрусів або інших стихійних лих для допомоги постраждалим;

- туристські програми, що включають наукові дослідження та археологічні розкопки. Вони припускають, наприклад, вивчення коралових рифів, забір проб води для хімічного аналізу, участь в археологічних розкопках, ведення обліку артефактів тощо.

Такі поїздки розрізняються по складності і тривалості і, як правило, реалізуються за значну оплату.

Як показують статистичні дані, в світі з кожним роком стає все більше рекреантів та туристів, які обирають відпочинок, який безпечний для навколишнього природного середовища. Отже, екологізацію рекреації та туризму можна розглядати і як конкурентну перевагу конкретного регіону, туристської DESTINAЦІЇ, і як фактор підвищення конкурентоспроможності туристичного підприємства, що пропонує безпечні екологічні туристичні продукти.

Екологічний туризм може і повинен стати альтернативою так званому «експлуатаційному» туризму, пов'язаному, головним чином, зі споживанням туристами різних товарів і послуг і вимагає адекватного функціонування всіх елементів рекреаційної системи регіону.

Результати дослідження свідчать про те, що сталий розвиток рекреаційно-туристичної діяльності впливає на розвиток економіки, суспільства та навколишнє природне середовище. Таким чином, працівники рекреаційно-туристичної сфери повинні мінімізувати негативний вплив рекреаційно-туристичної діяльності на природне середовище (збереження та збалансоване використання природних ресурсів) та навпаки максимізувати вплив на економіку (збільшення прибутків від туризму, створення додаткових робочих місць, зростання місцевого бізнесу) та суспільство країни (збереження культурної спадщини, підтримка місцевого населення, збалансований розподіл благ від розвитку туризму).

Тому всі, хто пов'язаний з організацією рекреаційно-туристичної діяльності, повинні планувати, просувати та розвивати лише відповідальний та сталий розвиток рекреаційно-туристичної сфери відповідно до основних показників сталості та згідно з рекомендаціями UNWTO (Всесвітньої туристичної організації).

Взаємозв'язок між сталим розвитком та рекреаційно-туристичною діяльністю є ключовим для успішного розвитку рекреації та туризму, оскільки він забезпечує надання якісних послуг, зберігаючи при цьому навколишнє природне середовище та сприяє економічному благополуччю місцевого населення (розвиток рекреаційно-туристичної інфраструктури та малих і середніх підприємств) [1].

Повномасштабне російське вторгнення негативно вплинуло на рекреаційно-туристичну сферу країни. Значно обмежило можливість подорожей такі фактори, як закриття небо, обмеження на виїзд за кордон, не платоспроможність населення у зв'язку з втратою роботи, вимушеним переїздом [4].

У 2019 році Україна прийняла близько 13,7 млн. міжнародних туристів, тоді як у першому півріччі 2023 року український кордон перетнули 1,3 млн. відвідувачів, і це можна вважати непоганим показником, враховуючи нинішній стан в країні [5,6].

Спираючись на дані Української асоціації туристичних агенцій, можна стверджувати, що в 2023 році, порівняно з 2022 роком, кількість туристичних поїздок збільшилась на 30 відсотків.

Через значне зменшення попиту на туристичні поїздки, з 3700 туристичних агенцій, які працювали до війни, залишилось 800, але вони змушені прилаштовуватись до нових умов існування.

Одна із найбільш серйозних проблем – логістика, тому що всі міжнародні логістичні шляхи, які проходять через територію України, зараз не функціонують і мандрівка – це зазвичай тривала дорога на поїзді або автобусі до закордонного аеропорту [4].

Під час війни в Україні рекреаційно-туристична сфера відчуває численні проблеми та перешкоди (таблиця 2) [5].

Таблиця 2

Проблеми рекреаційно-туристичної сфери в Україні під час війни [5]

Безпека	Військові дії призвели до посилення нестабільності та загроз безпеці. Це значно вплинуло на рішення зовнішніх туристів відвідати країну, особливо її прикордонні та конфліктні регіони
Імідж	Війна в Україні негативно відбивається на іміджі країни. Це ускладнює залучення зовнішніх туристів, а також призводить до скасування або перенесення раніше запланованих поїздок
Зміна краєвиду туристичних об'єктів	Війна призвела до знищення, окупації чи зміни території багатьох популярних туристичних місць, пошкодження інфраструктури рекреаційно-туристичної сфери.
Зниження якості послуг	Зменшення інвестицій у рекреаційно-туристичну сферу впливає на рівень якості послуг
Зниження попиту	Зниження попиту на зовнішній та внутрішній туризм
Зміна маршрутів туристичних турів	Зміна маршрутів туристичних турів, особливо в прикордонні райони
Втрата робочих місць	Військові дії призвели до втрати робочих місць в рекреаційно-туристичній та суміжних сферах

Внутрішній туризм зараз є порятунком для рекреаційно-туристичної галузі України, оскільки війна в країні відлякує іноземних туристів.

Війна триває, але українці почали повертатися в країну, тим самим відроджуючи внутрішній туризм.

Туристичні фірми рекламують українцям західний регіон країни та інші, менш відомі рекреаційно-туристичні місця, віддалені від зони конфлікту, як спосіб знайти порятунок від війни, підтримати економіку цих регіонів та заохотити розвиток місцевого бізнесу. Деякі регіони країни можуть зараз стати популярними через віддаленість від зони конфлікту, де туристи можуть відпочити, оздоровитись та не чути повітряні тривоги.

За час війни майже весь туризм перемістився в західну частину України, яка межує з ЄС і вважається безпечною. Це дозволило надалі розвивати туризм в країні, не втратити місцевим жителям робочі місця, дохід, тим самим підтримуючи економіку країни [6].

Згідно з опитуванням Державного агентства розвитку туризму України, більшість українців продовжували подорожувати по території країни під час війни, і тільки 21 відсоток українців не подорожували, уникаючи небезпечних ситуацій.

Податкові надходження від туристичної галузі за перші дев'ять місяців 2023 року зросли на 13 відсотків порівняно з тим же періодом 2022 року.

Українські оператори все більше виходять на європейський ринок, відкривають свої філії на півдні та заході України. Як тільки Україна здобуде перемогу у війні, в Україну зможуть приїжджати іноземні туристи, щоб відвідати українські міста, які пережили ракетні обстріли, а в українців з'явиться змога подорожувати без перешкод. Таким чином, в Україні буде розвиватись внутрішній та зовнішній туризм [4].

Висновки

Військові дії мають значний негативний вплив на рекреаційно-туристичну індустрію регіонів і країни в цілому. А це і вплив на безпеку туризму, зниження попиту, пошкодження інфраструктури, втрата робочих місць та негативний імідж.

Зараз Україна знаходиться більш в режимі планування. Пріоритетом є відбудова критичної інфраструктури, транспорту, зокрема залізничного сполучення України з Європою, та енергетичних комплексів.

На даний час, розвиток внутрішнього туризму в Україні та приклад країн, які були або охоплені війною, допоможуть рекреаційно-туристичній сфері вижити [6].

Наслідки війни рекреаційно-туристична сфера буде відчувати протягом багатьох років після закінчення військових дій.

Але, незважаючи на всі труднощі та виклики, з якими доводиться зараз стикатися українцям, рекреаційно-туристичний бізнес, як важлива галузь економіки України, адаптується до війни та продовжує працювати.

Список використаної літератури

1. Sustainable development of recreation and tourism. URL: <https://www.researchgate.net/publication/353518177> (дата звернення: 3.01.2024).
2. Жук І.Ю., Бухта І.О. Гостинність і сталий розвиток: синергія для успішного туристичного сектору. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-10>
3. Travelife sustainability in tourism. URL: <https://travelifesustainability.com/> (дата звернення: 5.01.2024).
4. Туризм в умовах повномасштабної війни. URL: <https://forbes.ua/lifestyle/turizm-v-umovakh-povnomasshtabnoi-viyni-kudi-ikhati-yakiy-napryam-obirati-ta-yak-planuvati-svoi-podorozhi-20102023-16759> (дата звернення: 30.01.2024).
5. Як працює готельний та туристичний бізнес в Україні в умовах війни: про стійкість та інновації. URL: <https://visitukraine.today/blog/2824/resilience-and-innovation-how-the-hotel-and-tourism-business-in-ukraine-works-in-the-context-of-war> (дата звернення: 27.01.2024).

6. Domestic travel offers a lifeline to Ukraine's war-battered tourism industry. URL:<https://www.thenationalnews.com/business/travel-and-tourism/2023/11/07/domestic-travel-offers-a-lifeline-to-ukraines-war-battered-tourism-industry/> (дата звернення: 25.01.2024).

References

1. Sustainable development of recreation and tourism. URL: <https://www.researchgate.net/publication/353518177> (data zvernennia: 3.01.2024).
2. Zhuk I.Iu., Bukhta I.O. Hostynnist i stal'yi rozvytok: synerhiia dlia uspishnoho turystychnoho sektoru <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-28-10>
3. Travelife sustainability in tourism. URL: <https://travelifesustainability.com/> (data zvernennia: 5.01.2024).
4. Turyzm v umovakh povnomasshtabnoi viiny. URL: <https://forbes.ua/lifestyle/turizm-v-umovakh-povnomasshtabnoi-viyni-kudi-ikhati-yakiy-napryam-obirati-ta-yak-planuvati-svoi-podorozhi-20102023-16759> (data zvernennia: 30.01.2024).
5. Yak pratsiuie hotelnyi ta turystychnyi biznes v Ukraini v umovakh viiny: pro stiikist ta innovatsii. URL: <https://visitukraine.today/blog/2824/resilience-and-innovation-how-the-hotel-and-tourism-business-in-ukraine-works-in-the-context-of-war> (data zvernennia: 27.01.2024).
6. Domestic travel offers a lifeline to Ukraine's war-battered tourism industry. URL:<https://www.thenationalnews.com/business/travel-and-tourism/2023/11/07/domestic-travel-offers-a-lifeline-to-ukraines-war-battered-tourism-industry/> (data zvernennia: 25.01.2024).

Я. І. МАНДРИК

доктор історичних наук,
професор кафедри суспільних наук

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ORCID: 0000-0001-6663-4880

ПОЧАТКОВИЙ ЕТАП ПІДГОТОВКИ ВИСОКОКВАЛІФІКОВАНИХ ІНЖЕНЕРІВ-УПРАВЛІНЦІВ ДЛЯ НАФТОГАЗОВИХ ПРОМИСЛІВ ГАЛИЧИНИ

У статті розглянуто історію створення нафтової спеціальності у Львівській Політехніці, тобто, початки організованої підготовки в Галичині інженерів-нафтовиків.

Досліджено процес запровадження у Львівській політехнічній школі викладання нафтової геології, вертництва та переробки нафти. Проаналізовано хід викладання хімічної технології і озокериту на хімічному факультеті, відкриття доцентури у галузі технології нафти і озокериту. Після першої світової війни на механічному факультеті Львівської політехнічної школи відкрито нафтовий відділ. Проаналізовано процеси створення та діяльність у довоєнний період кафедри буріння і видобування нафти, а одразу після звільнення Львова від фашистської окупації, відкрито нафтовий факультет і поновлено роботу кафедри буріння.

Важливе значення мала матеріальна база для підготовки фахівців. Оснащуються лабораторії, було відкрито кабінет буріння, організується музей гірництва, у навчальний процес вводяться природні зразки бурового обладнання, створено науково-дослідну лабораторію для проведення досліджень на природних обсадних трубах. Навчально-методична та науково-дослідницька діяльність стають відомими далеко за межами політехнічного інституту. Кафедра підтримувала тісні стосунки з міністерством нафтової промисловості та галузевими нафтогазовими підприємствами. На механічному факультеті було відкрито нову кафедру „будови гірничих машин”, при якій засновано музей гірничих машин. Ускладнюються програми навчання, збільшується чисельність фундаментальних навчальних дисциплін: вищої математики, загальної та технічної фізики, нарисної геометрії, торговельного та вексельного права, прикладної математики. Станіслав Парацхак очолював кафедру буріння та видобування нафти до початку Другої світової війни. Під час війни (1941–1944 рр.) роботу політехнічного інституту було паралізовано і кафедра продовжувала працювати.

Ключові слова: інженер-нафтовик, нафтовий промисел, програми навчання, кафедра буріння, музей нафти і озокериту.

YA. I. MANDRYK

Doctor of Historical Sciences,

Professor at the Department of Social Sciences

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ORCID: 0000-0001-6663-4880

THE INITIAL STAGE OF THE TRAINING OF HIGHLY QUALIFIED MANAGING ENGINEERS FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY OF GALICIA

The article deals with the history of oil specialty creation in Lviv Polytechnic, which is the beginning of organized training of oil engineers in Galicia.

The process of introduction of petroleum geology teaching, rotation and oil refining at Lviv Polytechnic School is investigated. The course of teaching chemical technology and ozokerite at the Faculty of Chemistry is analyzed. Opening of the Associate Degree in Petroleum and Ozokerite Technology after the First World War at the Mechanical Faculty of Lviv Polytechnic School an Oil Department was opened. The processes of creation and activity of the pre-war period of the Department of Drilling and Oil Production were analyzed, and immediately after the liberation of Lviv from fascist occupation, the Faculty of Oil was opened and the work of the Department of Drilling was resumed. Material base for the training of specialists was important. The laboratory was equipped, the drilling cabinet was opened, mining museum was organized as well. Naturally derived samples of drilling equipment was introduced into the educational process, also the research laboratory was set up in order to conduct studies on natural casing. Educational, methodological and research activities was well-known far beyond the Polytechnic Institute. The Department maintained close collaborations with the Ministry of Petroleum Industry and the sectoral oil and gas enterprises. A new Department of Mining Machinery Construction was opened at the Mechanical Faculty, and a Museum of Mining Machines was founded. The curriculum was complicated and the number of new fundamental disciplines was increased and added by higher mathematics, basic and technical physics, descriptive geometry, trade and promissory notes law and applied mathematics. Stanislav Paraschak headed the Department of Oil Drilling and Production before the Second World War. During the war (1941–1944) the work of the Polytechnic Institute was paralyzed and the department was not work.

Key words: petroleum engineer, oil industry, training programs, drilling department, oil and ozokerite museum.

Постановка проблеми

Освіта незалежної України у 2024 році святкує понад 120-річний ювілей із початку організованої підготовки фахівців вищої кваліфікації нафтогазового комплексу. Цей період мав відповідну історичну підготовку, коли на певному етапі зароджувалась нафтогазова освіта в українських землях. Цій проблемі присвячується дана стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розвиток нафтогазової освіти в українських землях не був предметом аналізу наших науковців. На сьогоднішній день є тільки деякі наукові дослідження, у яких знайшли висвітлення ці проблеми. Серед них: «Кафедра буріння нафтових і газових свердловин: до 80-річчя ІФНТУНГ», та «Нафта і газ Прикарпаття. Нариси історії». З цієї причини автор опирається в дослідженні здебільшого на власні публікації.

Формування мети дослідження

У статті автор поставив за мету розкрити процеси створення та діяльності системи підготовки фахівців нафтового профілю із вищою спеціальною освітою. Дослідження охоплює роки створення у Львівській політехніці спеціальності нафтогазового профілю, де готувались фахівці з вищою освітою.

Викладення основного матеріалу дослідження

В Східній Галичині наприкінці XIX ст. нафтова індустрія розвивалася дуже бурхливо, адже наш край забезпечував нафтою всю Європу. Кваліфікованих спеціалістів нафтового промислу не вистачало, особливо вищої кваліфікації. Назріла гостра проблема підготовки інженерів-нафтовиків.

У 1882 р. на нафтовому конгресі в Перемишлі з ініціативи референта гірничого округу Леона Сирочинського було прийнято постанову про швидке запровадження у Львівській політехнічній школі викладання нафтової геології, вертництва та переробки нафти. Це стало важливим приводом для звернення Крайового сейму до австрійського уряду в 1882 р., а потім, повторно, в 1884 р., щодо запровадження згаданих дисциплін як навчальних та відкриття гірничо-металургійного факультету у Львівській політехнічній школі. Австрія на ці звернення зреагувала своєрідно, запровадивши, натомість, у 1884 р. викладання нафтового вертництва і переробки нафти та озокериту в гірничих академіях в Леобені та Прибрамі.

Але це не загальмувало викладацької справи, а, навпаки, послужило добрим каталізатором. Орієнтуючись на постанову Перемишльського нафтового конгресу, професор Броніслав Павловський розпочав у 1882 р. викладання хімічної технології. У 1885–1888 рр. він також викладав хімічну технологію нафти і озокериту на хімічному факультеті. В 1886 р. ним організовано Крайову науково-дослідну лабораторію для нафтового промислу, що дало можливість якнайповніше дослідити технології та виробничі аспекти нафтового промислу.

Така потужна діяльність Б.Павловського стала поштовхом для прийняття рішення сенатом Львівської політехнічної школи про відкриття в 1886 р. дворічного підготовчого курсу для кандидатів гірництва на механічному факультеті та металургії на хімічному. Випускники курсів готувалися для подальшого навчання в австрійських гірничих академіях (в Леобені) [3].

Важливою подією в справі підготовки фахівців із нафтового гірництва став захист дисертації асистентом Романом Залозецьким в галузі технології нафти і озокериту в 1887 р. та відкриття доцентури з цієї спеціальності в 1888 р.

З ініціативи та при підтримці Крайового уряду сенат Львівської політехнічної школи звернувся до австрійського Міністерства віросповідань і освіти в справі затвердження викладання технології нафти і озокериту на хімічному факультеті для Р. Залозецького та нафтового гірництва на механічному факультеті для доцента Л. Сирочинського, що стало відкриттям доцентури нафтового гірництва в 1891 р.

Тоді ж Р. Залозецький почав викладати хімічну технологію нафти і озокериту на IV курсі інженерного, хімічного та механічного факультетів, Л. Сирочинський – на III курсі інженерного факультету (глибоке буріння і експлуатація копалин) та механічного і хімічного факультетів (гірництво нафти і озокериту). Одночасно, Сирочинський створив музей гірництва нафти і озокериту, залучаючи до співпраці однодумців та збираючи експонати завдяки особистим контактам в різних інституціях і презентам нафтових промисловців. Вже на етапі становлення колекція музею налічувала понад 80 одиниць моделей та натурального вертничого обладнання.

Стенди музею прикрашали геологічні карти і профільні розрізи, рисунки, статистичні таблиці та експонати з інших галузей гірництва. Всі вони широко висвітлювали поступальні етапи розвитку нафтового промислу, і музей набув великої популярності. Його відвідували численні екскурсії з Галичини, Австрії, Чехії, Угорщини, Німеччини, Франції і Румунії.

До того ж цікаві і запальні лекції Р. Залозецького і Л. Сирочинського ставали дедалі популярнішими, і ця популярність зростала разом із розвитком нафтового промислу. Наведемо такий красномовний факт – якщо в 1891 р. лекції відвідувало 4 студенти, то за дев'ять років їх кількість зростає до 115 [3].

Узаконення викладень Р. Залозецького і Л. Сирочинського дало можливість сенату Львівської політехнічної школи прийняти рішення про перетворення в 1893 р. дворічного гірничого курсу на трирічний з нафтовим ухилом курс, на якому, крім загальноосвітніх та загальноінженерних, викладалися спеціальні та правові дисципліни, зокрема мінералогія, геологія, гірництво нафти і озокериту, будова машин, хімічна технологія нафти і озокериту, енциклопедія будівництва, бухгалтерія, право та державна адміністрація.

Велика зацікавленість та значне відвідування цього курсу спонукало клопотати сенат Львівської політехнічної школи перед австрійським урядом про створення в 1894 р. гірничого факультету, проте згоди на це одержано не було. Однак петиція школи опосередковано, а розвиток нафтового гірництва безпосередньо, спричинилися до того, що австрійський уряд все ж таки дозволив створити в 1897 р. збірну кафедру гірництва. Згідно з оголошеним конкурсом, в якому взяло участь шість чоловік, завідувачем кафедри було обрано фахівця у цій справі Леона Сирочинського. Йому було виділено два кабінети в головному корпусі (один для бібліотеки) і штатну посаду асистента, котрим тривалий час був Адам Котловський [3].

Рескриптом від 27 жовтня 1897 р. австрійське Міністерство віросповідань і освіти іменувало гірничого інженера, приватного доцента Леона Сирочинського надзвичайним професором у Львівській політехнічній школі для енциклопедії нафтового гірництва і науки глибокого буріння. 7 грудня 1897 р. професор Л. Сирочинський виголосив з цього приводу інаугураційну промову і став першим професором нафтового гірництва в польській та українській вищих школах.

У 1904 р. на механічному факультеті було відкрито нову кафедру будови гірничих машин, яку очолив випускник Петербурзького гірничого інституту професор Кароль Мільковський. Він також заснував музей гірничих машин, одержав відповідне приміщення і штатну посаду асистента, яким став доктор Олександр Люче-Бірк. Ця подія ще більше підтвердила важливість і зміцнення гірничого напрямку в Львівській політехнічній школі.

Леон Сирочинський викладав енциклопедію гірництва, глибоке буріння і експлуатацію нафти на механічному факультеті та факультативно – на механічному та інженерному факультетах. У 1906 р. він додатково почав викладати доступний для всіх факультетів, але не обов'язковий курс географії гірництва і важкої промисловості. В цьому ж році на X з'їзді гірників у Кракові було прийнято резолюцію про необхідність відкриття в Львівській політехнічній школі окремого гірничо-металургійного факультету, проте згоди на це від австрійського уряду одержано не було. Замість цього трирічний підготовчий курс рішенням австрійського Міністерства віросповідань і освіти було реорганізовано в 1909 р. у дворічний підготовчий курс для кандидатів гірничого напрямку з тим, щоб його випускники продовжували навчання на III і IV курсах в гірничих академіях Леобена і Прибрама. Однак після закінчення курсу у Львові його випускники, склавши відповідний іспит, могли обіймати посади керівників копалень в Галичині. Більшість обирало саме цей шлях. Тим не менше впродовж 1909–1917 рр. функціонував позафакультетний дворічний гірничий курс у Львові.

Програма навчання першого курсу включала вищу математику, загальну і технічну фізику, нарисну геометрію, загальну механіку, геодезію, геологію, ситуаційне креслення, машинознавство, неорганічну хімію, гігієну і першу допомогу, бухгалтерію і стенографію, а другого курсу – геодезію, теорію похибок і статобробку, геологію, мінералогію, технічну механіку, машинознавство, прикладну математику, торговельне і вексельне право, енциклопедію гірництва, глибоке буріння, експлуатацію нафти та будову гірничих машин [5].

Викладання на курсі вели відомі вчені Львівської політехнічної школи, зокрема професори Юліан Медвецький і Тадей Сирочинський (геологію, мінералогія), Максиміліан Губер (технічна механіка), Леон Сирочинський (енциклопедія гірництва, глибоке буріння, експлуатація нафти), Кароль Мільковський (будова гірничих машин, загальна механіка), директор банку Ян Адамський (бухгалтерія), доцент медицини Львівського університету Казимир Панек (гігієна) та ін. Професор Леон Сирочинський, який мав велику популярність, постійно опікувався згаданим курсом. Він також деякий час давав кошти на стипендію студентам, котрі обирали для себе фах «нафтове гірництво». Вийшовши на пенсію в 1915 р., професор продовжував викладацьку роботу і керівництво музеєм гірництва нафти і озокериту до 1919 р. [4].

У 1917 р. на кафедру гірництва для викладання глибокого буріння і експлуатації нафти було запрошено промисловця і нафтового директора з Борислава, гірничого інженера, доцента Юліана Фабінського, котрий пізніше очолив кафедру. Розпорядженням польського Міністерства релігійних віросповідань і публічної просвіти від 26 травня 1919 р. доценту Юліану Фабінському було присвоєно звання професора для енциклопедії гірництва, вертництва і експлуатації нафти.

Оскільки Перша світова війна внесла свої жорсткі корективи, то в 1914–1915 рр. Львівська політехнічна школа не працювала, а в її приміщеннях розквартирувалося спочатку австрійське, а пізніше – російське військо. Цінні експонати музеїв та апаратуру науково-дослідних і навчальних лабораторій було звалено у підвали, і частину з них практично було знищено. Подібна історія повторилася в 1918–1920 рр., коли в цій школі розташувався польський військовий шпиталь.

Тому першочерговим завданням професора Ю.Фабінського на посадах завідувача кафедри, декана механічного факультету та ректора Львівської Політехніки (так з 1921 р. почала називатись Львівська політехнічна школа) було налагодження навчального процесу, відновлення навчальних та науково-дослідних лабораторій, реставрація, а також поповнення музейних експонатів і обладнання, розширення матеріально-технічної бази та створення нових кафедр і спеціальностей.

Уже в 1917–1918 навчальному році на механічному факультеті Львівської політехнічної школи було відкрито нафтовий відділ, а в 1922–1923 рр. – організовано кафедру «Буріння і видобування нафти» у Львівській

Політехніці. Професор Фабіанський активно сприяв становленню кафедри і значно розширив колекцію музею гірництва моделями пристроїв для буріння свердловин і видобування нафти. Він також збільшив фонди кафедральної бібліотеки, каталогів, таблиць, плакатів і рисунків. При його безпосередній участі було підготовлено близько 90 інженерів за спеціальністю «Буріння свердловин і видобування нафти та газу» [1].

У 1935 р. професор Юліан Фабіанський вийшов на пенсію. Через рік йому було присвоєне звання почесного професора Львівської Політехніки, а у 1939 р. признано професором Львівського політехнічного інституту.

На завідування кафедрою вертництва і видобування нафти було запрошено технічного директора і довірену особу львівської Акціонерної спілки «Піонер» Станіслава Паращака, випускника Львівської політехнічної школи. Його було призначено професором кафедри вертництва і видобування нафти Львівської Політехніки 1 жовтня 1937 р. професором ЛПП і завідувачем кафедри буріння і видобування нафти він став у 1939 р. На цій посаді професор С. Паращак працював до літа 1941 р. Під час війни (1941–1944 рр.) роботу політехнічного інституту було практично паралізовано, кафедра буріння і видобування нафти не працювала [2].

Після звільнення Львова від фашистської окупації (27 липня 1944 р.) рішенням Уряду УРСР від 28 серпня 1944 р. тут було відкрито нафтовий факультет і в його складі поновлено роботу кафедри буріння.

Першим повоєнним завідувачем кафедри буріння і газових свердловин став уродженець Кубанського краю, випускник Новочеркаського індустріального інституту, відомий спеціаліст у галузі буріння і патріот нафтової справи, кандидат технічних наук, доцент Єременко Терентій Юхимович (з 1958 р. доктор технічних наук, професор). Другим у складі кафедри був старший викладач Михайлов Юрій Олегович. У 1949 р. був здійснений перший післявоєнний випуск висококваліфікованих гірничих інженерів-буровиків в кількості 12 чоловік [2].

Загалом, 40-і рр. як для кафедри, так і для політехнічного інституту стали роками інтенсивного відновлення зруйнованих війною приміщень, матеріально-технічної і лабораторної баз, налагодження навчального процесу та організації прийому студентів. Кафедра поступово розширює свої можливості, оснащується лабораторним устаткуванням, відкриває кабінет буріння, використовуючи експонати раніше створеного музею гірництва і нові натурні зразки бурового обладнання, організовує науково-дослідну трубку лабораторію для проведення досліджень на натурних обсадних трубах, збільшує набір студентів за спеціальністю.

У 50-х рр. чисельність професорсько-викладацького складу збільшується до семи чоловік, водночас продовжується оснащення лабораторій глинистих і тампонажних розчинів, створюється необхідна навчально-методична база, розвивається трубка лабораторія. У 1953 р. споруджується натурна діюча бурова установка-лабораторія, натурні стенди для розбирання, регулювання та випробування турбобурів, продовжується науково-дослідницька робота.

Все це робить кафедру популярною – збільшується набір студентів і випуск спеціалістів, працює аспірантура, відбуваються перші захисти кандидатських дисертацій. Для кафедри настають плідні і продуктивні роки. Її навчально-методична та науково-дослідницька діяльність стають відомими не лише в політехнічному інституті, але й далеко за його межами. Кафедра підтримує тісні стосунки з Міністерством нафтової промисловості та галузевими нафтогазовими підприємствами, котрі працевлаштовують випускників кафедри та активно допомагають їй у справі вдосконалення та розширення навчальних та науково-дослідницьких лабораторій і покращення матеріально-технічної бази.

Кінець 50-х та початок 60-х рр. відзначаються подальшим розвитком кафедри, всеосяжним вдосконаленням науково-методичної та наукової діяльності. Для цього були підготовлені нові навчальні плани, котрі передбачали диференційовану підготовку спеціалістів з абітурієнтів трьох категорій: робітничої молоді з фаховим виробничим стажем, з загальним трудовим стажем, та молоді без виробничого стажу. Розроблялася програма поступового перетворення нафтового факультету у самостійний вищий навчальний заклад нафтогазового профілю. З цією метою за ініціативою проф. Єременка Т.Ю. і за підтримки фахівців Комітету із науки і техніки Ради Міністрів УРСР з провідних вчених факультету було створено робочу групу, котра розробила і домоглась фінансування і втілення у життя проекту спорудження навчально-лабораторного корпусу та проекту студентського гуртожитку для нафтовиків, згідно з якими розпочалися будівельні роботи. Але цій перспективній програмі не судилося здійснитися, бо 24 серпня 1963 р. Міністерство вищої і середньої спеціальної освіти УРСР видає наказ № 465 про переведення з 1 серпня 1963 р. нафтового факультету до Івано-Франківського філіалу Львівської політехнічного інституту.

Висновки

Так було започатковано організовану підготовку інженерів-нафтовиків у Львівській Політехніці, закладено міцну матеріальну, наукову та методичну базу для її майбутнього розвитку.

Список використаної літератури

1. Діак У.В. і Осінчук З.П. *Газова промисловість України на зломі століть*. Івано-Франківськ: Лілея, 2000, 124 с.
2. Іваницький Є. і Михайлович В. *Історія Бориславського нафтопромислового району в датах та фактах*. Дрогобич: Добре Серце, 1994, 157 с.

3. Кафедра буріння свердловин з нафти і газу: 80 років ІФНТУНГ. Київ: Інтерпрес LTD, 2003, 82 с.
4. Ковалко М. П. *Нафта і газ України* Київ: Наукова Думка, 1997, 232 с.
5. *Нафта і газ Прикарпаття. Огляд історії*. Київ: Наукова Думка, 2004, 367 с.

References

1. Dieak U.V. and Osinchuk Z.P. (2000) *Hazova promyslovisht Ukrainy na zlomu stolit [Gaz Industry of Ukraine at the Turn of the Century]*. Ivano-Frankivsk: Lileya.
2. Ivanytskyy Ye. and Mykhaylovych V. (1994) *Istoriya Boryslavskokho naftopromyslovoho rayonu v datakh ta faktakh [The history of the Borislavsky Oil and Industrial Area in Dates, Events and Facts]*. Drohobych: Dobre Sertse.
3. *Kafedra burinnya sverdlovyh z nafty ta hazu: 80 rokiv IFNTUNH*. (2003). Kyiv: Interpres LTD.
4. Kovalko, M. P. (Ed.) (1997). *Oil and Gas Ukraine* Kyiv: Naukova Dumka.
5. *Oil and Gas Prykarpattya. Essays on history*. (2004). Kyiv: Naukova Dumka.

Ю. О. СОКОЛОВА

кандидат економічних наук, доцент,

доцент кафедри «Маркетинг та логістика»

Національний університет «Запорізька політехніка»

ORCID: 0000-0003-1352-0147

І. В. КОЧНОВА

старший викладач кафедри «Маркетинг та логістика»

Національний університет «Запорізька політехніка»

ORCID: 0000-0003-1577-0043

ФОРМУВАННЯ ЦІНОВОЇ ЗАДОВОЛЕНОСТІ СПОЖИВАЧІВ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ

У роботі розглянуто питання формування цінової задоволеності пацієнтів медичних закладів як конкурентної переваги, що дозволяє приваблювати та утримувати пацієнтів в умовах конкуренції, що постійно зростає. На основі використання методу «контент-аналізу» показано основні підходи до визначення категорії «задоволеність» споживача, що в свою чергу дозволило розвинути зміст терміну та обґрунтувати її складові для сфери послуг. Так, в сфері послуг задоволеність споживача містить як раціональні, так і емоційні складові. Крім того, з огляду на характер та характеристики послуг, споживач приймає рішення щодо їх покупки орієнтуючись на ціни, оскільки через них може судити про якість послуг та сформуванню уявлення про цінність що буде надана споживачеві. Дано роз'яснення щодо ролі ціни у формуванні задоволеності споживача, яку можна охарактеризувати як вирішальну. Показано, що цінова задоволеність споживача є складовою унікальної цінності, яка, в свою чергу, становить необхідну умову забезпечення конкурентоспроможності медичного закладу на ринку медичних послуг. Встановлено, що цінова задоволеність споживача вимірюється такими якісними характеристиками як прозорість, гідність, сприятливість, безпека, надійність та чесність та дано характеристику кожної з зазначених складових. Розглянуто три основні фази виникнення цінової задоволеності споживача медичної послуги: формування очікування, порівняння, цінова задоволеність, дано їх характеристику, з'ясовано основні чинники, що впливають на формування цінової задоволеності. Як результат виділено три основні види цінової задоволеності, що можуть мати різні наслідки, найгіршим з яких може бути повна відмова від послуг підприємства. Виділено складнощі з якими можуть зіткнутися постачальники послуг на різних фазах виникнення цінової задоволеності, які потребують опрацювання з метою їх уникнення та підвищення ефективності задоволення споживачів. Надано практичні рекомендації щодо формування цінової задоволеності пацієнтів медичних закладів, з урахуванням наявних сучасних технологій та каналів комунікації зі споживачем. Водночас подальшої деталізації потребують інструменти формування цінової задоволеності, які дозволять сформуванню ефективну маркетингову стратегію медичного закладу.

Ключові слова: очікування, медичний заклад, медичний маркетинг, послуга, пацієнт, ціна, цінова задоволеність.

YU. O. SOKOLOVA

PhD in Economics, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Marketing and Logistics

Zaporizhzhia Polytechnic National University

ORCID: 0000-0003-1352-0147

I. V. KOCHNOVA

Senior Lecturer at the Department of Marketing and Logistics

Zaporizhzhia Polytechnic National University

ORCID: 0000-0003-1577-0043

FORMATION OF PRICE SATISFACTION OF MEDICAL SERVICES'S CONSUMERS

The paper examines the issue of the formation of price satisfaction of medical institutions' patients as a competitive advantage, which allows attracting and retaining patients in conditions of constantly growing competition. Based on the use of the "content analysis" method, the main approaches to the definition of the category "consumer satisfaction" are shown, which in turn allowed developing the meaning of the term and substantiating its components for the service sector. Thus, in the service sector, consumer satisfaction contains both rational and emotional components. In addition, given the nature and characteristics of services, the consumer makes a decision about their purchase based on the prices,

because through them he can judge the quality of the services and form an idea of the value that will be provided to the consumer. Clarification regarding the role of price in the formation of consumer satisfaction, which can be characterized as decisive, was given. It is shown that the consumer's price satisfaction is a component of unique value, which, in turn, is a necessary condition for ensuring the competitiveness of a medical institution in the market of medical services. It was established that the consumer's price satisfaction is measured by such qualitative characteristics as transparency, dignity, favorability, safety, reliability and honesty, and the characteristics of each of these components are given. The three main phases of the emergence of price satisfaction of the consumer of medical services are considered: the formation of expectations, comparison, price satisfaction, their characteristics are given, and the main factors affecting the formation of price satisfaction are clarified. As a result, three main types of price satisfaction are highlighted, which can have different consequences, the worst of which can be a complete rejection of the company's services. Difficulties that services providers may encounter at different phases of price satisfaction are highlighted, which need to be worked out in order to avoid them and improve the efficiency of consumer satisfaction. Practical recommendations are provided for the formation of price satisfaction of medical institutions' patient, taking into account the available modern technologies and channels of communication with the consumer. At the same time, further detailing is needed for price satisfaction formation tools, which will allow forming an effective marketing strategy of a medical institution.

Key words: *expectations, medical institution, medical marketing, service, patient, price, price satisfaction.*

Постановка проблеми

В Україні медицина завжди вважалася соціальною сферою, якою опікувалася держава і яка тривалий час, навіть після здобуття Україною незалежності, була умовно безкоштовною. Втім, навіть державний сектор має вагомий перелік платних медичних послуг. В останні десять років в Україні активно розвивається недержавний сектор медичної галузі, який представлений чисельними медичними центрами, лабораторіями, приватними кабінетами вузьких фахівців, що призвело до загострення конкуренції, як між приватними закладами, так і між державними та приватними закладами. В результаті виникла необхідність пошуку ефективних інструментів, що дозволятимуть впливати на вибір пацієнта на користь того чи іншого закладу. Питання цінової та нецінової конкуренції розглядаються, як економістами, так і маркетологами впродовж багатьох років, але однозначно сказати які саме інструменти будуть дієвими в тій чи іншій ситуації, на тому чи іншому ринку неможливо. Однак, для України ціна була та, часто, залишається вирішальним чинником вибору товару, послуги, постачальника, але при цьому споживач не завжди лишається задоволеним своїм вибором.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання дослідження та оцінки задоволеності споживача розглядаються в роботах багатьох іноземних та вітчизняних маркетологів, зокрема Енджела Дж., Д., Блекуелла Р., Мінарда П., Котлера Ф., Ламбена Ж.Ж., Шварца П., Хілла Н., Галько Л., Зозульова А., Лилик С., Лилик М., Лебурцевої О., Неткової В. та багатьох інших.

Лабурцева О. детально розглядає різні підходи та процес оцінювання задоволеності споживачів [1]; часто задоволеність споживача розглядається як інструмент формування лояльності, зокрема у роботі Неткової В. [2] або інструмент формування клієнтоорієнтованої цінової політики [3].

Однак незважаючи на досить всеосяжне розкриття питання задоволеності споживачів нерозкритими залишаються питання формування та реалізації окремих елементів задоволеності, зокрема цінової, як конкурентної переваги постачальника послуг.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження процесу виникнення цінової задоволеності пацієнтів медичних закладів та механізму дії її основних складових.

Викладення основного матеріалу дослідження

Поява великої кількості приватних медичних закладів, а також медична реформа, яка була проведена та змусила державні медичні заклади зіштовхнутися з проблемами залучення та утримання клієнтів (пацієнтів) зумовили виникнення та активний розвиток в Україні нового виду маркетингу – медичного. В дослідженні маркетингового забезпечення розвитку підприємств медичної галузі в умовах цифрової економіки [4, с. 14] було дано авторське визначення медичного маркетингу як «специфічного виду послуг, рівнозначно спрямованого, як на забезпечення соціальних потреб суспільства – збереження здоров'я нації, так і на досягнення комерційного успіху державними і приватними лікувальними установами, шляхом створення унікальної цінності для пацієнта традиційними та сучасними інструментами маркетингу». При цьому створена унікальна цінність може бути втілена у вигляді бренду лікувальної (медичної) установи, послуг, що надаються, іміджу лікарів, унікальних ідей та місць. Так саме, згадана унікальна цінність може втілюватися у задоволеність пацієнта медичного закладу.

В літературі можна побачити різні визначення категорії «задоволеність споживача», зокрема: міра відповідності продукту підприємства очікуванням споживача (Н. Хілл [5]); міра відповідності якості товару очікуванням (Ф. Котлер, К. Келлер [6]); сприйняття ступеня виконання очікувань (ДСТУ ISO 10004:2013 «Задоволеність замовників. Настанови щодо моніторингу та оцінювання» (ISO 10004:2012, IDT) [7] та інші. Отже, можна побачити, що задоволеність споживача тісно пов'язана з тим, що він очікував і що, в результаті отримав.

Виходячи з наведених визначень, можна сказати, що задоволеність – категорія психологічна, що містить, як раціональні, так і емоційні складові, які дуже часто переплетені між собою. Більш того, навіть досить раціональні моменти, зокрема якість, ціна, зовнішнє оформлення місця продажу можуть мати емоційне забарвлення. Разом з цим, в сфері послуг, саме якість послуги, що проявляється у кваліфікації персоналу, рівні обслуговування, часі очікування та надання послуги, обладнанні та матеріалах, що використовуються, зовнішнє оформлення місця де надається послуга, ціна послуги, дають споживачеві можливість зрозуміти чи варто купувати послугу та яку ціну він готовий за неї сплатити.

Отже, оскільки задоволеність споживача найчастіше пов'язана з тими витратами та очікуваннями які він мав, та результатом, який отримав, можна говорити про ціну як одну з основних характеристик задоволеності і використовувати термін «цінова задоволеність».

Цінова задоволеність споживача враховує готовність сплатити ту чи іншу ціну за послуги та умови за яких угода буде вважатися вдалою, тобто в якій мірі споживач відчуває унікальну цінність отриманої послуги.

Цінову задоволеність споживачів послуг, можна виміряти певними якісними атрибутами:

– цінова прозорість – можливість споживача отримати повну прозору актуальну інформацію про ціну, її складові та процес встановлення. Цінова прозорість має три виміри – високу, середню, низьку. Чим вище рівень цінової прозорості, тим вище цінова задоволеність. Наприклад, коли пацієнт медичного закладу бачить якісне сучасне обладнання, матеріали, високу кваліфікацію лікарів, яка підтверджується дипломами, сертифікатами, поясненнями з боку персоналу тощо, він розуміє, чому за ту чи іншу послугу запрошують певну ціну;

– цінова гідність – виражається в цінності, яку отримує пацієнт, (економія часу, зручність, ввічливість персоналу, впевненість в правильності лікування та кінцевому результаті);

– цінова сприятливість – ціна, як її сприймає покупець, у порівнянні з цінами інших медичних закладів. Наприклад, послуги у формально безкоштовній державній медицині, зокрема прийом сімейного лікаря, часто виявляються дорожчими, ніж у приватних медичних закладах. Коли пацієнт відвідує сімейного лікаря в державній поліклініці – він все одно змушений робити лабораторні дослідження у приватних лабораторіях, оскільки, самі лікарі відправляють до них, тим самим сплачуючи досить високі ціни. В той же час у багатьох приватних закладах, за направленням від сімейного лікаря цієї клініки надається безкоштовний пакет на певний перелік лабораторних досліджень, або знижки постійного клієнта, або програма лояльності, що проявляється у накопичувальних знижках, отже, і кінцева ціна окремого візиту до лікаря значно нижча, ніж якщо відвідати державний заклад. При тому, що послуги сімейних лікарів за декларацією є безкоштовними, як в державних закладах, так і в приватних, а якість обслуговування в приватних значно вища;

– цінова безпека – міра впевненості пацієнтів в тому, що ціна послуги, що пропонується, є дійсно вигідною. Цінова безпека медичних послуг проявляється через якість їх надання – високу кваліфікацію та уважність персоналу, обладнання та матеріали, що використовуються;

– цінова надійність – виконання цінових очікувань та запобігання негативних ситуацій, пов'язаних із ціною (постійність цін, дотримання цінової обіцянки, відмова від додаткових витрат);

– цінова чесність – відчуття споживача стосовно фактичної ціни послуги та цінності, яку вона має.

Можна виділити такі фази виникнення цінової задоволеності пацієнтів медичних закладів:

– формування очікування на основі попереднього досвіду, бажань, потреб, комунікацій з боку лікувального закладу, «сарафанного радіо». Медична послуга – це продукт, який має всі характеристики властиві послугам, зокрема невідчутність, споживання одночасно із процесом виробництва, невід'ємність від виробника, непостійна якість. Тому, дуже часто саме ціна медичної послуги може бути єдиним індикатором її якості та формувати очікування споживача, щодо її змісту та результату;

– порівняння – когнітивний процес в результаті якого відбувається співставлення сприйняття атрибутів отриманої послуги (якість в широкому сенсі, ціна) з очікуваннями, що сформувалися;

– наслідки цінової задоволеності: задоволеність, незадоволеність та байдужість.

Візуально фази виникнення цінової задоволеності медичною послугою наведено на рис. 1.

Однією з найскладніших фаз виникнення цінової задоволеності для управління з боку маркетингу є фаза формування очікування, на яку впливають дуже багато чинників. По-перше, це попередній досвід, який може бути як позитивним, так і негативним. За наявності позитивного досвіду користування послугою в точу чи іншому медичному закладі очікування, як правило, формуються або на рівні «задоволеність послугою» – попередні очікування перевершені (отримані яскраві враження, користь більше ніж очікувалось) або «байдужість» – попередні очікування справдились і ставлення пацієнта формується у форматі «так і повинно бути, враховуючи ціну, що я сплатив». Відповідно, щодо нового візиту задоволеність виникне в тому разі, якщо рівень послуг та користь, що будуть отримані, або перевершать попередній досвід, або принаймні будуть на тому ж рівні. Якщо попередній досвід був негативним, то настрої споживача буде скептичним, а сформувані позитивне ставлення та цінову задоволеність буде важче.



Рис. 1. Фази виникнення цінової задоволеності послугами пацієнтів медичних закладів

По-друге, формування очікувань також відбувається на основі потреб потенційних пацієнтів шляхом обіцянки того, що ці потреби може задовольнити. Транслювати обіцянки можна через рекламні оголошення в різних каналах комунікації.

По-третє, очікування формуються на основі думок та прорад осіб впливу – рідних, друзів, інфлюенсрів та лідерів думок, які мають власний попередній досвід користування послугою або виконують рекламні функції. Групи впливу як правило транслюють враження та думки, які є результатом індивідуального сприйняття, а отже, можуть створити завищені очікування, які не справдяться і ціна, на думку пацієнта, буде несправедливою, а отже виникне цінова незадоволеність.

Порівняння очікувань та отриманого результату відбувається на основі індивідуальних категорійних оцінок споживача «дешево», «нормально», «дорого». Тому, коли підприємство прагне дослідити цінову задоволеність споживачів, необхідно, в першу чергу, визначити співвідношення між кількісним вираженням ціни та її якісною оцінкою, що дозволить сформуванню такої цінової пропозиції щодо послуг, яка буде сприяти виникненню цінової задоволеності у споживача.

Навіть при виникненні цінової задоволеності перед підприємством постає ряд питань, зокрема про те, в якій мірі споживач задоволений (у нього виникає захват від користування послугою, він відчуває байдужість, або відчуває незадоволеність)? Споживач, очікування якого перевершалися і за ціну, що була сплачена, він отримав послугу з високим ступенем унікальності, буде здійснювати повторні візити та давати позитивні рекомендації. В разі, коли очікування співпадають з результатом, виникає відчуття байдужості, адже все саме так як і повинно бути, а споживач також продовжить користуватися послугами закладу і давати позитивні рекомендації. Але у випадку, якщо побачить більш привабливу пропозицію, він може переключитися на іншого постачальника послуг. В найгіршому випадку – незадоволеності (очікування не відповідають результату) неможливо передбачити поведінку, оскільки споживач може і надалі продовжувати користуватися послугами (у випадку коли, наприклад, пацієнт ходить до конкретного лікаря, а не до закладу), може відмовитися від послуг, може давати негативні рекомендації.

Медичний бізнес характеризується певними особливостями, які необхідно враховувати для досягнення успіху, і головною серед них є те, що лікар не дорівнює продавцю, а медична послуга є набагато складнішою за звичайну послугу. Оцінка цінності, а, відповідно, й вартості медичної послуги є дуже суб'єктивною, і залежить від значно більшої кількості чинників, ніж, наприклад, сервісне обслуговування. Більш того, медичні послуги характеризуються пасивним попитом, а отже потенційні пацієнти можуть навіть не здогадатися про них до моменту критичної потреби. Що потребує додаткових заходів щодо формування попиту, зокрема за рахунок цінової

задоволеності. Цінова задоволеність – це передумова лояльності, гарантія повторних візитів, а відповідно основа конкурентоспроможності медичного закладу.

Висновки

Отже, цінова задоволеність споживача – це складова загальної задоволеності, яка формується ціновими та комунікаційними інструментами маркетингу. Процес виникнення цінової задоволеності складний та потребує уваги з боку маркетологів, особливо це стосується підприємств сфери послуг, зокрема медичного маркетингу, який має чисельні специфічні особливості у формуванні попиту пацієнтів, вибудовуванні відносин «пацієнт – медичний заклад», формування відчуття задоволеності послугою та бажання повторно довірити своє здоров'я певному закладу або лікарю. Подальшого дослідження потребує більша деталізація інструментів формування цінової задоволеності пацієнтів медичних закладів з метою розробки ефективних маркетингових стратегій їх розвитку.

Список використаної літератури

1. Лабурцева О. Інструменти оцінювання задоволеності споживачів. *Вісник ХНТЕУ*. 2018. № 5. С. 71–83.
2. Неткова В.М. Процес управління лояльністю : теоретичні основи та практичні аспекти. *Економіка та суспільство*. 2017. № 8. С. 313–320.
3. Галько Л.Р. Формування клієнтоорієнтованої цінової політики підприємства на засадах ощадливості. *Інфраструктура ринку*. 2017. № 9. С. 39–45.
4. Маркетингове та логістичне забезпечення діяльності підприємств в умовах екологізації та цифровізації економіки : колективна монографія; за заг. ред. Лифар В.В. Запоріжжя : АА ТанDEM, 2023. 256 с.
5. Hill N., Brierley J. (2003) How to Measure Customer Satisfaction. 2-nd ed. Gower Publishing. New York. 160 p.
6. Kotler F., Keller K. (2014) Marketing Management. 15-th ed. Pearson Publishing. 832 p.
7. ДСТУ ISO 10004:2013 "Задоволеність замовників. Настанови щодо моніторингу та оцінювання" (ISO 10004:2012, IDT). Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 24 с.

References

1. Laburtseva O. (2018) Instrumenty otsiniuvannya zadovolenosti spozhyvachiv [Consumer satisfaction assessment tools]. *Visnyk KNTEU*, no. 5, pp. 71–83.
2. Netkova V.M. (2017) Protsey upravlinnia loialnistiu : teoretychni osnovy ta praktychni aspekty [Loyalty management process: theoretical foundations and practical aspects]. *Ekonomika ta suspilstvo*, no.8, pp. 313–320.
3. Halko L.R. (2017) Formuvannya kliientoorientovanoi tsinovoї polityky pidpriemstva na zasadakh oshchadlyvosti [Formation of customer-oriented pricing policy of the enterprise on the basis of thrift]. *Infrastruktura rynku*, no. 9, pp. 39–45.
4. Marketynhove ta lohystychnе zabezpechennia diialnosti pidpriemstv v umovakh ekolohizatsii ta tsyfrovizatsii ekonomiky : kolektyvna monohrafiia; za zah. red. Lyfar V.V. [Marketing and logistics support of enterprises in the conditions of environmentalization and digitalization of the economy] (2023). Zaporizhzhia : AA Tandem, 256 p. [In Ukrainian].
5. Hill N., Brierley J. (2003) How to Measure Customer Satisfaction. 2-nd ed. Gower Publishing. New York. 160 p. [In English].
6. Kotler F., Keller K. (2014) Marketing Management. 15-th ed. Pearson Publishing. 832 p. [In English].
7. Zadovolenist' zamovnykiv. Nاستanovy shhodo monitoryngu ta ocinjuvannja [Satisfaction of customers. Guidelines for monitoring and evaluation] (2014). (DSTU ISO 10004:2013, ISO 10004:2012, IDT). Kyi'v : Minekonomrozvytku Ukrainy [in Ukrainian].

ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 351:004

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.46>

В. Е. АРУТЮНЯН

аспірант кафедри публічного управління та землеустрою

Класичний приватний університет

ORCID: 0000-0002-3573-8393

**ВПЛИВ СОЦІАЛЬНИХ МЕДІА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРОННОГО
ВРЯДУВАННЯ: ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ТА ПЕРСПЕКТИВИ МАЙБУТНЬОГО**

Автор досліджує роль соціальних медіа у зміцненні ефективності електронного врядування, з акцентом на огляд існуючих досліджень. Аналізуючи різноманітні дослідження, було визначено, що соціальні медіа сприяють підвищенню прозорості, участі громадян та ефективності управлінських процесів в період пандемії та поза її межами. Соціальні медіа дозволили урядам оперативно зв'язуватися з громадянами, забезпечуючи надання важливої інформації та підтримку. Також було виявлено, що діалогові стратегії у соціальних медіа, які залучають громадськість до взаємодії, мають значний вплив на рівень громадянської участі. Розглянуті дослідження підкреслюють необхідність адаптації урядових стратегій комунікації до особливостей соціальних медіа для оптимізації взаємодії з громадянами та підвищення ефективності електронного врядування. В статті також розглянуто різноманітні методологічні підходи та теоретичні рамки, використані в оглянутих дослідженнях, для вивчення впливу соціальних медіа на електронне врядування. Автори досліджень підкреслюють важливість діалогової орієнтації у комунікації між урядом та громадянами через соціальні медіа. Такий підхід сприяє підвищенню залученості громадян та ефективності сприйняття урядових повідомлень.

З дослідження видно, що маркетинг в соціальних медіа може ефективно підвищувати позитивне сприйняття урядових ініціатив та збільшувати задоволення громадян від наданих послуг. Було розглянуто важливість аналізу мовного стилю та змісту урядових повідомлень у соціальних медіа, які можуть вплинути на залучення громадян та їхню взаємодію з урядовими сторінками.

Імплікація розглянутих досліджень для розвитку політик в області електронного врядування показує, що уряди повинні враховувати потенціал соціальних медіа як інструменту для підвищення прозорості, участі громадян та ефективності управління, особливо в умовах швидкого розвитку цифрових технологій та змін у суспільних комунікаційних звичках.

Висновки розглянутих досліджень надають цінне розуміння для розвитку ефективних стратегій електронного врядування, які використовують потенціал соціальних медіа для підвищення громадянської участі та забезпечення якісних публічних послуг.

Ключові слова: електронне врядування, соціальні медіа, громадянська участь, прозорість уряду, комунікаційні стратегії, ефективність уряду.

V. E. ARUTIUNIAN

Postgraduate Student at the Department of Public Administration

and Land Management

Classic Private University

ORCID: 0000-0002-3573-8393

**THE IMPACT OF SOCIAL MEDIA ON THE EFFICIENCY OF E-GOVERNANCE:
REVIEW OF EXISTING RESEARCH AND FUTURE PERSPECTIVES**

The author investigates the role of social media in strengthening the efficiency of e-governance, focusing on a review of existing research. By analyzing various studies, it was determined that social media contribute to increasing transparency, citizen participation, and the efficiency of management processes during and beyond the pandemic. Social media have allowed governments to connect with citizens promptly, providing vital information and support. It was also found that dialogical strategies in social media, which involve the public in interaction, have a significant impact on the level of civic participation. Reviewed studies highlight the need to adapt government communication strategies to the peculiarities of social media to optimize interaction with citizens and enhance the efficiency of e-governance. The article also examines various methodological approaches and theoretical frameworks used in reviewed research to study the impact of social media on e-governance. Researchers emphasize the importance of dialogical orientation in communication between the government and citizens through social media. Such an approach enhances citizen engagement and the effectiveness of governmental messages.

The research shows that marketing in social media can effectively increase positive perceptions of government initiatives and enhance citizen satisfaction with provided services. The importance of analyzing the linguistic style and content of government messages in social media, which can affect citizen engagement and their interaction with government pages, was considered. The implications of the reviewed studies for the development of policies in the field of e-governance show that governments must consider the potential of social media as a tool for enhancing transparency, citizen participation, and management efficiency, especially in the context of rapid digital technology development and changes in societal communication habits. The conclusions of the reviewed research provide valuable insights for developing effective e-governance strategies that utilize the potential of social media to increase civic participation and ensure high-quality public services.

Key words: e-governance, social media, civic participation, government transparency, communication strategies, government efficiency.

Постановка проблеми

У сучасному світі соціальні медіа відіграють вирішальну роль у спілкуванні між урядами та громадянами, впливаючи на прозорість, громадянську участь та ефективність управлінських процесів. Ця тенденція набула особливої актуальності під час пандемії COVID-19, коли цифрові канали стали основним засобом комунікації. Незважаючи на значний інтерес до використання соціальних медіа в контексті електронного врядування, існує відчутна нестача комплексного розуміння того, як саме ці інструменти сприяють зміцненню діалогу між урядом та громадськістю та підвищують ефективність управлінських рішень. Таким чином, існує очевидна потреба в детальному огляді та узагальненні існуючих досліджень, щоб визначити, як соціальні медіа впливають на різні аспекти електронного врядування, включаючи, але не обмежуючись, прозорістю, ефективністю управління, громадянською участю та реалізацією урядових ініціатив. Особлива увага повинна бути приділена аналізу методологічних підходів та теоретичних рамок, використаних в оглянутих дослідженнях, для вивчення впливу соціальних медіа на електронне врядування. Це дозволить не тільки краще зрозуміти поточний стан досліджень у цій області, але й визначити прогалини в знаннях та напрями для майбутніх досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження різних авторів охоплюють широкий спектр тем, від зрілості електронного врядування та його впливу на ефективність управління до конкретних стратегій використання соціальних медіа для залучення громадян та підвищення прозорості урядових дій.

Так дослідження Сабіни Ходжич та ін. оцінює вплив зрілості електронного врядування на ефективність управління в ЄС, виявляючи, що зрілість електронного врядування значно сприяє підвищенню ефективності управління, особливо в умовах пандемії [1].

Чі-Хуї Лай та ін. розглядають використання соціальних медіа урядами та їхню ефективність, зокрема як різні стратегії спілкування у соціальних медіа впливають на залученість громадськості [2].

Мійкел С. Полуан та ін. аналізують сприйняття громадськістю ефективності маркетингу в соціальних медіа, виявляючи значний позитивний вплив на ставлення та задоволення громадськості від урядових закладів [3].

Дослідження Сохран Хан та ін. зосереджуються на передумовах довіри до використання соціальних медіа в електронному врядуванні, пропонуючи модель, яка визначає ключові фактори довіри з різних вимірів [4].

Парісміта Бхагаваті в своїй роботі оцінює використання веб-сайтів та соціальних медіа державними урядами на північному сході Індії, виявляючи потребу в оптимізації взаємодії з громадянами [5].

Нур Фітріаю Аюнінг Буді та ін. вивчають ефективність впровадження концепції уряду 2.0 в Індонезії, аналізуючи використання соціальних медіа та функцій Web 2.0 урядовими установами [6].

Седи Йилдирим та ін. займалися дослідженням ключових факторів досягнення ефективного управління порталом електронного врядування з перспективи громадян. Вони аналізували турецький портал електронного врядування, вивчаючи як громадяни використовують інтернет для доступу до публічних послуг, і визначили важливість забезпечення інформаційної доступності та безпеки [7].

Тунде Сімеоном Амосуном та ін. вивчали вплив використання електронного уряду на залучення громадян під час кризи COVID-19 у Китаї. Вони досліджували, як сприйняття уряду громадянами через медіа впливає на їхнє залучення та довіру до урядових рішень у кризові часи [8].

Мете Йилдиз та ін. розглядали використання Facebook місцевими урядами в Туреччині для аналізу їхньої ефективності та зручності використання. Вони виявили, що хоча урядові установи активно використовують соціальні медіа, існують значні розбіжності в адаптації та взаємодії з громадянами [9].

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз впливу соціальних медіа на ефективність електронного врядування з акцентом на детальний огляд існуючих досліджень та узагальнення їх результатів для визначення як соціальні медіа впливають на різні аспекти електронного врядування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Автори Сабіна Ходжич та ін. провели дослідження з метою оцінити вплив зрілості електронного врядування на ефективність державного управління в країнах ЄС [1]. Використовуючи двоетапний метод регресії

з найменшими квадратами, було отримано емпіричні результати, які показують, що зрілість електронного урядування позитивно і значуще сприяє підвищенню ефективності державного управління в ЄС. Основними висновками дослідження є те, що електронне урядування є невід'ємною частиною для забезпечення належного функціонування публічного адміністрування під час пандемії COVID-19. Зрілість електронного урядування суттєво впливає на підвищення ефективності уряду, а також правова держава відіграє важливу роль у кожній моделі регресії. Крім того, було виявлено значні розбіжності між рівнями розвитку електронного урядування в країнах ЄС. Цифрові технології дозволили урядам з'єднуватися з людьми та сприяли зусиллям урядів у підготовці та реалізації політичних рішень, заснованих на актуальних даних та інформації, що є умовою ефективного управління публічними коштами для надання послуг усім користувачам. Протягом пандемії COVID-19 уряди ділилися інформацією через національні портали, мобільні додатки та соціальні медіа. Багато урядів також активізували роботу зі сприяння відкритим урядовим даним, як у плані їх випуску, так і використання для створення різних типів даних. Опитування Електронного уряду ООН на 2020 рік показало, що більшість урядів мають високі рівні прозорості у звітності та обміні інформацією, пов'язаною з кризою. Під час пандемії у 2020 році уряди активніше використовували соціальні медіа для звітування про статистику COVID-19 (наприклад, загальна кількість випадків у країні, загальна кількість смертей, а також звіти про випадки за юрисдикціями). Ця інформація підкреслює значення цифрового урядування та соціальних медіа у відповіді на пандемію, а також у забезпеченні прозорості та взаємодії з громадянами в умовах, коли традиційні способи комунікації можуть бути обмежені.

Дослідження Чі-Хуї Лай та ін. розглядає використання урядами соціальних медіа та їх ефективність. Показано як різні стратегії повідомлень у соціальних медіа сприяють різним типам залучення аудиторії (тобто лайкам, репостам або коментарям) та які фактори впливають на сприйняту ефективність використання соціальних медіа [2]. Використовуючи рамки діалогового спілкування, дослідження аналізує дані з публічної організації на Тайвані, включаючи контент і лінгвістичний аналіз повідомлень цієї організації на Facebook протягом року, а також інтерв'ю та опитування з цією організацією. З'ясовано, що повідомлення, спрямовані на мобілізацію громадськості в офлайн та спілкування через неформальну мову, розмовний стиль, а також використання емоційних та рухових слів, є прикладом діалогової орієнтації. Такі повідомлення позитивно асоціюються з залученням громадськості на Facebook за кількістю лайків, коментарів та репостів. Крім того, аналіз інтерв'ю та опитувань показує, що організація та цільові громадськості розвивають взаємозалежні відносини через різноманітне використання Facebook. Такі відносини також впливають на сприйняту ефективність стратегій повідомлень організації, які мають на меті сприяти діалоговому спілкуванню. Водночас відсутність комунікації між підрозділами в організації, а також її бюрократична культура призводять до негативних наслідків для певних стратегій повідомлень. Продовження дослідження зосереджене на аналізі мовних стилів і змісту повідомлень у соціальних медіа, які відображають діалогічну орієнтацію, і як це впливає на залученість громадськості. Було виявлено, що використання інформальної мови, онлайн-жаргону та нечітких виразів (наприклад, «лол», «до речі») збільшує кількість лайків або репостів у соціальних медіа. Цікаво, що довгострокові учасники онлайн-спільнот використовують більше інформальних мовних конструкцій, що може змусити читачів відчувати психологічну близькість до відправників повідомлень або навіть до спільноти. Використання сленгу або емоджі може бути адаптовано до потреб ширшої спільноти користувачів соціальних медіа. Крім того, дослідження підкреслює, що інклюзія афективних слів у повідомлення сприяє взаємодії, а використання афективних та сумних слів пов'язане з більшою кількістю коментарів, тоді як використання слів, що імплікують афективні процеси, позитивні емоції та сум, сприяє репостам. Люди також більш схильні лайкати або ділитися повідомленнями, коли повідомлення містять займенники «ти» та «ми», що може мотивувати на подальші дії лайкання або поширення. Недіалогічні повідомлення, які мають на меті розповсюдження змісту, пов'язаного з організацією, і містять складну мову, можуть вимагати більше когнітивних зусиль для обробки інформації, що може стати перешкодою для взаємодії з цільовою громадськістю на різних рівнях. Це також може пояснити негативну реакцію громадськості на повідомлення організації, які сприяють продажу продуктів або послуг. Дослідження підкреслює, що для ефективного використання соціальних медіа урядовими організаціями для будівництва діалогічної орієнтації важливо враховувати, як члени організації та цільові громадськості реалізують динамічне спілкування через різні функції соціальних медіа, що допомагає формувати та підтримувати взаємні відносини. Однак, організаційні фактори, такі як погане внутрішньоорганізаційне спілкування, можуть знижувати ефективність стратегій повідомлень.

Метою дослідження проведеного Мійкелем С. Полуаном та ін. є визначення сприйняття громадськістю впливу та ефективності маркетингу в соціальних медіа як засобу комунікації в контексті урядових закладів Південної Мінахаси [3]. Дослідження застосувало дескриптивний кількісний підхід та опитування з використанням методу цілеспрямованої вибірки серед 100 респондентів, які активно користуються соціальними медіа і відвідували офіційні сторінки уряду Південної Мінахаси в соціальних медіа. Основні результати дослідження показали, що маркетинг в соціальних медіа має значний та позитивний вплив на ставлення громадськості, а також на задоволення громадськості від урядових закладів. Ставлення громадськості також має значний та позитивний вплив на їхнє задоволення від діяльності урядових закладів. Це дослідження підтверджує, що коли громадськість має

сприятливий досвід взаємодії з діяльністю уряду в соціальних медіа, вони, як правило, мають позитивне ставлення до урядової установи та більш схильні бути задоволеними діяльністю цієї установи. Висновки з цього дослідження надають цінне розуміння для урядових закладів щодо використання маркетингу в соціальних медіа, як ефективного засобу для підвищення громадської думки та задоволення, що може сприяти підвищенню довіри громадськості та покращенню сприйняття прозорості урядових дій.

Дослідження Сохран Хан та ін. займається вивченням передумов довіри до використання соціальних медіа в електронному урядуванні з кількох вимірів [4]. Автори провели систематичний огляд літератури з опублікованих статей між 2007 та 2017 роками, які обговорювали аспекти довіри громадян до послуг електронного урядування. В результаті було відібрано 35 статей з 7 електронних баз даних після інтенсивного процесу перегляду літератури, використовуючи критерії включення та виключення для вибору відповідних статей, які відповідали меті цього дослідження. Аналіз цього огляду показав, що довіра переважно обговорювалася в літературі як один із компонентів факторів прийняття електронного урядування, а не як незалежна тема дослідження. Крім того, фактори, що генерують довіру в контексті використання соціальних медіа для послуг електронного урядування, не отримали належної уваги в попередніх дослідженнях. Для заповнення цієї прогалини в дослідженні було запропоновано модель, яка визначає передумови довіри з кількох вимірів, класифікованих як індивідуальні характеристики: фактори уряду, фактори ризику та характеристики соціальних медіа. Це дослідження вносить вклад у розвиток нової парадигми для розвитку довіри громадян з метою збільшення їх участі в послугах електронного урядування на основі соціальних медіа, а також висвітлює напрями для майбутніх досліджень у цій області.

Дослідження проведене Парісімітою Бхагаваті показує оцінку характеру та оптимальність використання веб-сайтів та технологій соціальних медіа державними урядами на північному сході Індії в контексті електронного урядування [5]. Для цього було обрано кейс-стаді двох штатів – Ассам та Нагаленд, і проведено аналіз їхніх веб-сайтів та соціальних медіа за лютого 2020 року, а також проведено короткі структуровані інтерв'ю з офіційними особами в державних секретаріатах цих штатів. Результати дослідження свідчать, що електронне урядування в цих штатах досягло транзакційного рівня зрілості згідно з різними моделями зрілості електронного урядування (моделі Gartner, ООН, Hiller і Belanger, West, Fan). Базові е-послуги були доступні на обох веб-сайтах, проте взаємодія та взаємовідповідальність між громадянами та урядом не досягли оптимального рівня. Використання інтернет-технологій мало як можливості, так і виклики. Серед можливостей були революційне розповсюдження інформації, підвищення ефективності надання публічних послуг, зменшення витрат та часу на виконання адміністративних завдань тощо. Серед викликів були відсутність навчання персоналу необхідним ІКТ навичкам, проблеми з вертикальною інтеграцією урядових органів через відсутність належної інфраструктури електронного урядування на нижчих рівнях адміністрування.

Щодо використання соціальних медіа, обидва уряди штатів вели активні облікові записи в Facebook та Twitter. Основне використання соціальних медіа було спрямовано на просування та популяризацію урядових програм та політик. Взаємодія користувачів у соціальних медіа була обнадійливою, але відповіді та реакція на запити користувачів були недостатньо відповідальними і великою мірою односторонніми. Попри активність у соціальних медіа, дослідження виявило значну недбалість щодо запитів, думок та відгуків громадян. Висновки дослідження можуть слугувати важливим внеском у розуміння прогалин у використанні інтернет-платформ та технологій урядами, а також в оцінці досягнень штатів у сфері електронного урядування. Це дослідження спонукає до подальших інтенсивних досліджень у цій галузі з метою досягнення всеосяжної та ефективної рамки е-демократії в регіоні.

Дослідження Нур Фітріаю Аюнінг Буді та ін. займається оцінкою ефективності впровадження концепції уряду 2.0 в Індонезії та вивчення кореляції між управлінням електронного урядування та реалізацією уряду 2.0 [6]. Використовуючи індекс складності (SI) за методологією Бонсона та ін., дослідники аналізували вебсайти та соціальні медіа 116 індонезійських державних установ, вимірюючи присутність функцій Web 2.0 та застосування соціальних медіа. Результати дослідження показали, що середній бал SI становить 42%, що свідчить про те, що державні установи в Індонезії використовують функції Web 2.0 та соціальні медіа, хоча рівень адаптації не був однаковим. Було встановлено позитивний зв'язок між оцінками ефективності впровадження електронного урядування та ефективністю державних установ. Таким чином, державні установи, які ефективно впроваджували електронне урядування, також були ефективними у впровадженні уряду 2.0. Щодо соціальних медіа, дослідження виявило, що близько 64% спостережуваних державних установ мали щонайменше один акаунт у соціальних медіа. Twitter був найпопулярнішою соціальною медіа платформою, яку використовували 58% державних установ, за ним слідували Facebook (53%) та YouTube (22%). Однак взаємодія та зворотний зв'язок з громадськістю через соціальні медіа часто були односторонніми, з акцентом на поширенні інформації, а не на діалозі. Це дослідження дає важливий внесок у розуміння ролі та ефективності використання соціальних медіа та функцій Web 2.0 урядовими установами в контексті електронного урядування в Індонезії та може слугувати орієнтиром для подальшого вдосконалення стратегій уряду 2.0.

Автори Седи Йилдири́м та ін. займалися дослідженням вивчення ключових факторів досягнення ефективного управління порталом електронного урядування з перспективи громадян [7]. Використовуючи квалітативний

дизайн дослідження, автори проаналізували турецький портал електронного урядування, використовуючи доступні дані відкритого доступу та інформацію з порталу електронного урядування Туреччини, а також дані TURKSTAT для визначення загального профілю громадян щодо навичок і використання Інтернету. Основні висновки дослідження вказують на те, що тип користувача, варіанти цифрових платформ, варіанти безпеки та доступу, а також класифікація цифрових публічних послуг є важливими факторами для забезпечення добре розробленої системи порталу електронного урядування з точки зору громадян. Особливо важливим є інформування громадян про варіанти використання та категорії послуг, до яких можна отримати доступ через портал електронного урядування. Інструменти соціальних медіа визнані ефективними факторами при інформуванні громадян про портал електронного урядування та комунікації з ними. Дослідження надає оригінальну модель, яка пояснює, як працює портал електронного урядування Туреччини з перспективи громадян. Проте, існують деякі обмеження в дослідженні. Висновки та рекомендації базуються на порталі електронного урядування Туреччини та його управлінні цифровими публічними послугами. Дослідження оцінює ефективність управління порталом електронного урядування з перспективи громадян. Майбутні дослідження можуть вивчати управління порталом електронного урядування для різних країн з використанням різних підходів або дизайнів дослідження.

Дослідження Тунде Сімеонома Амосунома та ін. вивчає вплив використання електронного уряду на залучення громадян під час кризи COVID-19 у Китаї, враховуючи медійну роль сприйняття уряду громадянами [8]. Для тестування дослідницької моделі було проведено опитування серед 866 респондентів, які були громадянами трьох великих міст: Хефей, Шанхай і Нанкін. Результати дослідження, проведені з використанням структурного рівняння моделювання, показали, що використання електронного уряду значно позитивно впливає на сприйняття громадянами довіри до уряду, прозорості уряду та репутації уряду, але не має значного впливу на залучення громадян. Однак, було виявлено непрямі взаємозв'язки в аналізі медіації. Також було виявлено значний зв'язок між різними сприйняттями уряду. Аналіз медіації показав, що всі різні сприйняття уряду медіують відносини між використанням електронного уряду та залученням громадян під час кризи COVID-19. Це дослідження заповнює прогалину в літературі, досліджуючи, як використання електронного уряду китайськими громадянами під час кризи COVID-19 допомогло вплинути на їхню поведінку та ставлення. Зокрема, це одне з перших досліджень, що інтегрує використання електронного уряду громадянами та залучення громадян через різні сприйняття уряду, такі як довіра до уряду, прозорість уряду та репутація уряду, в недемократичній країні. У дослідженні, яке оцінювало вплив електронного уряду на залучення громадян під час кризи COVID-19, було з'ясовано, що використання соціальних медіа урядом значно корелює зі сприйняттям прозорості уряду громадянами. Таке сприйняття прозорості уряду позитивно асоціюється з довірою до уряду. Дослідження також виявило, що сприйняття прозорості уряду медіює відносини між використанням соціальних медіа урядом і довірою до уряду. В іншому аспекті, дослідження підтвердило, що оцінки та використання платформ соціальних медіа урядом громадянами допомагають покращити позитивне сприйняття уряду з точки зору репутації уряду, довіри до уряду, прозорості уряду, відповідальності уряду та задоволення громадян. Важливим висновком стало те, що використання електронного уряду не має прямого впливу на рівень залучення громадян під час кризи COVID-19, але медіаційний аналіз виявив непрямий вплив. Таким чином, соціальні медіа відіграють важливу роль у формуванні сприйняття громадянами прозорості, довіри та репутації уряду, що, в свою чергу, може позитивно впливати на їхнє залучення до діяльності уряду, особливо в умовах кризи, як-от пандемія COVID-19.

Дослідження Мете Йилдиз та ін. розглядає оцінку використання соціальних медіа місцевими урядами Туреччини з точки зору їх зручності використання. Дослідники аналізували Facebook-сторінки трьох найбільших турецьких міських муніципалітетів: Стамбула, Анкари та Ізміра [9]. Дослідження виявило, що урядові установи в Туреччині активно використовують функції Web 2.0 та соціальні медіа, хоча рівень адаптації та ефективності не є однорідним серед усіх установ. Було знайдено позитивний зв'язок між оцінками ефективності впровадження електронного урядування та ефективністю державних установ у використанні соціальних медіа. Щодо соціальних медіа, близько 64% державних установ мали принаймні один аккаунт у соціальних медіа, з яких Twitter був найпопулярнішою платформою, використовуваною 58% державних установ, за ним слідували Facebook (53%) та YouTube (22%). Однак взаємодія та відповіді на запити користувачів часто були односторонніми, з акцентом на розповсюдженні інформації, а не на діалозі. Автор дає рекомендації для покращення присутності уряду в соціальних медіа, які можуть бути застосовані до урядів різних рівнів та розмірів у Туреччині та за її межами.

Дане дослідження надає цінні інсайти щодо поточного стану використання соціальних медіа та електронного урядування, підкреслюючи значення цих інструментів у сучасному управлінні та необхідність інтеграції цифрових стратегій для забезпечення ефективного діалогу між урядом та громадянами, чим забезпечити підвищення ефективності.

Висновки

Кожне з розглянутих досліджень демонструє важливість інтеграції цифрових інструментів та соціальних медіа в процеси електронного урядування та публічного управління. Вони підкреслюють потребу в діалозі між урядом та громадянами, важливість безпеки та доступності інформації, а також роль соціальних медіа як майданчика для

покращення прозорості, залучення громадськості та зміцнення довіри до уряду. Ці дослідження спільно наголошують на тому, що ефективне використання цифрових технологій та соціальних медіа може значно покращити якість та доступність публічних послуг, забезпечити більшу прозорість урядових дій та зміцнити взаємодію між урядами та громадянами. Однак, для досягнення цих цілей важливо враховувати та вирішувати існуючі виклики, такі як необхідність покращення інтерфейсів користувача, забезпечення безпеки даних, а також розробка і реалізація ефективних стратегій комунікації.

Перспективи подальших досліджень мають зосередитися на розробці та впровадженні інноваційних діалогових стратегій в соціальних медіа, що будуть сприяти більшій залученості громадян та покращенню взаємодії між урядами та громадянами. Важливим аспектом є також аналіз мовного стилю та змісту урядових повідомлень у соціальних медіа, щоб визначити їх вплив на залучення громадян. Крім того, подальші дослідження повинні враховувати швидкий розвиток цифрових технологій та зміни в суспільних комунікаційних звичках, щоб адаптувати урядові стратегії комунікації до новітніх тенденцій. Розробка комплексного методологічного підходу для вивчення довгострокового впливу соціальних медіа на ефективність електронного врядування стане ключовим напрямом для забезпечення стійкого розвитку е-демократії та публічних послуг високої якості.

Список використаної літератури

1. Hodzic, S., Ravselj, D., Jurlina Alibegovic, D. (2021). E-Government Effectiveness and Efficiency in EU-28 and COVID-19. *Central European Public Administration Review*. Vol. 19 (1). pp. 159–180. DOI: 10.17573/cepar.2021.1.07
2. Lai, C. H., Yu, R. P., Chen, Y. C. (2020). Examining Government Dialogic Orientation in Social Media Strategies, Outcomes, and Perceived Effectiveness: A Mixed-Methods Approach. *International Journal of Strategic Communication*. Vol. 1 (1). DOI: 10.1080/1553118X.2020.1749634
3. Poluan, M. S., Pasuhuk, L. S., Mandagi, D. W. (2022). THE ROLE OF SOCIAL MEDIA MARKETING IN LOCAL GOVERNMENT INSTITUTION TO ENHANCE PUBLIC ATTITUDE AND SATISFACTION. *Jurnal Ekonomi*. Vol. 11 (3). pp. 1268–1279. URL: <https://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/Ekonomi>
4. Khan, S., Ab. Rahim, N. Z., Maarop, N. (2020). A systematic literature review and a proposed model on antecedents of trust to use social media for e-government services. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. Vol. 7 (2). pp. 44–56. DOI: 10.21833/ijaas.2020.02.007
5. Bhagawati, P. (2020). Websites and social media technologies as implements of E-Governance: A study of North East India. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 13 (31). pp. 3188–3197. DOI: 10.17485/IJST/v13i31.1016
6. Budi, N. F., Fitriani, W. R., Hidayanto, A. N., Kurnia, S., Inan, D. I. (2020). A study of government 2.0 implementation in Indonesia. *Socio-Economic Planning Sciences*. Vol. 72. pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.seps.2020.100920
7. Yildirim, S., Bostancı, S. H. (2021). The efficiency of e-government portal management from a citizen perspective: evidences from Turkey. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*. Vol. 18 No. 3, pp. 259–273. DOI: 10.1108/WJSTSD-04-2021-0049
8. Amosun, T.S., Chu, J., Rufai, O.H., Muhideen, S., Shahani, R. and Gonlepa, M.K. (2022), «Does e-government help shape citizens' engagement during the COVID-19 crisis? A study of mediational effects of how citizens perceive the government», *Online Information Review*, Vol. 46 No. 5, pp. 846–866. DOI: 10.1108/OIR-10-2020-0478
9. Yildiz, M., Ocak, N., Yildirim, C., Cagiltay, K., Babaoglu, C. (2016). Usability in Local E-Government: Analysis of Turkish Metropolitan Municipality Facebook Pages. *International Journal of Public Administration in the Digital Age*. Vol. 3 (1). pp. 53–69. DOI: 10.4018/IJPADA.2016010104

References

1. Hodzic, S., Ravselj, D., Jurlina Alibegovic, D. (2021). E-Government Effectiveness and Efficiency in EU-28 and COVID-19. *Central European Public Administration Review*. Vol. 19 (1). pp. 159–180. DOI: 10.17573/cepar.2021.1.07
2. Lai, C. H., Yu, R. P., Chen, Y. C. (2020). Examining Government Dialogic Orientation in Social Media Strategies, Outcomes, and Perceived Effectiveness: A Mixed-Methods Approach. *International Journal of Strategic Communication*. Vol. 1 (1). DOI: 10.1080/1553118X.2020.1749634
3. Poluan, M. S., Pasuhuk, L. S., Mandagi, D. W. (2022). THE ROLE OF SOCIAL MEDIA MARKETING IN LOCAL GOVERNMENT INSTITUTION TO ENHANCE PUBLIC ATTITUDE AND SATISFACTION. *Jurnal Ekonomi*. Vol. 11 (3). pp. 1268–1279. URL: <https://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/Ekonomi>
4. Khan, S., Ab. Rahim, N. Z., Maarop, N. (2020). A systematic literature review and a proposed model on antecedents of trust to use social media for e-government services. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. Vol. 7 (2). pp. 44–56. DOI: 10.21833/ijaas.2020.02.007
5. Bhagawati, P. (2020). Websites and social media technologies as implements of E-Governance: A study of North East India. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 13 (31). pp. 3188–3197. DOI: 10.17485/IJST/v13i31.1016

6. Budi, N. F., Fitriani, W. R., Hidayanto, A. N., Kurnia, S., Inan, D. I. (2020). A study of government 2.0 implementation in Indonesia. *Socio-Economic Planning Sciences*. Vol. 72. pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.seps.2020.100920

7. Yildirim, S., Bostancı, S. H. (2021). The efficiency of e-government portal management from a citizen perspective: evidences from Turkey. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*. Vol. 18 No. 3, pp. 259–273. DOI: 10.1108/WJSTSD-04-2021-0049

8. Amosun, T.S., Chu, J., Rufai, O.H., Muhideen, S., Shahani, R. and Gonlepa, M.K. (2022), «Does e-government help shape citizens' engagement during the COVID-19 crisis? A study of mediational effects of how citizens perceive the government», *Online Information Review*, Vol. 46 No. 5, pp. 846–866. DOI: 10.1108/OIR-10-2020-0478

9. Yildiz, M., Ocak, N., Yildirim, C., Cagiltay, K., Babaoglu, C. (2016). Usability in Local E-Government: Analysis of Turkish Metropolitan Municipality Facebook Pages. *International Journal of Public Administration in the Digital Age*. Vol. 3 (1), pp. 53–69. DOI: 10.4018/IJPADA.2016010104

В. В. БАЗИЧЕНКО

аспірантка кафедри державного управління
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0004-1370-6093

СУЧАСНИЙ СТАН ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

Стаття присвячена розробці методології побудови системи публічного управління, яка б найбільш адекватно відповідала умовам функціонування системи забезпечення національної безпеки. Показано основні функціональні системи забезпечення національної безпеки, їх призначення. Сфери діяльності держави безпосередньо трансформуються у сфери (напрямки) публічного управління. Одним з важливих напрямків публічного управління є забезпечення національної безпеки. Наведено поняття публічне управління в сфері національної безпеки, її зміст та принципи, а також основні цілі досягнення її ефективності. Наголошується, що важливою ознакою публічного управління забезпеченням національної безпеки є те, що воно є категорією стратегічного публічного управління, що зорієнтоване на перспективу, концептуальний задум щодо вдосконалення системи управління. Найбільш складний вид стратегічного управління називається «стратегічним управлінням у реальному масштабі часу» і пов'язується, як правило, з вирішенням стратегічних завдань, що виникають раптово. По суті організація має одночасно паралельно займатися уточненням стратегії і вирішенням стратегічних завдань, що виникають. Саме система публічного управління забезпеченням національної безпеки є такою. Ця система стратегічного публічного управління перебуває на стадії становлення, тому ще не визначені остаточно її складові. Удосконалення основ публічної політики забезпечення національної безпеки, обґрунтування її цілей, принципів та пріоритетних напрямів, механізмів досягнення визначених цілей неможливо без моделювання процесів прийняття управлінських рішень у цій сфері. Моделювання дає змогу також прогнозувати можливі негативні наслідки управлінських рішень, що приймаються у різних сферах життєдіяльності держави.

Ключові слова: національна безпека, система забезпечення національної безпеки, публічне управління, публічне управління забезпеченням національної безпеки, стратегічне планування.

V. V. BAZYCHENKO

Postgraduate Students at the Department of Public Administration
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0004-1370-6093

CURRENT STATE OF PUBLIC ADMINISTRATION IN THE SPHERE OF NATIONAL SECURITY

The article is devoted to the development of a methodology for building a public administration system that would most adequately correspond to the conditions of functioning of the system ensuring national security. The main functional subsystems of the national security system and their purpose are shown. The spheres of state activity are directly transformed into spheres (directions) of public administration. One of the important areas of public administration is ensuring national security. The concept of public policy of ensuring national security (PPZNB), its content and principles, as well as the main goals of achieving its effectiveness are presented. It is emphasized that an important feature of public management of ensuring national security is that it is a category of strategic public management that is perspective-oriented, a conceptual plan for improving the management system. The most complex type of strategic management is called «strategic management on a real-time scale» and is usually associated with solving strategic tasks that arise suddenly. In fact, the organization should simultaneously be engaged in clarifying the strategy and solving emerging strategic tasks. It is the system of public management of ensuring national security that is such. This system of strategic public management is at the stage of formation, therefore its components have not yet been definitively determined.

Improving the foundations of the public policy of ensuring national security, substantiating its goals, principles and priority areas, mechanisms for achieving the specified goals is impossible without modeling the processes of management decision-making in this area. Modeling also makes it possible to predict the possible negative consequences of management decisions made in various spheres of the state's life.

Key words: national security, national security system, public management, public management of national security, strategic planning.

Постановка проблеми

Сучасний світ стикається з багатьма викликами, які вимагають не стільки захисної реакції, скільки контрзаходів, контратак з метою усунення не самих проблем, а факторів ризику, які ці проблеми викликають. Це особливо актуально для України, яка наразі протистоїть багатьом глобальним викликам національній безпеці, ключовим з яких є російська агресія.

Нинішній розвиток геополітичних відносин у сучасному світі об'єктивується актуальними глобальними проблемами, які прямо чи опосередковано стосуються всіх країн світу. Терористичні загрози, гібридні війни, глобальна пандемія та радикалізація національних меншин – все це загрози сучасній стратегії національної безпеки будь-якої держави. Для України, на жаль, усі перераховані вище ризики є не лише реальними, але й такими, що існують в країні, проти яких виступають як політичні лідери, так і громадянський сектор, громадянське суспільство. Вищезазначене обумовлює необхідність побудови системи національної безпеки, яка дозволила б мінімізувати чи попередити сучасні глобальні виклики.

Вважаємо, що Україні необхідно постійно оновлювати стратегію національної безпеки, комплекс заходів щодо її забезпечення, а також постійно створювати умови для підвищення ефективності організаційно-правового забезпечення всієї системи національної безпеки.

Зміни в системі владних відносин у сучасному світі, зміщення основних геополітичних центрів – усе це призводить до нових обставин і умов, у яких нинішні політичні лідери України повинні реалізувати власну стратегію національної безпеки України, яка не повинна характеризуватися виключно оборонними методами підтримання внутрішньополітичної та соціально-економічної стабільності середовища безпеки в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Враховуючи важливість питання національної безпеки і оборони, особливо в умовах російської агресії, значна кількість науковців досліджують питання публічного адміністрування у сфері національної безпеки України: Богданович В. Ю., Семенченко А. І., Єжеев М. Ф.; Бойко А. В.; Валіхновський Р.; Глушак О. М.; Горбулін В. П., Качинський А. Б.; Каплан Ю. Б., Ковалівська С. В. Наукові підходи до стратегічного планування: вирішення проблем національної безпеки відображені у працях таких науковців: Горбулін В. П., Качинський А. Б.; Домарев В. В. Система ситуаційного управління: теорія, методологія, рекомендації.

Зауважимо, що питання публічного адміністрування у сфері національної безпеки України окреслені у ряді нормативних актів: Кодекс цивільного захисту України [1, с. 106]; Конституція України [2, с. 65]; Про затвердження Інструкції з проведення аналізу ризиків у Державній прикордонній службі України [3, с. 91]; Про затвердження нормативно-правових актів з питань надання екстреної медичної допомоги [4, с. 45]; Про Стратегію національної безпеки України: Указ Президента України [5, с. 146].

Формування мети дослідження

Метою статті є узагальнення підходів щодо публічного адміністрування у сфері національної безпеки України, а саме: проаналізувати державне управління у сфері національної безпеки України; окреслити концепцію публічного адміністрування у сфері національної безпеки України в умовах сучасних глобальних викликів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Управління в широкому розумінні представляє собою вплив на еволюцію (розвиток в часі) того чи іншого процесу з метою надання йому бажаних результатів. Для того щоб управляти будь-якою системою, необхідно з'ясувати цілі, завдання, функції і складові цієї системи. Складові системи забезпечення національної безпеки (СЗНБ).

«Профільні» державні органи – це, так звані «силові» міністерства і відомства, які входять до складу Военної організації держави (сектору безпеки) і безпосередньо виконують функції захисту національних інтересів.

Державні органи «загальної компетенції» – виконують, так би мовити, функції забезпечення.

Недержавні органи (недержавний сектор) – органи, які складають основу недержавної системи забезпечення національної безпеки.

З погляду системного підходу, під управлінням розуміють процес цілеспрямованого впливу на об'єкт управління. З погляду суб'єктоб'єктних відносин публічне управління являє собою безперервний процес реалізації відповідних функцій, у зв'язку з чим державне управління можна охарактеризувати як процес планування, організації, мотивації, контролю з метою формулювання і досягнення цілей держави [6, с. 88].

Сфери діяльності держави безпосередньо трансформуються у сфери (напрямки) публічного управління. Однією із головних є публічне управління забезпеченням національної безпеки, в основі якого – публічне управління в сфері національної безпеки, тобто цілеспрямована діяльність політичного керівництва держави та суспільних інститутів з визначення цілей і постановки завдань щодо захисту національних цінностей та інтересів і розробки форм, методів та засобів досягнення цілей, реалізації національних пріоритетів у рамках відповідних аспектів публічної політики (економічної, соціальної, військової, міжнародної освітньої, етніонаціональної, військово-промислової, бюджетно-фінансової, кадрової та ін. Вона включає: виявлення (прогнозування) загроз національним інтересам; визначення стратегічних завдань із захисту національних інтересів і діяльність щодо їх вирішення; удосконалення системи забезпечення національної безпеки, її сил і засобів; створення мобілізаційних ресурсів і визначення порядку їх розгортання [7; 8, с. 139].

Важливою ознакою публічного управління в сфері національної безпеки є те, що воно є категорією стратегічного публічного управління, що зорієнтоване на перспективу; концептуальний задум щодо вдосконалення системи управління [8, с. 170]. Найбільш складний вид стратегічного управління називається «стратегічним

управлінням у реальному масштабі часу» і пов'язується, як правило, з вирішенням стратегічних завдань, що виникають раптово. По суті організація має одночасно паралельно займатися уточненням стратегії і вирішенням стратегічних завдань, що виникають. Саме система публічного управління забезпеченням національної безпеки є такою. Ця система стратегічного публічного управління перебуває на стадії становлення, тому що не визначені остаточно її точні складові [9, с. 13].

Основні принципи публічного управління в сфері національної безпеки полягають в наступному: забезпечення національної безпеки без збитку (шкоди) для безпеки інших країн; інтеграція з міжнародними системами безпеки, дотримання укладених чи визнання міждержавних договорів і угод у сфері безпеки, співробітництво й участь відповідно до них у заходах щодо забезпечення безпеки за межами держави; суворе дотримання національного і міжнародного законодавства; дотримання балансу життєво важливих інтересів особистості, суспільства і держави; пріоритет політичних та інших мирних засобів у врегулюванні виникаючих конфліктів [10, с. 56]. Створення ефективної системи публічного управління в сфері забезпечення національної безпеки вимагає досягнення чотирьох важливих цілей. Першою ціллю є інтеграція окремих організацій та структур у єдину систему забезпечення національної безпеки. Другою ціллю є досягнення інтеграції самої системи забезпечення національної безпеки до решти державних та суспільних організацій, структур та відомств. Третьою ціллю є досягнення інтеграції всередині кожної організації й структурах. Останньою ціллю є інтеграція національної системи публічного управління в сфері національної безпеки до сектору безпеки євроатлантичної та європейської спільноти.

Удосконалення основ публічного управління в сфері національної безпеки, обґрунтування її цілей, принципів та пріоритетних напрямів, механізмів досягнення визначених цілей неможливо без моделювання процесів прийняття управлінських рішень у цієї сфері. Моделювання дає змогу також прогнозувати можливі негативні наслідки управлінських рішень, що приймаються у різних сферах життєдіяльності держави. Для цього необхідно розробити комплексну (системну) модель публічного управління в сфері національної безпеки на сучасному етапі.

Аналіз досвіду рішення подібного класу завдань показує, що системну модель публічного управління доцільно побудувати на наступних принципах [11, с. 32]: невизначеності, його сутність полягає у тому, що під час одночасного застосування спряжених псевдонезалежних макропараметрів для опису стану складної системи (підсистеми), принципово неможливо дати точний опис її дійсного стану (результатів функціонування та систем діяльності за їх досягненнями); відкритості моделі, що дає можливість нарощувати модель додатковими модулями у разі потреби, використовувати єдину базу даних і гарантувати надійний інформаційний захист від різного роду інформаційних впливів; генерації сценаріїв і агрегації ситуації, що дає можливість моделювати альтернативні сценарії розвитку геополітичної та воєннополітичної ситуації в регіоні; фільтрації запропонованих заходів, що дає можливість обґрунтовувати варіанти стратегічних рішень на підставі визначених критеріїв і пріоритетності використання несилових методів вирішення проблем у сфері забезпечення національної безпеки держави; адаптації до реальної ситуації, що дає можливість обґрунтовувати заходи щодо забезпечення національної безпеки держави відповідно реальному рівню, напрямку і масштабу воєнних загроз державі; модульності, що дозволяє замінювати окремі часткові моделі (модулі) більш точними й удосконаленими, а також нарощувати загальну модель; сумісності з системами управління регіональних та глобальних систем безпеки.

У зв'язку з цим до системної моделі публічного управління в сфері національної безпеки України висуваються такі основні вимоги: оперативність прогнозування виникнення та ескалації загроз і реагування на них; прогнозування розвитку ситуації у сфері безпеки, виявлення найбільш критичних сценаріїв розвитку подій; здатність забезпечувати ефективність захисту національних інтересів; можливість будови системи управління забезпеченням національної безпеки в існуючу структуру публічного управління з її вертикальними та горизонтальними зв'язками; забезпечення об'єктивної оцінки ситуації, що розглядається; адаптивність структури до змін публічного апарату, систем колективної безпеки і т. ін.; сумісність з органами управління інших країн і колективними системами безпеки; обґрунтованість можливостей сил і засобів держави для раннього виявлення, попередження, усунення та нейтралізації загроз національній безпеці держави (з оцінками необхідних для цього фінансових і матеріальних ресурсів); обґрунтованість рекомендацій (тобто, що робити) щодо адаптації зовнішньополітичної, воєнної і військово-технічної політики до реальної обстановки, що складається в регіоні на конкретний проміжок часу та на перспективу. Для реалізації визначених принципів та вимог системна модель публічного управління повинна будуватися на методології системного аналізу і синтезу, методах дослідження операцій, аналізу ієрархій, теорії ймовірностей і прогнозування, експертного оцінювання і моделювання і може бути використана вищим воєнно-політичним керівництвом держави в ситуаційних центрах управління при плануванні і здійсненні цілеспрямованої політики по забезпеченню необхідного рівня національної безпеки держави [12, с. 174].

Ефективність функціонування системи повинна досягатися послідовним виконанням заходів на кожному із наступних взаємопов'язаних етапах: повне підпорядкування цілям і пріоритетам публічної політики національної безпеки країни; розробка та реалізація комплексу заходів щодо імплементації Стратегії національної безпеки, Стратегії реформування Воєнної організації України та Стратегій по сферах національної безпеки на всіх рівнях публічної влади; виявлення умов та обмежень, в тому числі ресурсних, за яких буде здійснюватись імплементація

публічної політики національної безпеки; вибір найбільш оптимальних засобів та механізмів для реалізації публічної політики національної безпеки; контроль за виконанням заходів, вибір способів та механізмів щодо надання необхідної допомоги; оцінка результативності проведених заходів, виявлення та діагностика проблем у межах реалізації публічної політики національної безпеки [12, с. 198]. Основними ознаками системи забезпечення національної безпеки, яку ми будемо розглядати як складну є: цілісність – система формується як комплекс підсистем, необхідних і достатніх для реалізації вибраної цільової функції; ієрархічність – система вмонтована у сукупність соціально-політичних систем більш високого порядку і містить, у свою чергу, підсистеми, вбудовані у неї та організовані також за ієрархічними схемами; синергія – у цілому система забезпечення національної безпеки має властивості, що відсутні у її окремих компонентів.

Найбільш складним і важливим етапом створення системи забезпечення національної безпеки в цілому залишається визначення складу (структури) системи публічного управління в сфері національної безпеки України, як найбільш важливої складової, що визначає цілі і засоби та способи досягнення цих цілей (стратегію).

Висновки

У статті обґрунтовано методологію побудови системи публічного управління забезпеченням національної безпеки, в основу якої покладено комплексне використання елементів стратегічного планування.

Реалізація вимог щодо підвищення ефективності публічного управління у сфері забезпечення національної безпеки потребує крім традиційного набору знань про процеси, що протікають в системі забезпечення національної безпеки, розробки нових технологій управління та реагування на дію різного роду деструктивних факторів та явищ.

Удосконалення основ публічного управління в сфері національної безпеки, обґрунтування її цілей, принципів та пріоритетних напрямів, механізмів досягнення визначених цілей неможливо без моделювання процесів прийняття управлінських рішень у цієї сфері. Моделювання дає змогу також прогнозувати можливі негативні наслідки управлінських рішень, що приймаються у різних сферах життєдіяльності держави. Для цього необхідно використовувати комплексну модель публічного управління в сфері національної безпеки України.

Список використаної літератури

1. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 34–35. Ст. 458.
2. Конституція України від 28.06.1996. Відомості Верховної Ради України. 1996. № 30. Ст. 141.
3. Про затвердження Інструкції з проведення аналізу ризиків у Державній прикордонній службі України : Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 11.12.2017 № 1007. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws>
4. Про затвердження нормативно-правових актів з питань надання екстреної медичної допомоги: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 24.09.2020 № 2179. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1192-20#Text>
5. Про Стратегію національної безпеки України: Указ Президента України від 12.02.2007 № 105/2007. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws>
6. Бакуменко В.Д. Формування державно-управлінських рішень: проблеми теорії, методології, практики: монографія. Київ: Видво УАДУ, 2000. 320 с.
7. Публічне управління у сфері національної безпеки: підручник / Г.П. Ситник, М.Г. Орел; за ред. Г.П. Ситника. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2022. 464 с.
8. Публічне управління: термінол. слов. / уклад.: В.С. Куйбіда, М.М. Білинська, О.М. Петроє та ін.; за заг. ред. В.С. Куйбіди, М.М. Білинської, О.М. Петроє. Київ: НАДУ, 2018. 224 с.
9. Богданович В.Ю., Єжеев М.Ф., Свида І.Ю. Основи державного управління забезпеченням обороноздатності України: теорія і практика: монографія. Львів: ЛІСВ, 2008. 300 с.
10. Геополітика і національна безпека : словник термінів / Г.П. Ситник, В.Ю. Богданович, М.Ф. Єжеев. Київ: Вид-во НАДУ, 2005. 232 с.
11. Богданович В.Ю., Єжеев М.Ф. Системна модель і алгоритм державного управління процесами євроатлантичної інтеграції України. Україна-НАТО. 2005. № 6 (10). С. 39–48.
12. Основи державного управління процесами формування і реалізації оборонної політики України: наук. – метод. посіб. / за заг. ред. В.П. Горбуліна. Київ: ДП НВЦ «Євроатлантикінформ», 2006. 125 с.

References

1. Civil Protection Code of Ukraine dated 02.10.2012 No. 5403-VI. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine. 2013. No. 34–35. Art. 458.
2. Constitution of Ukraine dated June 28, 1996. Information of the Verkhovna Rada of Ukraine. 1996. No. 30. Art. 141.
3. On the approval of the Instructions for conducting risk analysis in the State Border Service of Ukraine: Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated 11.12.2017 No. 1007. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws>

4. On the approval of legal acts on the provision of emergency medical care: Order of the Ministry of Health of Ukraine dated 09/24/2020 No. 2179. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1192-20#Text>
5. On the National Security Strategy of Ukraine: Decree of the President of Ukraine dated February 12, 2007 No. 105/2007. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws>
6. Bakumenko V.D. (2000) Formation of state-management decisions: problems of theory, methodology, practice: monograph. Kyiv: Vydvo UADU, 320 p.
7. Public administration in the sphere of national security: textbook / H.P. Sytnyk, M.G. Eagle; under the editorship H.P. Sitnik Kyiv: VOC "Kyiv University", 2022. 464 p.
8. Public administration: terminal. words / editor: V.S. Kuybida, M.M. Bilynska, O.M. Petroye and others; in general ed. V.S. Kuibidy, M.M. Bilynska, O.M. Petroye Kyiv: NASU, 2018. 224 p.
9. Bogdanovich V.Yu., Yezheev M.F., Svida I.Yu. (2008) Basics of state management of defense capability of Ukraine: theory and practice: monograph. Lviv: LISV, 300 p.
10. Geopolitics and national security: a dictionary of terms / H.P. Sytnyk, V.Yu. Bogdanovych, M.F. Yezheev Kyiv: Publishing House of NADU, 2005. 232 p.
11. Bogdanovich V.Yu., Yezheev M.F. (2005) System model and algorithm of state management of the processes of Euro-Atlantic integration of Ukraine. Ukraine-NATO. No. 6 (10). P. 39–48.
12. Fundamentals of state management of the processes of formation and implementation of the defense policy of Ukraine: science. – method. manual / for general ed. V.P. Gorbulina. Kyiv: State Enterprise "Euroatlanticinform", 2006. 125 p.

С. А. ГОРБАЧЕНКО

доктор економічних наук, професор,
завідувач кафедри кібербезпеки
Національний університет «Одеська юридична академія»
ORCID: 0000-0001-8442-9581

Н. А. КЛЄВЦЄВИЧ

кандидат економічних наук, доцент,
старший науковий співробітник відділу розвитку підприємництва
ДУ «Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень
Національної академії наук України»
ORCID: 0000-0002-2010-4814

РОЛЬ КІБЕРБЕЗПЕКИ У ВПРОВАДЖЕННІ ЦИРКУЛЯРНИХ ЕКОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ: АНАЛІЗ РИЗИКІВ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ

Методичну основу даної наукової роботи складають висновки щодо аналізу і теоретичного узагальнення наукових підходів до координації економічного розвитку в умовах цифрової циркулярної економіки, що наведені в роботах теоретичного та практичного характеру. Для досягнення поставленої мети в статті використані методи графічної інтерпретації результатів аналізу та узагальнення, методи теоретичного аналізу, синтезу. У статті встановлено, що останнім часом світова економіка функціонувала в лінійному форматі. Автори дійшли висновку, що такий тип економічного розвитку створює певні ризики для нормального існування всього світу, який споживає більше ресурсів, ніж може відновити. Доведено, що циркулярна економіка це змінює. Визначено, що для реалізації таких світоглядних рішень у глобальному вимірі важливо створити відповідну цифрову основу. Встановлено, що впровадження цифрових технологій належить до засобів забезпечення переходу до замкнутої економіки. Зроблено висновок, що нові технології та бізнес-моделі, а також високі темпи їх впровадження несуть нові ризики (втрата даних, неякісне програмне забезпечення, технічне відставання, недостатній рівень компетенцій, порушення конфіденційності втрата робочих місць, технічні збої), але кібербезпека робить швидкі цифрові зміни безпечнішими. Зазначається, що для мінімізації цих ризиків важливо впроваджувати ефективні заходи кібербезпеки, регулярно оновлювати системи та програмне забезпечення, налагоджувати навчання персоналу та дотримуватись етичних стандартів використання технологій. Зрештою, брак впевненості користувачів у безпеці онлайн-сервісів та захисті конфіденційності ставить під загрозу можливість використання повного потенціалу інформаційно-комунікаційних технологій для стимулювання інновацій, циркулярного економічного зростання та прогресу в напрямку таких трансформаційних змін. Встановлено, що з розвитком цифровізації та комп'ютеризації як у виробничих процесах, так і в повсякденному житті масштаби кіберзагроз будуть зростати пропорційно збільшенню набору циркулярних продуктів і послуг, що використовують інформаційні технології, та кількості їх споживачів. Зважаючи на це, забезпечення кібербезпеки є актуальним завданням державного та приватного секторів, а розробка адекватних заходів протидії таким викликам і загрозам стає важливим вектором державної політики. Доведено, що проблема кібербезпеки стає надзвичайно гострою та важливою, з цього випливає, що подальший розвиток циркулярної економіки в умовах цифровізації та отримання її переваг людством нерозривно пов'язане з одночасним розвитком відповідної системи кібербезпеки.

Ключові слова: економіка замкнутого циклу, кругова економіка, циркулярна економіка, інформаційні технології, інструменти кібербезпеки.

S. A. HORBACHENKO

Doctor of Economics, Professor,
Head of the Cyber Security Department
National University "Odesa Law Academy"
ORCID: 0000-0001-8442-9581

N. A. KLEVTSYEVYCH

PhD, Associate Professor,
Senior Research Fellow at the Department of Entrepreneurship Development
State Organization "Institute of Market and Economic & Ecological Researches
of the National Academy of Sciences of Ukraine"
ORCID: 0000-0002-2010-4814

THE ROLE OF CYBERSECURITY IN THE IMPLEMENTATION OF CIRCULAR ECONOMIC MODELS: RISK AND OPPORTUNITY ANALYSIS

The methodological basis of this scientific work consists of conclusions regarding the analysis and theoretical generalization of scientific approaches to the coordination of economic development in the conditions of a digital circular economy, which are given in works of a theoretical and practical nature. To carry out this scientific work and achieve the set goal, the article uses methods of graphic interpretation of the results of analysis and generalization, methods of theoretical analysis, synthesis. The article established that recently the world economy functioned in a linear format. The authors concluded that this type of economic development creates certain risks for the normal existence of the whole world, which consumes more resources than it can restore. The circular economy is proven to change this. It was determined that for the implementation of such worldview solutions in a global dimension, it is important to create an appropriate digital basis. It has been established that the implementation of digital technologies belongs to the means used to ensure the transition to a closed-loop economy. It was concluded that new technologies and business models, as well as the high pace of their implementation, carry new risks (loss of data, low-quality software, technical lag, insufficient level of competence, violation of confidentiality and privacy, dependence on IT, loss of jobs, technical failures), but cybersecurity makes rapid digital change safer. It is noted that in order to minimize these risks, it is important to implement effective cyber security measures, regularly update systems and software, provide staff training and adhere to ethical standards of technology use. After all, the lack of confidence of users in the security of online services and the protection of privacy threatens the possibility of using the full potential of information and communication technologies to stimulate innovation, circular economic growth and progress in the direction of such transformational changes. It has been established that with the development of digitization and computerization both in production processes and in everyday life, the scale of cyber threats will grow in proportion to the increase in the set of circular products and services that use information technologies and the number of their consumers. Taking this into account, ensuring cyber security is an urgent task for the public and private sectors, and the development of adequate countermeasures against such challenges and threats is becoming an important vector of public policy. It has been proven that the problem of cyber security is becoming extremely acute and important, from this it follows that the further development of the circular economy under the conditions of digitalization and the obtaining of its benefits by humanity is inextricably linked with the simultaneous development of the relevant cyber security systems.

Key words: closed cycle economy, circular economy, circular economy, information technologies, cyber security tools.

Постановка проблеми

Протягом останніх років світова економіка діяла за принципами лінійного виробництва, де ресурси з природного середовища використовувалися для створення продукції та викидалися як відходи. Однак ця модель, що базується на масовому виробництві та споживанні, стає загрозою для сталого майбутнього, оскільки людство витрачає природні ресурси набагато швидше, ніж вони можуть відновитися. Концепція економіки замкнутого циклу, також відома як циркулярна економіка чи кругова економіка, принесла зміни у глобальному розумінні ефективного використання ресурсів. На світовому рівні вона розглядається як можливість функціонування економіки, де ресурси використовуються, але не витрачаються. У цій економічній системі передбачається здійснення економічного зростання шляхом переходу від лінійних виробничих практик. Але не дивлячись на те, що перехід від лінійної моделі до моделі економіки замкнутого циклу все ще знаходиться на етапі становлення, потенціал таких змін доволі високий. Впровадження цифрових технологій належать до інструментів, що застосовуються для забезпечення переходу до економіки замкнутого циклу. Разом із цим нові технології та інтенсивна динаміка їх впровадження несуть нові ризики, проте кібербезпека робить швидкі цифрові зміни безпечнішими. Адаптація непевність користувачів щодо безпеки онлайн-сервісів та захисту конфіденційності гальмує використання потенціалу цифрових технологій у сприянні інноваціям, циркулярному економічному рості та загальному прогресі в напрямку значущих трансформацій. Подібним загрозам піддаються усі без виключення країни світу, а проблема кібербезпеки набуває неабиякої гостроти і важливості. З цього слідує, що подальший розвиток циркулярної

економіки на умовах цифровізації і отримання суспільством її переваг нерозривно пов'язаний із одночасною розбудовою відповідних систем кібербезпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню аспектів циркулярної економіки присвячено чимало робіт вітчизняних та закордонних науковців. Потапенко В., Корнатовський Р., Шилкіна О., Харічков С., Батова Н., Сачек П., Точицька І. концентрують увагу в своїх працях саме на цих питаннях. В останні роки все більшої актуальності набирають наукові публікації про необхідність та неминучість цифровізації, свої наукові розробки цьому питанню присвячують Січкаренко К. О., Гончар С. Ф., Грановський М. В., Грабар І. Г. Вивченню важливості забезпечення кібербезпеки для розвитку цифрової економіки циркулярного типу присвячено ряд зарубіжних досліджень, зокрема Wilts H., Moşteanu N., Faccia A., Cavaliere L., Antikainen M., Uusitalo T., Kivikyto-Reponena P., Scarpellini S., Portillo-Tarragona P., Aranda-Uson A., LlenaMacarulla F. В них відзначається, що важливим аспектом позитивного розвитку таких економічних систем є забезпечення надійного цифрового середовища, становлення якого потребує змін та доповнення відповідного правового поля і публічних дій у сфері кібербезпеки. Їх увага зосереджується на тому, що кіберзагрози гальмують темпи розвитку цифрової економіки, а значить не створюють умов у напрямку циркулярних трансформацій. Проте їх дослідження здебільшого зосереджені на сфері нормативно-правового регулювання та формуванні системи інформаційної безпеки держави, тоді як мало дослідженим торкаються питань впливу кібербезпеки на формування та розвиток цифрової економіки циркулярного типу.

На думку авторів статті, відкритим залишається питання про вигоди та ризики одночасного цифрового та циркулярного розвитку економіки, що зумовлює актуальність вибраної теми дослідження та його мету.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є визначення ролі інструментів кібер безпеки в циркулярних бізнес моделях, аналіз їх ризиків та можливостей з якими пов'язане їх використання.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сутність економіки замкнутого циклу полягає у її прагненні повторити закриту природну систему, де все, що вироблено чи використано, повністю переробляється всередині системи так, що не виникає екологічних проблем. Її мета – забезпечення максимальної ефективності від кожного процесу у життєвому циклі товару чи послуги. Циркулярна економіка впливає на розподільну систему, пріоритетним ресурсом у якій є вторинні ресурси [1].

Перехід до циркулярного типу розвитку економіки обумовлений перш за все суттєвим тиском на довкілля та ризиковістю усталених протягом багатьох років бізнес-моделей, що здійснюються в рамках лінійної економіки. Між циркулярною та лінійною моделями економіки існує низка суттєвих відмінностей. Циркулярна модель економіки відрізняється від лінійної способом створення та підтримки цінності у ланцюжку. Лінійна економіка передбачає: «видобуток – виробництво – утилізація», в якому основна увага у створенні вартості приділяється якомога більшим обсягам виробництва та продажу товарів (рис. 1).

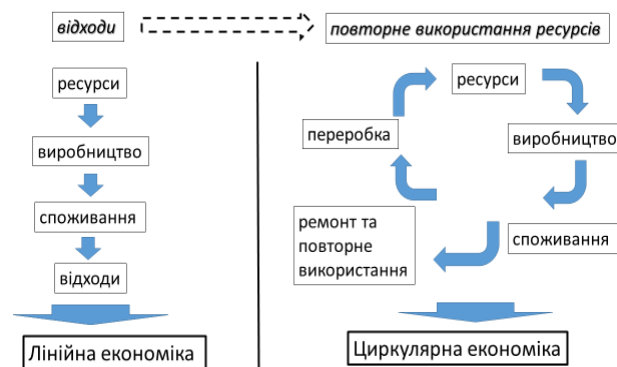


Рис. 1. Порівняння моделей лінійної та циркулярної економіки

Джерело: складено авторами.

Переформатування економіки у напрямку циркулярності вимагає використання прогресивних інноваційних рішень на всіх стадіях життєвого циклу товарів, основна частина з яких передбачає інтенсивне використання цифрових технологій. З цього випливає, що цифровізація може надати імпульс та зробити результативнішим перехід в напрямку економіки замкнутого циклу, замикаючи ланцюжок ресурсів та демонструючи повну інформацію про їхню наявність та стан тощо. Цифрові технології мають великий потенціал для забезпечення переходу до циркулярної економіки, тому що тільки завдяки їй нововведенням можливо кардинально змінити існуючий стан справ до більш екологічного (рис. 2). Саме вони можуть забезпечити переформатування існуючих процесів,

оскільки являють собою механізми, які здатні збільшувати економічну значущість і при цьому зменшуючи існуючі витрати [2].

Наразі існує велика кількість практик, що свідчать про перші кроки до реалізації ідей циркулярної економіки. Багато компанії вже використовують нові технології для виключення відходів та забруднення з ланцюжків створення вартості, надаючи при цьому позитивний екологічний та соціальний вплив [3].



Рис. 2. Взаємозв'язок цифровізації та циркулярної економіки для досягнення цілей сталого розвитку

Джерело: складено авторами.

Проте суб'єктам господарювання необхідно не тільки визначитися з напрямком впровадження ідей циркулярної економіки, а й розуміти, за допомогою яких інструментів можливо безпосередньо здійснити таку трансформацію. Існуючі цифрові технологічні рішення представлені на рис. 3.

Впровадження інформаційних технологій в сучасне суспільство та бізнес-середовище приносить численні можливості, але також несе і певні ризики, які варто прораховувати.

Серед основних можемо виділити [3]: втрата конфіденційної інформації (втрата даних може суттєво впливати на бізнес); ненадійне програмне забезпечення (використання неякісного програмного забезпечення може сформувати умови для можливих атак); технічне відставання (швидкий темп змін в ІТ може суттєво збільшувати вартість оновлення обладнання та програмного забезпечення); недостатній рівень компетентності (нездатність персоналу ефективно працювати з новими технологіями може призвести до зниження продуктивності їх праці та збитків); порушення приватності (можливість незаконного доступу до особистої інформації може порушити конфіденційність користувачів); залежність від ІТ (збільшена залежність від ІТ може призвести до проблем, якщо системи вийдуть з ладу чи стануть недоступними); втрата робочих місць (може відбуватися втрата робочих місць через автоматизацію багатьох процесів); технічні збої (збої в роботі ІТ-інфраструктури можуть призвести до значних перерв у роботі бізнесу).



Рис. 3. Цифрові технології, що використовуються для переходу на циркулярні рейки економічного розвитку

Джерело: складено авторами

Для зменшення цих негативів важливо впроваджувати заходи кібербезпеки, проводити постійне оновлення систем та програмного забезпечення, здійснювати навчання персоналу та дотримуватися етичних стандартів використання цифрових технологій.

В узагальненому вигляді під кібербезпекою розуміють сукупність спеціальних правових, організаційних, і технічних заходів, реалізація яких дозволяє забезпечити захист інформаційних комп'ютерних систем, мереж і різних програмних додатків від кібернетичних атак зловмисників [3]. Такі атаки можуть завдати значних матеріальних збитків як підприємствам, внаслідок втрати коштів, активів або розкриття важливої конфіденційної інформації, так і публічному секторові – спричинити збитки для цивільної, фінансової, енергетичної та військової інфраструктури.

Основними видами кібератак є [4]: фішинг – зловмисники надсилають електронні листи або повідомлення представлені законні, і вимагають грошові кошти або важливу інформацію. Також вони можуть замінювати URL-адресу; боти та автоматичні атаки – найчастіше кібератаки здійснюють автоматизовані боти, які можуть скачувати системи на наявність вразливостей, вираховуючі паролі та підсаджувати у системи шкідливими програмами; DDoS-атаки – передбачають направлення великих обсягів фальшивого трафіку до комп'ютерної системи доти, доки обсяг трафіку не переповерхне її, позбавивши доступу звичайних користувачів; шкідливе програмне забезпечення – програмне забезпечення, створене для допомоги чи проведення кібератак або заподіяння шкоди комп'ютерним системам. Зазвичай воно здатне поширюватись і заражати додаткові комп'ютерні системи.

З розвитком цифровізації масштаби кіберзагроз зростатимуть пропорційно збільшенню набору циркулярних продуктів і послуг, у яких застосовуються інформаційні технології, та кількості їх споживачів. Беручи до уваги це твердження, забезпечення кібербезпеки є надважливим завданням для публічного та приватного секторів, а впровадження адекватних заходів протидії подібним загрозам стають важливим напрямком публічної політики.

Якщо підприємці, що намагаються здійснити перехід на циркулярні рейки розвитку та застосовують при цьому цифрові інновації не роблять кроків із захисту цифрових активів бізнесу, вони безперечно ризикують.

Існує безліч інструментів, які можуть захистити від переважної більшості потенційних кібер атак.

Інструменти для пароля [5]: паролі є однією з найбільших точок вразливості у бізнесі. Вибір надійних паролів, ефективне управління ними та їх зміна часто є одними з найкращих способів запобігти будь-якій кіберзлочинності.

VPN [5]: віртуальна приватна мережа (VPN), яка може шифрувати весь мережний трафік. Єдина вразливість в мережі – це все, що потрібно для того, щоб зловмисник міг отримати доступ до всіх даних. Рішення забезпечує безперервний моніторинг локальних та віддалених мережевих пристроїв, хмарних середовищ незалежно від типу підключення: дротове, бездротове, VPN. Дуже важливою з огляду на це є наявність програми шифрування. Шифрування забезпечує безпеку даних, перетворюючи інформацію на комп'ютері на коди, що не читаються.

Антивірусна програма [6]: антивірусне програмне забезпечення не є надійною ставкою для захисту від хакерів, але воно триматиме в курсі, якщо комп'ютер заражений шкідливими програмами, і сканує вкладення електронної пошти, щоб переконатися, що вони не є шкідливими. Хороша та надійна антивірусна програма – обов'язковий елемент будь-якої системи кібербезпеки. Вона виявляє та видаляє віруси та шкідливі програми.

Брандмауер [7]: брандмауер контролює вхідний та вихідний трафік, відфільтровує певні загрози і навіть блокує деякі сайти в цілому. Брандмауер не захистить від усіх загроз в Інтернеті, але це додатковий рівень страхування, від якого не варто відмовлятися. Брандмауер блокує чи утримує віруси від проникнення у мережу, тоді як антивірус націлюється на програмне забезпечення, яке вже уражене вірусом. Інакше кажучи, вони добре працюють разом. Установка брандмауера допомагає захистити мережевий трафік малого бізнесу як вхідний, так і вихідний. Це може завдати хакерам атакувати мережу, заблокувавши певні вебсайти. Його також можна налаштувати так, щоб обмежити відправлення службових даних та конфіденційних електронних листів із мережі вашої компанії.

Найкраще обладнання [6]: старі комп'ютери, сервери та інші апаратні засоби можуть бути менш дорогими, але створюють багато серйозніших ризиків для безпеки. Вони, як правило, використовують більш старе програмне забезпечення і мають дірки в галузі безпеки, які відомі та експлуатуються протягом багатьох років. Тому експерти пропонують оновлювати обладнання регулярно, кожні кілька років.

Найкраще програмне забезпечення [8]: фахівці пропонують також звернути пильну увагу на те, яке програмне забезпечення та програми використовуються для таких завдань, як зберігання даних, зв'язок та управління проектами. Кожна окрема платформа має свої сильні та слабкі сторони, тому потрібно обирати постачальників, до яких є довіра, із довгою історією захисту даних клієнтів.

Ігнорування підозрілих електронних листів та повідомлень [6]: через фішингові електронні листи хакер намагається отримати особисті та фінансові дані. Для більшої безпеки необхідно змінювати пароль електронної пошти кожні 60–90 днів. Крім того, важливо не використовувати один і той ж пароль скрізь.

Створення резервних копій даних [7]: потрібно або вручну створювати резервні копії всіх даних на зовнішньому жорсткому диску або хмарі, або просто запланувати автоматичне резервне копіювання, щоб забезпечити безпечне зберігання інформації. Таким чином, навіть якщо системи будуть скомпрометовані, інформація, як і раніше, буде в безпеці.

Освіта [9]: експерти пропонують інвестувати кошти на навчання та поінформованість співробітників. Більшість хаків пояснюються людськими помилками, тому більш освічені співробітники зможуть їх запобігти. Необхідно виділяти час кожного місяця для перевірки оновлень, і нагадування співробітникам про важливість звичок, таких як регулярна зміна паролів та уникнення підозрілих посилань.

Висновки

Після проведення дослідження можна зазначити, що впровадження економіки замкнутого циклу може призвести до поліпшення екологічної ситуації у світі, оскільки така модель орієнтована на більш раціональне використання обмежених природних ресурсів. Важливо врахувати, що такий перехід передбачає трансформацію природних процесів виробництва та споживання. Для підтримки цих ідей можуть бути використані цифрові технології. Розвиток яких, у свою чергу, неможливий без впровадження кібербезпеки, як на загально національному рівні, так і на рівні окремих суб'єктів господарювання. Усвідомлення і представниками влади і представниками бізнес середовища того факту, що кібер загрози та їх наслідки є дуже небезпечними є вкрай необхідним для створення відповідного цифрового середовища, яке стане основою подальших циркулярних трансформацій в нашій країні. Результати проведеного дослідження свідчать, що існує тісний зв'язок між рівнями кібербезпеки та цифрового розвитку: підвищення першої неминуче веде до прискорення другого і, як наслідок, досягнення сталого розвитку. Тому кібербезпека повинна посісти чільне місце у загальній візії розвитку нашої країни та окремо взятих компаній.

Список використаної літератури

1. Wilts H. The digital circular economy: can the digital transformation pave the way for resource-efficient materials cycles? In Brief: Sustainability Impulses from Wuppertal 04/2017 / H. Wilts, H. Berg, Wuppertal Institut. Wuppertal Institut. 2017. URL: https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/publications/In_Brief_20174_en.pdf (дата обращення 20.01.2024).
2. Moşteanu N., Faccia A., Cavaliere L. Digitalization and Green Economy – changes of business perspectives. ICCBDC '20: Proceedings of the 4th International Conference on Cloud and Big Data Computing. August 2020. P. 108–112.
3. Green and digital transition: More resilience and sustainable jobs for the EU. 2022.
4. Семенов А.Ю. Экосистемы цифровых платформ как фактор трансформации бизнеса в условиях цифровой экономики. Вісник КНУТД. 2019. № 4 (137). С. 39-50.
5. Що таке кібербезпека? Заходи забезпечення кібербезпеки. Навчальний центр з підготовки ІТ спеціалістів. DAN.IT. 2023. URL: <https://dan-it.com.ua/uk/blog/chto-takoe-kiberbezopasnost-meru-obespechenija-kiberbezopasnosti/> (дата звернення 20.01.2024).
6. Розвиток ринку кібербезпеки: інструменти і спільнодія. Громадський простір. URL: <https://www.prostir.ua/?news=rozvytok-rynku-kiberbezpeky-instrumenty-i-spilnodiya-vidbuvsya-praktychnyj-dialoh-seminar-v-mezhah-prohramy-dialoh-pro-kiberbezpeku> (дата звернення 24.01.2024).
7. Гончар С.Ф. Оцінювання ризиків кібербезпеки інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури : монографія. / С. Ф. Гончар. Київ, 2019. 175 с.
8. Грановський М.В. Державна політика у сфері запобігання та протидії кібернетичним загрозам – досвід Республіки Польща / М. В. Грановський. Теорія та практика державного управління. 2019. Вип. 4. С. 212–220.
9. Грабар І.Г. Безпекова синергетика: кібернетичний та інформаційний аспекти : монографія. / І. Г. Грабар, Р. В. Гришук, К. В. Молодецька. Житомир, 2019. 279 с.

References

1. Wilts H. (2017). The digital circular economy: can the digital transformation pave the way for resource-efficient materials cycles? In Brief: Sustainability Impulses from Wuppertal / H. Wilts, H. Berg, Wuppertal Institut. Wuppertal Institut. URL: https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/publications/In_Brief_20174_en.pdf (accessed 20.01.2024).
2. Moşteanu N., Faccia A., Cavaliere L. (2020). Digitalization and Green Economy – changes of business perspectives. ICCBDC '20: Proceedings of the 4th International Conference on Cloud and Big Data Computing. (August 2020). pp. 108-112.
3. Green and digital transition: More resilience and sustainable jobs for the EU. (2022). Available at: <https://www.openaccessgovernment.org/digital-transition-sustainable-jobs-eu/92904> (accessed 24.01.2024).
4. Semenov A. Yu. (2019). Ekosystemy tsyfrovyykh platform yak faktor transformatsii biznesu v umovakh tsyfrovoy ekonomiky. [Ecosystems of digital platforms as a factor of business transformation in the conditions of the digital economy] *Visnyk KNUVD*. no. 4 (137). pp. 39-50.
5. Shcho take kiberbezpeka? Zakhody zabezpechennia kiberbezpeky. (2023). [What is cyber security? Cyber security measures]. Navchalnyi tsentr z pidhotovky IT spetsialistiv. DAN.IT. URL: <https://dan-it.com.ua/uk/blog/chto-takoe-kiberbezopasnost-meru-obespechenija-kiberbezopasnosti/> (accessed 20.01.2024).

6. Rozvytok rynku kiberbezpeky: instrumenty i spilnosti. (2023). Hromadskyi prostir. [Development of the cyber security market: tools and cooperation]. Hromadskyi prostir. URL: <https://www.prostir.ua/?news=rozvytok-rynku-kiberbezpeky-instrumenty-i-spilnostiya-vidbuvsya-praktychnyj-dialoh-seminar-v-mezhah-prohramy-dialoh-pro-kiberbezpeku>(accessed 24.01.2024).
7. Honchar, S.F. (2019). Otsiniuvannia ryzykiv kiberbezpeky informatsiinykh system ob'ektiv krytychnoi infrastruktury. [Assessment of cyber security risks of information systems of critical infrastructure objects] monohrafiia. / S. F. Honchar. Kyiv, 175 p.
8. Hranovskyi, M.V. (2019). Derzhavna polityka u sferi zapobihannia ta protydiv kibernetichnym zahrozam – dosvid Respubliki Polshcha. [State policy in the field of prevention and countermeasures against cyber threats – the experience of the Republic of Poland]. Teoriia ta praktyka derzhavnoho upravlinnia, Issue 4, 212–220 pp.
9. Hrabar, I.H., Hryshchuk, R.V., & Molodetska, K.V. (2019). Bezpekova synerhetyka: kibernetichni ta informatsiinyi aspekty. [Security synergy: cybernetic and informational aspects]. monohrafiia. / I. H. Hrabar, R. V. Hryshchuk, K. V. Molodetska. Zhytomyr, 279 p.

В. М. ДЕМЧЕНКО

кандидат філологічних наук, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-1841-7798

УРАХУВАННЯ В ДЕРЖАВНІЙ МОВНІЙ ПОЛІТИЦІ ЧИННИКІВ ОРГАНІЧНОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ

У статті досліджено риси органічності української мови, що присутні як у її літературній формі, так і в діалектній. Проведено паралель із явищем адаптації етранжизмів (запозичень) у народній мові, що виявляє її орієнтацію на редукцію (спрощення) та дотримання законів української мови, які мають бути актуальними й сьогодні – у часи реального захисту національної мови від мови-агресора, якою є російська – мова колишньої метрополії. Тобто принагідно досліджено також явище калькування, зокрема й форм цієї мови, які волонтаристично було впроваджено в структуру української як місцевої. Аналіз здійснено відповідно до рівнів української мови – фонетичного, морфологічного, семантичного, лексичного та фразеологічного, на яких розглядаються як органічні діалектні одиниці, так і запозичення з інших мов, перероблені в народі задля комфортного їх використання. Спостережено принципову відмінність української мови від російської в сенсі виключної органічності першої, більшого наближення її до інших слов'янських мов саме у використанні зазначених органічних мовних форм.

Зроблено висновок, що російськомовна калька в діловому стилі мови може мовцем і не усвідомлюватися як неорганічна одиниця через свою «штампованість», проте в діалектному / розмовному мовленні ознака органічності є домінуючою, що й зберігає українську мову та національну ідентичність загалом. Так, у діалектній / розмовній мові іношомовні запозичення адаптуються з метою утворення зручної для мовлення форми (на зразок «дохтур», «радіво», «транвай», «юль» тощо), яка, можливо, й не логічна, але органічна за фонетичними законами певного діалекту. Акцентовано, що здатність народної мови адаптувати таким чином іношомовні елементи є ознакою її розвитку й сили, навіть незламності, що сьогодні актуально. Зазначено, що попри структурну міцність української мови більш важливим на сьогодні – у її державному статусі – є функційний розвиток, що ще більш посилюється у воєнних умовах із колишньою метрополією.

Ключові слова: українська мова, органічність, етранжизми, редукція, мовна політика, калькування, захист національної мови.

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

ACCOUNTING OF FACTORS THE UKRAINIAN LANGUAGE ORGANIC DEVELOPMENT IN STATE LANGUAGE POLICY

The article examines the organic features of the Ukrainian language, which are present both in its literary form and in its dialect form. A parallel is drawn with the phenomenon of adaptation of exoticisms (borrowings) in the national language, which reveals its orientation towards reduction (simplification) and observance of the laws of the Ukrainian language, which should be relevant even today – in the times of real protection of the national language from the aggressor language, which is Russian – the language of the former metropolis. That is, the phenomenon of tracing, in particular, the forms of this language, which were voluntarily introduced into the structure of Ukrainian as a local language, was also randomly investigated. The analysis was carried out in accordance with the levels of the Ukrainian language – phonetic, morphological, semantic, lexical and phraseological, at which both organic dialect units and borrowings from other languages, processed in the people for their comfortable use, are considered. The fundamental difference between the Ukrainian language and the Russian language in the sense of the exceptional organicity of the former, its greater approximation to other Slavic languages, precisely in the use of the specified organic language forms, was observed.

It was concluded that the Russian-language trace in the business style of speech may not be perceived by the speaker as an inorganic unit due to its «stampedness», however, in dialect / colloquial speech, the sign of organicity is dominant, which preserves the Ukrainian language and national identity in general. Thus, in the dialect / colloquial language, foreign borrowings are adapted in order to form a form convenient for speech (for example, «dokhtur», «radio», «travai», «yul», etc.), which may not be logical, but organic according to phonetics laws of a certain dialect. It is emphasized that the ability of the national language to adapt foreign language elements in this way is a sign of its development and

strength, even indomitability, which is relevant today. It is noted that despite the structural strength of the Ukrainian language, functional development is more important today – in its state status – which was even more intensified in the wartime conditions with the former metropolis.

Key words: *Ukrainian language, organicity, foreignisms, reduction, language policy, tracing, protection of the national language.*

Постановка проблеми

Державна мовна політика передбачає насамперед захист мови національної більшості, що має конституційний статус державної та функційний – офіційної [1]. Отже, саме ця мова має вживатися в публічній сфері та виконувати представницьку функцію за кордоном [2]. Тобто український службовець або політичний діяч, перебуваючи навіть у відпустці, але називаючись саме як представник української влади, зобов'язаний у публічному мовленні – на рецепшині, в інтерв'ю, проголошуючи тости за столом – використовувати українську (чи англійську як міжнародну, але не російську як мову своєї колишньої імперії). Також державна мова має бути задіяна у всіх формах публічної комунікації на вулицях, зокрема в оголошеннях, рекламних або інформаційних написах, мікротопонімах тощо – тобто охоплювати функційний простір усієї життєдіяльності. Не вимагається її застосування лише в побутовій та церковній сферах комунікації, хоча у другій вона все одно вже домінує, а в першій поступово входить у субкультуру великого міста, де, звісно, імперські традиції є найсильнішими (скажімо, у тій же Індії в часи британського панування англійська мова була неодмінним чинником більшого престижу й заробітку, що відбилося через кілька поколінь уже й на генетичному рівні).

Проте захист мови полягає не лише в розширенні й забезпеченні її вживання у публічній сфері, адже загрозу для мови становлять і внутрішні її проблеми, найголовнішою з яких є нашарування (кальки) російськомовних елементів, що в умовах імперії впроваджувалися – і часом спеціально – у структуру підлеглої української (як і інших місцевих / периферійних / локальних / національних мов). Цьому сприяли не лише вказівки від партійних функціонерів, але й догідлива ініціативність місцевих мовознавців на академічному рівні, які навіть придумали принизливий термін «суржик» на позначення реалізаційної форми мовлення – звісно, що мішаної, звісно, що калькованої, але ж української (! – наша емоція – В.Д.). Проте це приниження призвело до того, що носії української стали соромитися своєї мови – мовляв, не вмію правильно розмовляти, тому й використовую російську. У певному сенсі це принижувало вже й російську, адже вона в Україні (та й в інших територіях «неосяжної») стрімко знижувала свій літературний рівень, щедро наповнюючись матизмами й місцевими формами, але майже на століття гальмувало використання української межі людьми. І лише сьогодні переважна кількість українців перестали її соромитися й почали нею пишатися (особливо після вторгнення російського агресора на територію України). У такому разі захисником мови стають уже не державні, а її внутрішні закони, що зберігають органічну форму та нівелюють неорганічну.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання органічності української мови, зокрема діалектного її страту, розглядалися лінгвістами ще у другій половині ХХ століття, а тому, на жаль, не отримали якихось нових перспективних пропозицій на сьогодні. Водночас соціальне функціонування мови перебуває в епіцентрі уваги науковців. Проте дослідження, наприклад, О. Ткаченка 1998 року щодо української фонетики в історичній ретроспективі [3] чи В. Франчука 1993 року щодо загального розвитку української мови в контексті східнослов'янського мовного конгломерату [4], чи й С. Єфремова у 20-ті роки [5] нині викликають цікавість через свою фактологічну спрямованість (наприклад, аналізується давньоруське літописання). До таких досліджень долучилися й ми, фіксуючи свою увагу на такому феномені української мови, як органічність [6]. Для верифікації фактологічних даних використовуємо лексикографічні праці, укладені В. Чабаненком [7; 8], а також Інститутом української мови НАН України [9]. Зрештою зазначені праці та вчені не займалися конкретно питаннями мовної органічності, яким ми й присвячуємо цю статтю.

Формулювання мети дослідження

Зважаючи на наведене вище, мета цієї статті – розглянути чинники органічного розвитку української мови в контексті їх урахування в державній мовній політиці. Це передбачає залучення діалектологічного й соціолінгвістичного аналізу, вивчення словникового матеріалу та дедуктивних підсумків.

Викладення основного матеріалу дослідження

Перед тим, як розглянути власне органічні риси української мови на всіх її рівнях, потрібно зазначити про два чинники, які впливають на формування мовця, – настановні та ситуативні, адже цей мовець може ту органічність і не усвідомлювати через генетичні зв'язки (субстанцію-код або мемезійне підґрунтя) чи через свідоме сприйняття своєї мовно-національної сутності (ідентичності) в певних історичних умовах. Наприклад, у період війни з російськими агресорами український народ став насправді новою політичною нацією, адже об'єднався через однакове почуття відрази до колишнього «старшого брата» та з метою перемоги над ним.

При цьому якщо ситуативні чинники домінують у дихотомії з настановними, то мовне планування держави матиме позитивні результати. І попри безсумнівне значення останніх у процесі розвитку мови та мовної ситуації

домінантою є ситуативні чинники як перемінні. Скажімо, українці й молдовани попри здатність до активного білінгвізму стали такими саме під впливом історичних умов, які з часом і трансформувались в настанову. І навпаки, росіяни від початку заснування імперії розвинули в собі настанову достатньої одномовності – саме через історичну імперську чи метрополійну (зокрема для росіян-колоністів на території України) зверхність, яка реалізувалася через експансію російської мови в напрямку місцевих мов.

У ретроспективі на території, де місцева мова (українська) потрапила під вплив зовнішньої (російської), якщо перша підлягла інтерференції на лексичному рівні, то відповідає терміну «койне» (у ній є чимало лексичних одиниць тієї метрополійної), але на фонетичному рівні все одно безперечно домінують одиниці місцевої. Носій такої мови може жити вже й на території метрополії, проте ідентифікуватися як українець (чи грузин, чи білорус). По-простому це називається «акцент». У зворотньому напрямку (із впливом місцевої мови на зовнішню можна говорити про таку форму реалізації останньої мови, як її територіальний варіант (на кшталт іспанської в Аргентині чи Коста-Ріці).

Літературні форми обох мов (досконалі стандарти) – компонентів імперського білінгвізму – при цьому займають вузьку сферу функціонування, але з більш високим статусом за розмовну форму, – освіту, мистецтво, науку. Що ж до ділової сфери, то відповідну функційно-стильову субстанцію важко сприйняти як компонент певної національної культури – саме через невизначеність характеру її походження: ситуація чи настанова відіграла тут вирішальну роль? Але те, що ті ж канцеляризми закріпились у мовному коді упродовж значного історичного періоду, не викликає сумніву і спричиняє надмірну їх перевагу під час мовного вибору – як функційно-стильового, так і мовно-національного. Це є прикладом перетворення чинників ситуативних на настановні, коли етнічна приналежність мовної одиниці, здається, вже не усвідомлюється. На рівні ж психіки це йде не на користь місцевої мови, підлеглої ситуативним чинникам. Як було вже зазначено, це стосується саме канцеляризмів – у процесі деформації у складі фраземи, коли структура може бути від російської мови, а фонетична реалізація – від української (на кшталт «виключення із правил», «єсть предложення», «відчит по плану», «поставити задачу», «знаходиться в командировці» тощо).

Такі певною мірою спільні граматичні моделі в обох мовах утворилися через уживання спільної лексики; при тому зведено до мінімуму використання іншомовних запозичень, які також є спільними лексично й уживання яких принципово ситуації не змінює у сенсі фразеологічної (синтаксичної) структури, але на морфологічному рівні підвладне мовним законам, тобто є оберегом норми (форми на кшталт «прогнозування ситуації», «аналізована проблема» тощо).

Надалі нашою метою буде не суто етимологічний чи граматичний аналіз, а розвідка з метою визначення елементів органічності в українській мові. Так, фонетичний рівень апіорі найбільш органічний у мові, адже саме з нього починається кодифікація будь-якого слова. Ідеальний мовець спонтанно вимовить це слово так, як йому зручно; носії одного з ним діалекту вимовлять те слово так само; зрештою в національній мові воно буде кодифіковане певною мірою компромісно щодо різних діалектів цієї мови.

Мова – як відображення й елемент природи – взагалі має один лише матеріальний чинник – звуки, і вони природно є різними в кожного етносу (укр. гаў – рос. гаф). Саме фонетика, за визначенням, не диференціює мови світу на розвинені й нерозвинені, просто одні носії бувають агресивніші за інших (як казали греки – чия влада, того й мова).

Для прикладу візьмемо діалектну одиницю «свадьба». Воно відповідає давньому «сватба» як модель на позначення певної дії (ще: «косьба», «молотьба», «боротьба» тощо). Тобто твірна основа – логічна й семантично прозора: у цьому разі – від дієслова «сватати». Зрештою процес регресивної асиміляції призводить до утворення аналізованої нами форми: [свát'ба] – [свáд'ба]. До того ж бачимо, що інші приклади цієї моделі не кодифікувалися графічно, залишивши лише асимільовану вимову. Причина одна: аналізована одиниця просто не увійшла до словника літературної української мови (за наявності похідних «свати», «сваха», «сватання»), поступившись місцем лексемі «весілля», що лише побічно розкриває семантику відповідного процесу. Зазначимо, що в літописах XII–XIII століть паралельно вживаються як «свадба», так і «весельє» [4, с. 28], що знову-таки доводить факт тогочасної опозиції книжних і розмовних одиниць.

Але найбільше прикладів органічного адаптування носіями української мови незручних для вимови слів знаходимо серед іншомовних запозичень, і тому побутове мовлення переповнене всілякими *kasus lingua* («ахтобуз», «трактор», «радіо», «транвай» тощо). Учені їх відносять до просторіччя (а то й суржику), хоча це також сфера діалектології: фонетика таких утворень логічно пояснюється за законами певних діалектів (тобто органічності). Спробуємо пояснити це далі.

Наприклад, одиниця «апріль» (квітень) з українською рефлексією «і» в закритому складі зустрічається в південно-західному наріччі нашої мови (натомість у південно-східному та північному – «апрель») [7, с. 136]. Зауважимо, що в цьому наріччі така рефлексія (чергування) взагалі є характерною рисою: «мід» (мед), «нарид» (народ), «міч» (меч) тощо.

У випадку трансформування «мави'ячий» у «мавлячий» спостерігається аналогія до форм із дисиміляцією у сполюці губного та [j] («куплю», «ловлю» тощо), принагідно: «сімня», «мнята» із прогресивною асиміляцією. Зауважимо, що в біології дисиміляція також виконує функцію спрощення – саме в напрямку органічності.

Цікавими прикладами є слова з початковим [i], де відбувається не лише кодифіковане відпадання («ігра» – «гра») чи консонантація («іти» – «йти»), але й заміна на інший голосний («юнь», «юль» – як транслітерація англ. June, July чи лат. jūnius, jūlius), а також історична бемольність, що опускає вимову до «и» («іграшка», «инчий», «иноді» тощо). Це пояснюється тим, що саме понижена вимова початкового [i] у слов'янських словах є найбільш наближеною до прадавньої, що доводить практика карпатських і поліських діалектів, де таку вимову збережено (тому відбувається лексична плутанина омонімічного типу: «ліс – лис», «сіла – сила» тощо). Зазначимо, що останнім правописом навіть повернені (як варіант) кодифіковані свого часу форми «иноді», «инколи», а також активними є в мовленні одиниці на кшталт «міні» («міні»). Річ у тім, що український середній [и] увібрив у себе етимологічні [и] та [ы] – через власне українську рефлексію праслов'янських [ь] та [ъ] – на відміну від інших слов'янських мов [3, с. 19, 20].

Частим у народній мові є перехід р/л, що відбувалося в адаптації запозичень. Скажімо, «ревізор» – «левізор» (дистанційна дисиміляція). Попри те, що найчастіше це відбувається в етранжизмах, слов'янська лексика також багата на подібні рефлексії (рицар – лицар, коридор – калідор, сребро – срібло, рибарь – рибалка). Або ще «палікмахтер» від важкого для вимови «парикмахер» (адаптація форманта «махер»). При цьому український кодифікований відповідник «перукар» є логічним, адже збережено семантику й використано традиційну словотвірну модель.

На відміну від інших слов'янських мов, в українській діалектній не зберігається сполука [kt], і виникає відомий варіант «дохтур» (дохторь), а також «трахтор», «прахтіка» [7, с. 132]. Подібна рефлексія відбувається й зі сполуки [vt]: «автобус» – «ахтобуз», хоча формант «авто» в українському мовленні доволі прийнятний, адже використовується навіть як окрема лексема.

Як приклад не лише фонетичної, але й семантичної органічності (логічності) наведемо одиницю «компанія» (компанія), утворену від дисиміляції за місцем творення (ще: «конпас»), де [o] може наближатися до [y] з виникненням варіанта «кумпанія», що у свою чергу викликає аналогію з лат. cum «разом» і panis «хліб», тобто загалом – «разом їсти хліб» [9, с. 541].

У площині актуальності слід зазначити і про такий фонетичний феномен, як епентетичний [j], що допомагає уникнути збігу двох голосних в іншомовних словах. Скажімо, у прикладах «тіятир» (театр), «яроплан» (аероплан), «хвайтон» (фаетон), що характеризують діалектну мову, або у прикладах «соціяльний», «медіяльний», що не є літературними, хоча потрібно було б увести таке правило в український правопис. Окрім того існують кодифіковані слова, які початково вже засвоєні неправильно. Скажімо, варіант «Європа» етимологічно виводиться з фінікійського «єреб» (темрява, захід) і саме так був запозичений у грецьку мову. Пересічні громадяни за своєю звичкою не дізнаватися причини, а відразу виявляти своє невдоволення не думали, а чому «Євріпід» та «Еммануїл» не викликають у них протестів (за грецькою логікою – якщо Європа, то й Євріпід, а якщо Євріпід, то й Європа).

Отже, коли народна мова асимілює, адаптує, трансформує іншомовні елементи, це є доказом її сили та здатності до розвитку. Цьому допомагають окремі мовні закони, що характеризують українську мову. Розглянемо їх на прикладі південно-східних діалектів.

1. Голосний [a]. Поряд із кодифікованими «Олександр» і «Олексій» існує діалектний «Ондрій» (порівн. слц. Ондрей). Також в українській мові властива протеза – приставний [г] перед початковим [a] (кодифіковані «гармата» від пол. armata, «гарба» від тюрк. araba, некодифіковані «Гандрій», «Гамерика»). Однак зауважимо, що існує і явище діалектного «акання»: «аграном», «салдат», «канхвуз», «манашка» тощо. І навпаки – перехід а/о (як гіперизм – підсвідоме намагання уникнути уявної неправильної форми): «обракоса», «обтека», «опальсин» [8, с. 14–51].

2. Голосний [o]. Характерним явищем в українській мові, зокрема в мовленні, є наближення о/у, що в слабкій позиції де-не-де навіть літературно кодифіковане (гоулубка, коужух, дієслівний суфікс –ува–), а в діалектній мові – навіть у сильній позиції (удин, утрава). В етранжизмах наявні численні зворотні приклади: кокоруз, кохвайка [8, с. 50].

3. Голосні [e], [и], [i]. Ми вже побічно зазначали, що часто в органічній мові з'являється рефлексант [i] (обізяна, опіндіцит, більзін). Також відбувається традиційне наближення е/и (джерпер – женпир, іменини – минини), і/и (индик, гитара), що більш характерне карпатським діалектам.

4. Приголосний [ф]. Етнічне уникання цього звука відоме, хоча південно-західне наріччя часто робить вибір саме на його користь (порівн. південно-східні «хвігура», «Хведорка», «кохве» та південно-західні «фате», «фіртка», «форий»). Рефлекс [хв] настільки призначений, що навіть такі важкі для вимови одиниці, як «хвальсихвікація» (Черкащина), «платхворма», «тіліхвон» (Запоріжжя), фіксуються в народному мовленні. Зауважимо, що наявні в цьому випадку й інші рефлексії [ф]: «хівраль», «Ахрика» [Мудре], «асвальт», «портвель», «кургон» (фургон) [7].

5. Твердий приголосний перед [e]. Це характерна риса української мови (нерви, інструмент, ректор, емблема) – поряд із власне українським [и] та м'яким кінцевим [ц']. Російська мова, як відомо, дає тут протилежну рефлексію – м'яку (разом із білоруською, польською та словацькою), натомість у «твердій групі» поряд з українською – чеська, словенська, македонська, сербська, хорватська). Колись нові етранжизми російське мовлення також намагалося реалізувати ближче до оригіналу (профэсор, пионэр, адэса), нині – «Ровэнта», «тонэр», «Дэшам».

6. Твердий кінцевий [р]. Зауважимо, що цей закон порушується саме в діалектній мові, де ще з давньоукраїнської мови збереглася така м'якість (переважно в карпатських діалектах). Проте й у південно-східному наріччі маємо приклади «квартиря» [7, с. 162], «сахарь», «дохтарь», «догоряе» (пісенне), але там само і «шохвер», «тигир» (тигр), «центир».

7. Метатеза. Переставлення складів також є ознакою адаптації запозичень. Відомий випадок, коли південно-західний «боднар» (із пол. *bednarz*) відповідає південно-східному «бондар», що кодифікований уже як літературний. Причому одиниця ця широко вживана – у вторинній формі – як прізвище (Бондар – Боднар, Бондаренко, Бондарчук – Боднарчук тощо). Ці приклади доволі давні і не сприймаються вже як адаптовані етранжизми (як-то кропива, намисто, долоня), але більш пізні також зазнають аналогічних змін (свого часу такими стали «каніфоль», «футляр», «марганець» – відповідно з іт. *colofonia*, нім. *Futteral*, *manganerz*). Органічність цього явища важко заперечити, адже такі форми утворюють часто малі діти (наприклад, «теритенал» – інтернат) або пари виникають через етимологічну невизначеність («конопля» від лат. *canapis*). Проте в діалектній часом зустрічається метатезований варіант «колопня» («коло пня»). Ну і зрештою етранжизми: «булгахтирь», «нервоз» (бо нерви), «саша» (шоше), «ланпасейка» (від *monpasse*) [8, с. 242].

8. Дієреза. Це найхарактерніша ознака редуції та органічності мовлення (свому, твому, шо, за(й)шли, при(й)шли, добри(й) день / добрудень, пі(й)шли, мого, свого тощо. На рівні фонетичної морфології редукуються також дієслівні форми 3-ї особи однини (дума, пита тощо).

На морфологічному рівні хочемо коротко проаналізувати деякі органічні мовні форми періоду «українізації» 20–30-х років ХХ століття, виокремлені нами зі щоденників українського вченого Сергія Єфремова [5], що сьогодні сприймаються вже як ті ж діалектні. Так, модель іменників у формі родового відмінка множини («питаннів», «відповідів», «статтів») пояснюється пошуком аналогії в південно-західному наріччі з формами чоловічого роду, а органічність тут полягає у прагненні спростити до однієї моделі граматичну ситуацію. І навпаки – вибір форми жіночого роду за аналогією до іншомовних запозичень: «санаторія», «заля», де друга форма, скажімо, використовується в усіх слов'янських мовах, окрім російської та чеської, що калькували нім. *Saal* на противагу фр. *salle* (ще д/англ. *sele*).

Своєрідна просторічна логіка присутня у творенні словоформ (за згаданими традиціями було б словоформів – В. Д.) українцями, які народилися за кордоном. Наприклад, польські студенти – вихідці з українських сімей – підсвідомо використовують такі органічні моделі: «квіттам» (замість квітами) – певно, за аналогією до листям (якщо використовувати варіант «квітами», то відповідно буде й «листями»), неологізм «косміти» (утворений від метафори «космічний лад»); пісенники як ознаку милозвучності народних пісень виявляють вокалічне закінчення усіх римованих рядків: «Ой текла прозора річка, // Та блакитная водичка. // Ой піди, піди умийся – // Буде чистим твоє личко».

У діалектологічній морфології існує поняття аналогії, коли іменник 2-ї відміни «Данило» відмінюється як іменник 1-ї (за асоціацією «Микола»), оскільки має вокалічну флексію (Данили, Данилою тощо, звідки й прізвища на кшалт Кирилла), іменник мішаної групи «лікар» відмінюється як іменники твердої групи («лікарьом» – «доктором»); а «Одеса» як назва іншомовного походження, певно, асоціюється з чоловічим родом, і тому давала в народному мовленні жителів Херсонської губернії рефлекс «Одес» (аналогічно – «фортеп'ян»). Слова ж, які не сприймаються як іншомовні, дають протилежний ефект: «хрукта», «своєї доми» (південно-східне наріччя).

Отже, вокалічність флексій (так звана милозвучність) характерна українській мові через аналогію: до форми 2-ї дієвідміни («курить» – «куре», «ловить» – «лове», а також «робе», «носе», «ходе» тощо – особливості степових говірок південно-східного наріччя, хоча за зазначеного уже нами звуження діалектної сфери до певного наддіалектного койне ці риси характерні вже для загального масиву українського мовлення); до форми жіночого роду (лат. *mūs*, ст/сл. *мышь* – «миша», нім. *Kartoffel* – «картопля», басейн – «базина», бо копанка, вода, криниця, чи й за моделлю назви підприємства – цукроварня, гуральня, їдальня тощо), ще: «обрикоса», «тунеля», «літра»).

Як аналогію можна пояснити не лише подібне прагнення («свинів», «яблуків» – як «батьків», «вовків» або до йогó – як йогó) чи іншу діалектну логіку («дорогий» – «дорожший» – як «легший», або «дорожчий» – тобто «дорожчий», а не «дорожчий»), а й нині марковані як кальковані явища: «у Каховкі», «на дорогі», «їздю», «носю» (з боку логіки: бо «Каховка», «дорога», «їздити», «носити»).

Є й більш промовистий приклад: числівники «сорок» та «дев'яносто», що були свого часу волюнтаристично введені в мову, донині цілком логічно в південно-західному наріччі живуть у первинній своїй формі. І якщо «чотиридцять» («чотиридесят») сприймається дещо незвично (певно, через зручність лаконічної форми «сорок»), то дев'ятьдесят логічніше (органічніше) за «дев'яносто» навіть відповідно до математичної логіки.

Деякі діалектні форми є органічними і в граматичних зв'язках у синтаксичних конструкціях. Скажімо, «де ти йдеш» або «мені болить голова», де в першому разі мова йде про напрямок руху (куди) і маємо майже повну синонімію, а в другому виділене слово більш логічне за літературний варіант, оскільки саме таким чином голова сприймається як невіддільна від усього організму і тому вона «болить мені», а не «у мене».

Повертаючись до запозичень, серед інших морфологічних рис у сфері їх сприйняття через призму мовної органічності можна визначити, скажімо, особливості словоскладання: «лісапет» (велосипед) – редуція першого

складового форманта та оглушення кінцевого дзвінкого приголосного призводить зрештою до порушення первинної семантики та граматики складного слова, але мета – полегшити вимову – досягнута (аналогічно «мацаклет» від «мотоцикл»). Було й намагання зберегти двокомпонентну граматичну форму, але тоді наявні або фонетичні зміни («мотоцикел»), або дещо нова форма («веломашина»); «яроплан» (аероплан) – редукція першого форманта, проте зі збереженням другого (як «яродром»). Зрештою українська мова кодифікувала свій органічний та логічний відповідник «літак». Слід зазначити, що й кальки «паровоз», «поїзд» отримали логічного відповідника «потяг», оскільки формант *-воз* є винятковим на українському ґрунті (слід би вже тоді «паровіз»), а друга калька мала не лише залізничну ознаку (наприклад, «весільний поїзд»).

На власне семантичному рівні органічність (більшою мірою – логічність) мови безпосередньо пов'язана з етимологічною прозорістю, яка може бути прямою повною мірою, коли українська лексема омонімічна іншомовному чи праслов'янському оригіналу як за звучанням, та і за значенням («льох» – від д/нім. *loch* «підвал, в'язниця»; «куля» від д/нім. *Kûle* «шар, куля», порівн. «гуля»; «міна» – від фр. *mine* «вираз обличчя»; «кордон» – від фр. *corde* «шнурок, мотузка», порівн. корд «струна», тюрк. «шабля», діал. «меч»; «кохати» – від псл. *koхати* «любити»; «лава» – від псл. *lava* «дошка для сидіння»; «мережа» – від ст.сл. *mrъжа* «сітка», порівн. «мережка» – «узор, плетиво»); прямою неповною мірою, коли повна омонімічність наявна або за звучанням, або за значенням, а друга характеристика виявлена недостатньо («дріт» – від нім. *Draht* з аналогічним значенням. Наявне у всіх слов'янських, окрім російської; «забобон» від і/є *bha* «страховище»; «корок» – від нім. *Kork* з аналогічним значенням, лат. «пробковий дуб». Використовується у всіх слов'янських, окрім російської; «кошти» (у всіх слов'янських мовах – «витрати, харчі, ціна» – від д/нім. *koste* з аналогічним значенням; «міркувати» – від нім. *merken* «розуміти»; «мандрувати» – від нім. *wandern* «блукати» (порівн. слц. *vandru* «мандри» та діал. «вандрувати»); «брухт» – від нім. *bruch* «тріщина, пролом»).

Трапляються випадки деякого переосмислення (метафоризації) лексем – як іншомовних, так і давно засвоєних українською мовою [8]. Наприклад: «сахарниця» («сахарка») – «діабет» (асоціація за головною ознакою хвороби – порівн. «кропивниця»); «фундук» – «фундамент» (асоціація за ознаками сундука – міцністю та стійкістю); «талан» – «везіння» (швидше за все від тюрк. «талант» – «здобич» (від чого назва грошової одиниці), а також казах. «щастя» (ближче до українського значення). Зазначимо, що поряд із відповідником «безталанний» існує ще й «невдаха». Зрештою Тобто паронімічна пара «талан / талант» має спільні семантичні риси, але розрізняється принципово: «має талант, але не має талану»; «талановитий, але безталанний».

Лексичний рівень органічності співіснує з усіма нами розглядуваними вище, утім цікавий він порівнянням лексики місцевої української мови та метрополійної російської. Термін «метрополійна» вживаємо тому, що ця мова залишається підсвідомо такою (як, скажімо, англійська в Індії) у доволі значної частини пересічних громадян України. Такий зв'язок цих постколонійних мовних субстратів відзначається у світовій лінгвістиці як актуальний через подібність лексем, морфем, термінів, фразеологізмів. Водночас, за твердженням російських учених, половина лексики сучасної російської мови – церковнослов'янська за походженням, а друга половина – спільна східнослов'янська. Тому російська графіка передає фрикативний (чи фарингальний) [г] у словах «его», «нового» тощо, а також у запозичених «бульон», «грамм», «адреса» (в оригіналі взагалі – *address*). До речі, навіть «Іван» до XIV століття передавалося через подвоєння: «Іваннь» (гр. *Ιωαννης*), хоча первинним було д/євр. *Ybchānān*).

Українська мова зберегла також такі одиниці, зважаючи на їх органічність. Наприклад: «село» (від псл. *selo* «пашня», у південних слов'ян – *sedlo* «поселення»); «суто» («повною мірою» – від псл. *suti* «повно», у слов'янських – «багато, густо»); «влучити» (від ст/сл. «оулоучити» з аналогічним значенням, хоча етимологія кореня –*лук* зводиться до значення «вигин, дуга», і тому «влучити», певно, є вторинним від *лук* «зброя; «упевнений» – слов'янські мови репрезентують як «міцний, надійний» (слц. *revnu*, пол. *rewnu*); «прати» (знову-таки у всіх слов'янських, окрім російської) – від псл. *prati* з аналогічним значенням, аналогічно лит. *periti* «бити банним віником»; «стегно» – від ст/сл. *stegno* (аналогічно у слов'янських мовах крім російської); «стріха» – від ст/сл. *strъxa* (порівн. лит. *striegti* «крити дах»); «прапор» – від псл. *rogrogъ* «летіти, парити, перо» [9].

Звісно, згадуємо тут і фразеологію, хоча зауважимо, що значний масив одиниць становлять запозичені (латинські, грецькі оригінали) та кальковані (з російськомовним посередництвом). Саме це й становить небезпеку їх нелогічності (неорганічності). Наприклад, у стилістично нейтральній сполуці «нехай це тебе *не обходить*» виділена частина має значення «не зачіпає», хоча семантично частка *не* в такому разі заперечує це значення (заперечує заперечення) і таким чином, навпаки, утворює стверджувальний варіант – саме «зачіпає». Більш логічною була б зворотна сполука «нехай це тебе обходить» (тобто «проходить поряд»). Така семантична невідповідність відбулася через тупе калькування російськомовної одиниці «пусть это тебя не касается», що є логічною на своєму ґрунті.

Із синтаксичного боку, органічність фразеологізмів полягає в їх структурній простоті: фразема складається переважно з двох компонентів, поєднаних різноманітними зв'язками: зіставлення («У хаті Ілля, а на людях – свиня»); порівняння («Голова без розуму, як хвінар без свічки»); причини / наслідку («Умирає людина – остається імня»); допустовості («Хоть злидні, зате з перцьом») [7]. Отже, органічність фразеологічної структури, як

і народнорозмовного синтаксису взагалі (і діалектного зокрема) полягає в таких рисах, як неповнота речення (редукованість), двоскладність, переважна двокомпонентність (лаконічна).

Висновки

1. У межах розгляду питань неорганічної двомовності та органічної побудови української мови відзначаються два чинники, що впливають на формування мовця, – настановні та ситуативні. Перші передбачають уроджені особливості, генетичні зв'язки, ідентичність, а другі – урахування історичних умов, коли нація може або згуртуватися, або навпаки – асимілюватися в панівну, агресивну чи метрополійну. У таких умовах підлеглі народи стають білінгвами (або й полілінгвами), а метрополійний – монолінгвом.

2. Російська мова, носії якої з початку заснування імперії розвинули в собі настанову достатньої одномовності, здійснювала відкриту експансію в напрямку місцевих (підлеглих) мов. Це призвело до того, що місцеві мови зазнали російськомовного впливу через калькування мовних одиниць на всіх рівнях мови, і якщо літературна форма (стандарт) при цьому займає вузьку сферу функціонування, то розмовна, хоча й нижча за статусом, – широка. У діловому стилі мови, наприклад, етнічна приналежність мовної одиниці може й не усвідомлюватися, але в діалектній / розмовній мові саме ця ознака є домінантною. Саме це зберігає українську мовну органічність і національну ідентичність.

3. Під час запозичення мовних одиниць з інших мов у діалектній / розмовній формі відбувається їх адаптація з метою утворення форми, що буде зручною в мовленні. Саме так утворені мовні форми на кшталт «палікмахтер», «дохтур», «радіво», «транвай», «апріль», «юль» тощо, які, можливо й не логічні, але органічні за законами певних діалектів. Якщо ці процеси відбувалися упродовж останніх ста – півтора ста років, то є й більш ранні видозміни на кшталт «сімня», «мнята» «инчий», «иноді» «міні». Часом видозмінена форма є й логічною відповідно до етимології (наприклад, «кумпанія» походить від лат. cum «разом» і rānis «хліб», тобто загалом – «разом їсти хліб»).

4. Така здатність народної мови асимілювати, адаптувати, трансформувати іншомовні елементи доводить її силу та здатність до розвитку. Це доводять і ситуативні зміни – наприклад, форми «доброго дня», «доброго вечора» на сьогодні є загальноживаними в розмовному мовленні попри опір мовників-пуристів. У такому варіанті вони є логічнішими, адже це не так констатація, як щире побажання. Або форми родового відмінку топонімів *Херсону*, *Парижу* тощо, які не так логічні за попередні з флексією –а, настільки активно увійшли в публіцистичний дискурс, що навряд чи мовний закон упорається з цим. Тобто варто просто констатувати реалії розвитку української мови.

5. Як би не розвивалася наша мова структурно, це наразі не так важливо, як її функційний розвиток, що ще більш посилюється в часи війни з колишньою метрополією. Після досягнення ознаки, яку ми назвали «не соромитися своєї української мови» з'явилася нова ознака – «пишатися / поважати свою українську мову». На жаль третя подальша ознака – говорити лише своєю українською мовою – залишається поки що не такою активною, як хотілося б, але активних її носіїв стало набагато більше.

Список використаної літератури

1. Конституція України. Відомості Верховної Ради України (ВВР). 1996. № 30. Ст. 141. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/constitution>
2. Про забезпечення функціонування української мови як державної. Закон України. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2019. № 21. Ст. 81. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2704-19#text>
3. Ткаченко О.Б. Українська фонетика на історико-типологічному тлі. Мовознавство. 1998. № 2-3. С. 14–25.
4. Франчук В.Ю. Відбиття процесу розвитку східнослов'янських мов у списках давньоруського літописання. *Мовознавство*. 1993. № 2. С. 27–31.
5. Єфремов С. Щоденники. 1923–1929. Київ, 1997. 848 с.
6. Демченко В. М. Органічна та неорганічна українська мова : монографія. Херсон: Мрія, 2003. 188 с.
7. Мудре слово: Прислів'я та приказки в говірках Нижньої Наддніпряниці / Укл. В. Чабаненко. Запоріжжя, 1992. Вип. 2. 168 с.
8. Словник говірок Нижньої Наддніпряниці / Укл. Чабаненко В.А.: у 4 х т. Запоріжжя, 1992.
9. Етимологічний словник української мови: у 7 томах. Т. 2. Київ, 1984.

References

1. Konstyutsiya 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>
2. Pro zabezpechennya funktsionuvannya ukrayins'koyi movy yak derzhavnoyi. Zakon Ukrayiny [On ensuring the functioning of the Ukrainian language as the state language. Law of Ukraine]. Vidomosti Verkhovnoyi Rady [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 2019. № 21. St. 81. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2704-19#text>
3. Tkachenko O.B. (1998) Ukrayins'ka fonetyka na istoryko-typolohichnomu tli [Ukrainian phonetics on a historical and typological background]. *Movoznavstvo* [Linguistics]. № 2-3. S. 14–25.

4. Franchuk V.YU. (1993) Vidbyttya protsesu rozvytku skhidnoslov"yans'kykh mov u spyskakh davn'orus'koho litopysannya [Reflection of the process of development of East Slavic languages in the lists of Old Russian chronicles]. *Movoznavstvo* [Linguistics]. № 2. S. 27–31.
5. Yefremov S. (1997) *Shchodennyky* [Diaries]. 1923-1929. Kyiv, 848 s.
6. Demchenko V. M. (2003) *Orhanichna ta neorhanichna ukrayins'ka mova : monohrafiya* [Organic and inorganic Ukrainian language: monograph]. Kherson: Mriya, 188 s.
7. *Mudre slovo: Pysliv"ya ta prykazky v hovirkakh Nyzhn'oyi Naddnipyanshchyny* [A wise word: Proverbs and sayings in the sayings of the Lower Dnipro region] / Ukl. V. Chabanenko. Zaporizhzhya, 1992. Vyp. 2. 168 s.
8. *Slovyk hovirok Nyzhn'oyi Naddnipyanshchyny* [Dictionary of colloquialisms of the Lower Dnipro region] / Ukl. Chabanenko V.A.: u 4 kh t. Zaporizhzhya, 1992.
9. *Etymolohichnyy slovyk ukrayins'koyi movy* [Etymological dictionary of the Ukrainian language]: u 7 tomakh. T. 2. Kyiv, 1984.

Я. М. КАЗЮК

доктор наук з державного управління, доцент,
професор кафедри публічного управління та проектного менеджменту
ДЗВО «Університет менеджменту освіти»
ORCID: 0000-0002-5003-4896

В. Т. ВЕНЦЕЛЬ

доктор наук з державного управління
ORCID: 0000-0002-1902-6126

ФІНАНСОВА СПРОМОЖНІСТЬ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД ЯК ОСНОВНИЙ ЕЛЕМЕНТ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПОВНОВАЖЕНЬ ОРГАНІВ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ

Відмінною рисою сучасного світоустрою є гіпердинамічний розвиток та еволюція усіх сфер життєдіяльності суспільства. Стрімкий розвиток технологій, глобалізаційні процеси в економічній та гуманітарній сферах, трансформація світоглядних орієнтацій потребують їх адекватної адаптації у суспільних процесах, а також у взаємовідносинах між державою та суспільством. У контексті загальносвітових тенденцій становище України має свої особливості, оскільки, після проголошення незалежності, наша держава перебуває у періоді становлення нової економічної системи та нової парадигми державного управління, заснованої на демократичних засадах соціотворчого процесу. З лютого 2022 року економічне, суспільне, політичне становище України надзвичайно ускладнилося. Перебуваючи у війні Україна повинна вирішувати цілу низку невідкладних питань. Зокрема, і насамперед, це стосується необхідності остаточного визначення моделі місцевого самоврядування, розподіл повноважень (компетенцій) між органами державної влади та місцевого самоврядування різних рівнів, формування системи індикаторів для оцінювання фінансової та інституційної спроможності територіальних громад забезпечувати виконання визначених законодавством повноважень.

Оцінку фінансової спроможності запропоновано здійснювати на підставі інтегрального показника, який містить сукупність показників за одинадцятьма самостійними показниками, розрахованими на підставі даних про чисельність населення та показників виконання бюджету відповідної громади. Найбільш оптимальним варіантом для проведення оцінювання фінансової спроможності територіальних громад визначено підхід, розроблений на основі розрахунку 11 показників та розподілу територіальних громадах України за кварталими відповідно до розрахованих значень показників з наступним визначенням рівня спроможності громад.

Оцінювання фінансової спроможності територіальних громад є корисним для оцінювання ефективності функціонування територіальних громад та аналізу їхньої спроможності забезпечувати виконання наданих їм повноважень, а також для формування державної політики щодо функціонування місцевого самоврядування.

Ключові слова: місцеві бюджети, децентралізація, органи місцевого самоврядування, оцінювання фінансової спроможності, повноваження, фінансова спроможність територіальних громад.

YA. M. KAZYUK

Doctor of Public Administration, Associate Professor,
Professor at the Department of Public Administration and Project Management
State Higher Educational Institution "University of Educational Management"
ORCID: 0000-0002-5003-4896

V. T. VENTSEL

Doctor of Public Administration
ORCID: 0000-0002-1902-6126

THE FINANCIAL CAPACITY OF TERRITORIAL COMMUNITIES AS THE MAIN ELEMENT IN ENSURING THE IMPLEMENTATION OF THE POWERS OF LOCAL SELF-GOVERNMENT AUTHORITIES

A distinctive feature of the modern world system is the hyperdynamic development and evolution of all spheres of society's life. The rapid development of technologies, globalization processes in the economic and humanitarian spheres, the transformation of worldviews require their adequate adaptation in social processes, as well as in the relations between the state and society. In the context of global trends, the situation of Ukraine has its own peculiarities, since, after the declaration of independence, our state is in the period of formation of a new economic system and a new paradigm of public administration, based on the democratic principles of the social creation process. Since February 2022, the

economic, social, and political situation of Ukraine has become extremely complicated. Being at war, Ukraine must solve a number of urgent issues. In particular, and first of all, this concerns the need to finalize the model of local self-government, the distribution of powers (competences) between state authorities and local self-government bodies of different levels, the formation of a system of indicators for assessing the financial and institutional capacity of territorial communities to ensure the fulfillment of the powers defined by law.

The assessment of financial capacity is proposed to be carried out on the basis of an integral indicator, which contains a set of indicators based on eleven independent indicators, calculated on the basis of data on the population and indicators of the implementation of the budget of the relevant community. The most optimal option for assessing the financial capacity of territorial communities is defined as the approach developed on the basis of the calculation of 11 indicators and the distribution of territorial communities of Ukraine by quartiles in accordance with the calculated values of the indicators, followed by the determination of the level of community capacity.

Assessing the financial capacity of territorial communities is useful for evaluating the effectiveness of the functioning of territorial communities and analyzing their ability to ensure the fulfillment of the powers granted to them, as well as for the formation of state policy regarding the functioning of local self-government.

Key words: local budgets, decentralization, local self-government authorities, assessment of financial capacity, powers, financial capacity of territorial communities.

Постановка проблеми

Органи місцевого самоврядування є одним із основних суб'єктів, що за принципом субсидіарності здійснює надання публічних послуг громадянам, тому важливим є об'єктивне оцінювання їх спроможності, зокрема, фінансової у контексті здатності забезпечувати надання відповідних послуг.

Соціально-економічна політика повинна забезпечити для кожного громадянина відчутну корисність тих заходів та програм, які формуються і реалізуються державою та органами місцевого самоврядування. Безпосередній контакт із громадянином для сприяння у вирішенні його повсякденних справ та надання йому необхідних послуг, пов'язаних із забезпеченням життєдіяльності, відбувається на базовому рівні – на рівні громади, в якій він проживає. Беззаперечно, що роль держави не можна нівелювати. Вона встановлює законодавчі норми, формує загальну соціальну політику, надає відповідні ресурси та повноваження місцевій владі. Водночас рівень ефективності виконання місцевою владою своїх повноважень та функцій великою мірою залежить від фінансової складової. У цьому контексті проваджувана в Україні реформа децентралізації покликана розширити повноваження органів місцевого самоврядування та забезпечити їх відповідним фінансовим і матеріальним ресурсом задля підвищення ефективності надання публічних послуг жителям громад.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Різноманітні аспекти функціонування місцевого самоврядування набувають все більшої актуальності і продовжують привертати увагу багатьох науковців, експертів, вітчизняних та міжнародних організацій. Серед інших, проблематика місцевого самоврядування, досліджувалися такими науковцями, як Б. Андресюк, В. Борденюк, О. Голинська, В. Григор'єв, І. Дегтярьова, О. Коваленко, М. Корнієнко, В. Кравченко, В. Куйбіда, О. Нижник, О. Оболенський, В. Погорілко, М. Пухтинський та ін. Однак, процеси динамічного розвитку суспільно-політичних відносин в Україні вимагають постійної уваги до проблематики функціонування місцевого самоврядування. Актуальним питанням є формування сфер компетенцій місцевого самоврядування з урахуванням децентралізаційних процесів, євроінтеграційних прагнень України, ресурсної та інституційної спроможності місцевого самоврядування.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є формування методичних підходів до проведення оцінювання фінансової спроможності територіальних громад у контексті здійснення ними повноважень органів місцевого самоврядування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Децентралізація – це системний процес, який здійснюється одночасно в усіх сферах життєдіяльності людини. На думку експертів ОЕСР, дієздатність громад базується як на матеріальних, так і на нематеріальних активах. Перші охоплюють послуги, інфраструктуру, природні ресурси та культурні надбання. Другі – місцеві навички, згуртованість, здатність до дії, адаптивність та відкритість для інших, зрештою – здатність працювати разом, приймати спільні рішення та втілювати спільне бачення майбутнього розвитку громади [1]. Тому поняття спроможності громади має не лише містити в собі забезпеченість відповідними ресурсами, але й характеризувати її здатність до розвитку, ураховуючи всі матеріальні та нематеріальні активи [2].

Водночас для виконання покладених на органи місцевого самоврядування повноважень вони повинні, крім нематеріальних активів, мати достатній потенціал для розвитку, а саме: економічний, трудовий, інфраструктурний та природно-ресурсний. Тільки за умов наявності певної ресурсної бази органи місцевого самоврядування матимуть можливість забезпечити якісне та своєчасне виконання власних та делегованих державою повноважень.

Актуальним питанням є формування системи індикаторів, за допомогою яких можна було б визначити рівень спроможності органів місцевого самоврядування.

У запропонованих нижче підходах оцінювання спроможності територіальних громад здійснюється на підставі абсолютних та відносних показників, визначення індивідуальних та граничних значень індикаторів, а також алгоритму розрахунку інтегрального показника фінансової спроможності територіальної громади.

Оцінку фінансової спроможності запропоновано здійснювати на підставі інтегрального показника, який містить сукупність показників за одинадцятьма самостійними показниками, розрахованими на підставі даних про чисельність населення та показників виконання бюджету відповідної громади.

До складу інтегрального показника фінансової спроможності ми пропонуємо включати наступні розрахункові значення [2]:

– **обсяг доходів загального фонду з розрахунку на 1 жителя** (співвідношення обсягу надходжень доходів загального фонду (без урахування трансфертів) з кількістю жителів відповідної громади);

– **обсяг видатків загального фонду з розрахунку на 1 жителя** (співвідношення обсягу видатків загального фонду з кількістю жителів громади);

– **обсяг видатків на утримання апарату управління з розрахунку на 1 жителя** (співвідношення обсягу видатків на утримання апарату управління, проведених за рахунок коштів загального фонду, з кількістю жителів громади);

– **обсяг капітальних видатків з розрахунку на 1 жителя** (співвідношення обсягу капітальних видатків бюджету з кількістю жителів);

– **рівень дотаційності бюджетів** (для бюджетів, що отримують базову дотацію – як співвідношення базової дотації із сумою доходів загального фонду з урахуванням базової дотації, для бюджетів, що отримують реверсну дотацію – як співвідношення реверсної дотації із сумою доходів загального фонду бюджету громади);

– **співвідношення видатків на утримання апарату управління з обсягом доходів бюджету** (співвідношення видатків на утримання апарату управління громади із сумою доходів загального фонду (без урахування трансфертів з державного бюджету);

– **частка заробітної плати у видатках загального фонду бюджету** (частка проведених із загального фонду бюджету видатків на заробітну плату з нарахуваннями до обсягу видатків загального фонду бюджету);

– **частка капітальних видатків** (співвідношення капітальних видатків до сукупного обсягу видатків загального та спеціального фонду бюджету громади);

– **обсяг видатків на культуру та фізичну культуру і спорт з розрахунку 1 мешканця** (співвідношення обсягу видатків загального фонду на культуру та фізичну культуру і спорт з кількістю жителів громади);

– **частка трансфертів у дохідній частині бюджету** (співвідношення суми трансфертів з державного бюджету до обсягу доходів загального та спеціального фондів громади);

– **частка місцевих податків і зборів у дохідній частині загального фонду бюджету** (співвідношення місцевих податків і зборів у дохідній частині загального фонду бюджету громади без урахування трансфертів з державного бюджету).

Відповідно до наведеного алгоритму було здійснено розрахунки показників у розрізі 1438 територіальних громад (тобто, загальної уільності територіальних громад, які були сформовані за результатами реформи адміністративно-територіального устрою протягом 2015–2020 рр.) за результатами виконання бюджетів у 2021 році з метою проведення оцінювання щодо їхньої фінансової спроможності забезпечувати виконання своїх функцій та повноважень, а також здатності надавати жителям громади якісні публічні послуги. 2021 рік було обрано з огляду на те, що даний період найбільш оптимально репрезентує показники діяльності усіх створених територіальних громад у рамках реформування адміністративно-територіального устрою [3].

На підставі отриманих показників було проведено оцінювання громад з використанням різних підходів, що обумовлено необхідністю всебічного опрацювання показників та визначення оптимального варіанту для оцінювання фінансової спроможності територіальних громад, а саме:

– із застосуванням у якості оцінювального критерію середнього значення відповідного показника по всій сукупності територіальних громад України (далі – **Варіант 1**);

– із застосуванням у якості оцінювального критерію медіанного значення відповідного показника по всій сукупності територіальних громад України (далі – **Варіант 2**);

– із використанням адаптованої моделі 10-бального тесту Кена Брауна [4; 5] для оцінювання загальної сукупності територіальних громадах України (далі – **Варіант 3**);

За **Варіант 1** розрахунок показників відповідної територіальної громади здійснено за формульним підходом з подальшим співставленням із відповідними значеннями, розрахованими по всій сукупності територій, тобто із середніми значеннями відповідних показників по всіх 1438 територіальних громадах. Для проведення оцінювання та віднесення територіальних громад до відповідних груп було використано наступний алгоритм [6]:

– понад +50% від середнього по Україні – високий рівень;

– від +15% до +50% середнього по Україні – оптимальний рівень;

– +/-15% від середнього по Україні – задовільний рівень;

- від -15% до -50% середнього по Україні – низький рівень;
- менше -50% від середнього по Україні – критичний рівень.

Таким чином, громади, у яких розраховане значення відповідного показника знаходилося у діапазоні, що перевищує середній показник по всіх 1438 громадах на понад 50% (тб. більше, ніж у 1,5 раза) було віднесено до високого рівня. За умови, що розраховане значення відповідного показника знаходилося у діапазоні, що перевищує середній показник по всіх 1438 громадах на величину від +15% до +50% (тб. в межах коефіцієнтів 1,15–1,5), було віднесено до оптимального рівня і т.д.

На підставі розрахованих значень та величин було сформовано узагальнені результати оцінювання фінансової спроможності територіальних громад:

- високий рівень спроможності – 54 громади (3,8% від загальної кількості);
- оптимальний рівень спроможності – 77 громад (5,4%);
- задовільний рівень спроможності – 129 громад (9,0%);
- низький рівень спроможності – 329 громад (22,9%);
- критичний рівень спроможності – 849 громад (59,0%).

За результатами оцінювання фінансової спроможності відповідно до обраного підходу слід звернути увагу на те, що 849 територіальних громад (або 59% від загальної кількості) мають критичний рівень спроможності, ще 329 (22,9%) – низький. Тобто, 1178 громад (81,9%) належать до найнижчих категорій спроможності.

Суттєвим недоліком даного підходу є те, що кількість громад, які знаходилися в межах, які перевищують середнє значення відповідних показників було незначним. Це пояснюється математичними особливостями розрахунку середніх величин для великої групи неоднорідних показників [3].

У загальній інтерпретації середня величина (у статистиці, математиці) – це сума всіх значень однорідної сукупності поділена на кількість елементів такої сукупності. Розрахунок середніх значень – один із найпоширеніших методів узагальнення. Середній показник відображає спільні характеристики, які є типовими для всіх одиниць досліджуваної сукупності, водночас він ігнорує відмінності окремих одиниць. Середнє значення досить часто використовують для опису певних тенденцій, однак слід враховувати, що така характеристика не є надійною, оскільки суттєво залежить від екстремальних значень (значення, що суттєво відрізняються від більшості значень або іншими словами – найвищі і найменші значення певної сукупності). Особливо, це є характерним для асиметричних розподілів, наприклад, таких які характеризують розподіл доходів, для яких дохід декількох осіб (суб'єктів) значно вищий, ніж у більшості людей [7]. Аналогічне притаманне і нашому випадку: істотна частка значень показників розташована у верхній частині розподілу сформованої сукупності, що збільшує середнє значення, але це значення не є репрезентативним для більшості значень у даній сукупності. Наприклад, кількість громад, у яких значення показника доходів на 1 мешканця перевищує середнє значення (5 717,3 грн) становить 545 або 38% від загальної кількості громад. Також, кількість громад, у яких значення показника видатків на 1 мешканця перевищує середнє значення (8 608,3 грн) становить 583 або 40% від загальної кількості громад. Аналогічні тенденції наявні й по інших показниках, які включені до переліку тих, що підлягають аналізу та оцінюванню.

Для підвищення рівня надійності середніх показників, зазвичай, здійснюють типізацію (групування) сукупностей за якісно однорідними параметрами. Середні значення, розраховані для неоднорідних сукупностей будуть спотворювати характер та результати досліджуваного явища. Тому, метод середніх доцільно використовувати у поєднанні з методом групувань, що дозволяє виділити однорідні групи, по яких і обчислюються типові групові середні. Водночас, при групуванні територіальних громад за чисельністю населення середні будуть дещо відрізняються (у порівнянні з аналізом всієї сукупності громад), однак також матимуть нерелевантний характер, оскільки для формування однорідних сукупностей слід здійснювати групування у розрізі значної кількості груп. Дане твердження впливає з наступного. При побудові групувань принципове значення має вибір групувальної ознаки, визначення кількості груп і величини інтервалу. Кількість груп залежить від загальної чисельності одиниць сукупності, характеру групувальної ознаки і виду групувань. Разом з тим, при вирішенні цього питання слід дотримуватися двох важливих умов побудови групувань: виділені групи мають відрізнятися якісною однорідністю; кількість одиниць у кожній групі має бути досить великою, що впливає із закону великих чисел [7].

При визначенні числа груп потрібно брати до уваги розмах варіації ознаки, тобто різницю між його максимальним і мінімальним значенням. Чим більший цей розмах, тим, як правило, більше утворюється груп. Необхідно також враховувати чисельність досліджуваної сукупності. Доцільно, щоб число груп не було занадто великим і малим і щоб в кожну групу попало достатньо велике число одиниць спостереження [7].

Число груп наближено можна визначити за формулою Стерджесса [7]

$$n = 1 + 3,322 \lg N,$$

де N – чисельність сукупності (у нашому випадку – 1438 громад).

Виведена на основі теоретичних доведень формула Стерджесса не враховує особливостей і характеру варіації і розподілу досліджуваної ознаки. Тому механічне її застосування може призвести до неправильних висновків.

Співвідносно до нашого аналізу, відповідно до формули Стенджерса кількість груп, на які слід розподілити сукупність із 1438 громад, має становити не менше 11. Водночас, якщо урахувати розмах варіації, наприклад по показнику доходів на 1 мешканця, де найвищий показник становить 58 265,8 грн, а найнижчий 1 098,6 грн (різниця у 53 рази), то, ймовірно кількість груп повинна бути ще набагато більшою. Однак, наявність значної кількості груп призведе до втрати загального сенсу оцінювання фінансової спроможності громад.

Також слід зазначити, що емпірично та зважаючи на той факт, що протягом 2021 року у фінансовій системі та серед місцевих бюджетів не було зафіксовано системних негативних явищ (невиконання місцевих бюджетів, яке б носило масовий критичний характер і впливало на функціонування бюджетних установ та виконання місцевих програм; критичні проблеми з фінансуванням захищених статей видатків тощо) вважаємо, що даний підхід до оцінювання не досить адекватно і коректно відображає градацію фінансової спроможності громад.

За **Варіантом 2** розрахунок показників відповідної територіальної громади здійснено за формульним підходом з подальшим їх співставленням із відповідними медіанними значеннями, розрахованими по всій сукупності територій, тобто по всіх 1438 територіальних громадах. Медіана – це середнє число в наборі масиву даних, яке відокремлює вищий набір даних від нижчого. Медіана – середнє число із групи чисел, тобто значення половини чисел більші за медіану, а значення іншої половини – менші. Іншими словами, це значення, нижче якого знаходяться 50% значень, і вище також 50% всіх значень в ряді розподілу.

Для проведення оцінювання та віднесення територіальних громад до відповідних груп було використано наступний алгоритм [6]:

- понад +50% від середнього по Україні – високий рівень;
- від +15% до +50% середнього по Україні – оптимальний рівень;
- +/-15% від середнього по Україні – задовільний рівень;
- від -15% до -50% середнього по Україні – низький рівень;
- менше -50% від середнього по Україні – критичний рівень.

Таким чином, громади, у яких розраховане значення відповідного показника знаходилося у діапазоні, що перевищує медіанний показник по всіх 1438 громадах на понад 50% (тб. більше, ніж у 1,5 рази) було віднесено до високого рівня. За умови, що розраховане значення відповідного показника знаходилося у діапазоні, що перевищує медіанний показник по всіх 1438 громадах на величину від +15% до +50% (тб. в межах коефіцієнтів 1,15–1,5), було віднесено до оптимального рівня і т.д.

На підставі розрахованих значень та величин було сформовано узагальнені результати оцінювання фінансової спроможності територіальних громад:

- високий рівень спроможності – 155 громад (10,8% від загальної кількості);
- оптимальний рівень спроможності – 261 громада (18,2%);
- задовільний рівень спроможності – 289 громад (20,1%);
- низький рівень спроможності – 347 громад (24,1%);
- критичний рівень спроможності – 386 громад (26,8%).

За результатами оцінювання фінансової спроможності відповідно до обраного підходу 386 територіальних громад (або 26,8% від загальної кількості) мають критичний рівень спроможності, ще 347 (24,1%) – низький. Тобто, 733 громади (51%) належать до найнижчих категорій спроможності.

Медіана є складнішим та більш повним і точним показником, ніж середнє значення, яке є простою сумою чисел. Однак, у розподілі показників, які характеризуються відчутною нерівномірністю, медіана (так само як і середнє), надає не досить об'єктивну інформацію про явища, тенденції.

Об'єктивно сформовані ряди значень показників (щодо яких здійснюється аналіз) не мають рівномірної (плавної) тенденції (висхідної чи спадної), містять пікові максимальні та крайньо низькі значення. Серед 1438 громад України найменша чисельність населення становить 1 814 жителів (Харитонівська, Житомирська область), найбільша – у Харківській громаді, 1 511 554 жителів, тобто різниця між екстремальними показниками населення територіальних громад становить 833,3 рази. Найменший показник доходів на 1 мешканця становить 1 098,6 грн (Космацька ТГ, Івано-Франківська область), найвищий – 58 265,8 грн (Гірська ТГ, Київська область), тобто найбільший показник перевищує найменший у 53 рази. Також суттєва диференціація спостерігається й по інших показниках: найменша сума видатків на 1 мешканця становить 2 121,5 грн (Гірська ТГ, Луганська область), найбільша – 46 546,9 грн (Гірська ТГ, Київська область), тобто різниця у 22 рази. Використання середніх чи медіанних величин для аналізу сукупності даних, що характеризується такою нерівномірністю та неоднорідністю призводить до хибної інтерпретації даних та може формувати невірну оцінку [3].

За **Варіантом 3** розрахунок показників відповідної територіальної громади здійснено із використанням адаптованої моделі 10-бального тесту Кена Брауна для оцінювання загальної сукупності територіальних громад України.

Десятибальний тест Брауна включає в себе аналіз комбінації коефіцієнтів на основі фінансової інформації муніципалітетів, який визначає тенденції у фінансовій поведінці або становищі та оцінює результати діяльності

місцевої влади. Застосування коефіцієнтного аналізу вважається популярним методом аналізу фінансового стану. У цьому методі фіксуються десять фінансових коефіцієнтів на основі п'яти вимірів, тобто доходів, витрат, операційної позиції, боргу та незабезпечених зобов'язань. Цей метод допомагає місцевій владі з'ясувати відмінності від інших муніципалітетів та зробити висновки щодо необхідності коригувати власну фінансову політику.

Відповідно до методу Брауна, оцінка фінансового стану коливається від -10 до 20 балів. Результат « ≥ 10 » означає «серед найкращих», «5–9» визначає «кращих, ніж більшість», «1–4» відображає «приблизно середина», «(-4 до 0)» показує «гірше, ніж більшість» і « ≤ -5 » виявляє муніципалітети в діапазоні «серед найгірших» [3; 4].

Аналіз передбачає, що насамперед здійснюється розрахунок 10 ключових фінансових показників усіх місцевих органів влади на основі існуючої бази даних фінансових звітів. На другому етапі здійснюється розподіл показників за 4 квартилями (квартиль містить 25% від загальної сукупності муніципалітетів). Муніципалітети, що знаходяться у 1 найкращому квартилі отримують +2 бали за відповідним показником, у другому квартилі – 1, у третьому – 0, муніципалітети, що увійшли до четвертого (найгіршого) квартилю отримують -1. Останній крок – це оцінка фінансового стану муніципалітету, які потенційно можуть отримати максимум +20 або -10 балів [3; 4].

У нашому дослідженні принципи методу Брауна були застосовані для оцінювання 1438 територіальних громад за 11 показниками фінансової спроможності.

На підставі описаного вище підходу було здійснено розрахунки значень та величин і сформовано узагальнені результати оцінювання фінансової спроможності територіальних громад:

- високий рівень спроможності – 436 громад (30,3% від загальної кількості);
- оптимальний рівень спроможності – 335 громад (23,3%);
- задовільний рівень спроможності – 263 громади (18,3%);
- низький рівень спроможності – 271 громада (18,8%);
- критичний рівень спроможності – 133 громади (9,2%).

За результатами оцінювання фінансової спроможності відповідно до обраного підходу 133 територіальні громади (або 9,2% від загальної кількості) мають критичний рівень спроможності, 271 (18,8%) – низький. Тобто, 404 громад (28%) належать до найнижчих категорій спроможності. Очевидно, що наведений підхід до оцінювання фінансової спроможності має належне обґрунтування, а саме: сукупність громад розподіляється і оцінюється відповідно до рівномірного розподілу на квартилі, які формуються в залежності від об'єктивного ранжування показників.

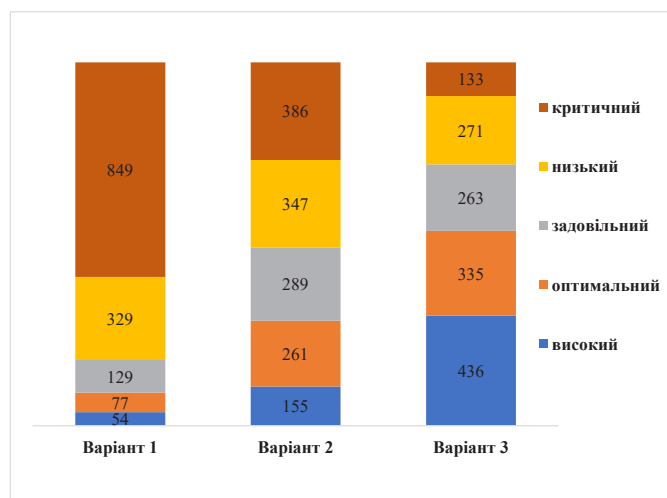


Рис. 1. Порівняльні дані розподілу загальної кількості територіальних громад за рівнями фінансової спроможності, розрахованими за різними варіантами

Вважаємо, що за результатами проведеного дослідження, нами сформовано систему індикаторів, за допомогою яких доцільно визначати рівень фінансової спроможності органів місцевого самоврядування у контексті здатності забезпечувати виконання визначених законом повноважень, а також можна зробити наступні висновки і пропозиції.

Висновки

Найбільш оптимальним варіантом для проведення оцінювання фінансової спроможності територіальних громад визначено підхід, розроблений на основі розрахунку запропонованих 11 показників та розподілу територіальних громад України за квартилями відповідно до розрахованих значень показників з наступним визначенням рівня спроможності громад.

Наведений підхід до аналізу фінансової спроможності та перелік запропонованих показників є базовим варіантом, і для більш детального вивчення та оцінювання діяльності громад, можна розширити за допомогою інших показників (загальний обсяг видатків на 1 мешканця, видатки на утримання апарату управління у розрахунок на 1 мешканця, видатки на освіту у розрахунок на 1 учня та на 1 мешканця, видатки на благоустрій та ЖКГ у розрахунок на 1 мешканця, дохідність земель громади, частка видатків бюджету громади за рахунок трансфертів тощо).

Запропонований методичний підхід до оцінювання фінансової спроможності територіальних громад можна застосовувати для:

- аналізу та коригування (за необхідності) адміністративно-територіального устрою;
- оцінювання ефективності функціонування територіальних громад та аналізу їхньої спроможності забезпечувати виконання наданих їм повноважень;
- формування державної політики щодо функціонування місцевого самоврядування;
- оцінювання спроможності територіальних громад місцевими органами влади (у межах області);
- формування державної регіональної політики, у тому числі для визначення функціональних типів територій.

У контексті запропонованих показників щодо комплексного підходу з оцінки спроможності територіальних громад актуалізується питання запровадження муніципальної статистики, яка б охоплювала максимально можливу кількість показників та параметрів.

Одночасно з цим, з метою комплексного оцінювання потенціалу територіальних громад, поряд із фінансовими показниками необхідно здійснювати оцінювання показників, що характеризують основні демографічні, фінансово-економічні та інфраструктурні параметри, які визначають функціонування та розвиток відповідної територіальної громади.

Список використаної літератури

1. Децентралізація влади: як зберегти успішність в умовах нових викликів. Київ : НІСД, 2018 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2019-05/Dopovid_Decentralization-ready-474fa.pdf
2. Венцель В. Т. Реалізація соціальної функції держави в умовах трансформації державного управління: фінансово-економічний механізм : монографія. Житомир : Вид-во «Рута», 2020. 372 с. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7891/Монографія_ВЕНЦЕЛЬ_В.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3. Казюк Я. Формування критеріїв та методики оцінювання спроможності територіальних громад (аналітичне дослідження). Київ, 2023 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://decentralization.ua/uploads/attachment/document/1332/Аналітичне_дослідження_щодо_оновленої_Методики_з_додатками.pdf
4. Ken W. Brown. The 10-Point Test of Financial Condition: Toward an Easy-to-Use Assessment Tool for Smaller Cities / *Government Finance Review*. December, 1993. P. 21-26 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://localgovernment.extension.wisc.edu/files/2016/04/kenneth-brown-Ten-point-test.pdf>
5. Craig S. Maher and Karl Nollenberger. Revisiting Kenneth Brown's "10-Point Test" / *Government Finance Review*. October 2009, Vol. 25. P.61-65 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/313606740_Revisiting_Kenneth_Brown%27s_10-Point_Test
6. Казюк Я. Методичні рекомендації щодо оцінки рівня фінансової спроможності територіальних громад (Проект). Київ, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/751/0_Проект_Методичні_рекомендації.pdf
7. Козирева О.В., Федорова В.О. Статистика: навчальний посібник. Харків: Видавництво Іванченка І.С., 2021. 187 с.
8. Державний веб-портал бюджету для громадян [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://openbudget.gov.ua/>

References

1. Decentralization of power: how to maintain success in the face of new challenges (2018). Kyiv. NISS. [Electronic resource]. Retrieved from: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2019-05/Dopovid_Decentralization-ready-474fa.pdf
2. Ventsel V. T. (2020). Realization of the social function of the state in the conditions of transformation of public administration: financial and economic mechanism: monograph. Zhytomyr: Ruta Publishing House. 372 p. [Electronic resource]. Retrieved from : https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7891/Монографія_ВЕНЦЕЛЬ_В.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3. Kazyuk Y. Formation of criteria and methods for assessing the capacity of territorial communities (analytical study). Kyiv. 2023. [Electronic resource]. Retrieved from: https://decentralization.ua/uploads/attachment/document/1332/Аналітичне_дослідження_щодо_оновленої_Методики_з_додатками.pdf
4. Ken W. Brown (1993). The 10-Point Test of Financial Condition: Toward an Easy-to-Use Assessment Tool for Smaller Cities. *Government Finance Review*. December. P. 21– 26 [Electronic resource]. Retrieved from: <https://localgovernment.extension.wisc.edu/files/2016/04/kenneth-brown-Ten-point-test.pdf>

5. Craig S. Maher and Karl Nollenberger (2009). Revisiting Kenneth Brown's "10-Point Test". *Government Finance Review. October, Vol. 25. P.61-65* [Electronic resource]. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/313606740_Revisiting_Kenneth_Brown%27s_10-Point_Test
6. Kazyuk Y. Methodological recommendations for assessing the level of financial capacity of territorial communities (Project). Kyiv. 2021. [Electronic resource]. Retrieved from: https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/751/0._Проект_Методичні_рекомендації.pdf
7. Kozyreva O.V., Fedorova V.O. (2021). Statistics: a study guide. Kharkiv: I.S. Ivanchenko Publishing House. 187 p.
8. The state web portal of the budget for citizens. [Electronic resource]. Retrieved from: <https://openbudget.gov.ua/>

Н. М. КОВАЛЬСЬКА

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5758-8373

ПОДВІЙНА ПРИРОДА КОНФЛІКТІВ У ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ

У статті досліджено сутність подвійної природи конфліктів у публічному управлінні. Розглянуто думки вчених щодо теорії конфлікту, засобів його вирішення та профілактики, управління конфліктною ситуацією в організації, ролі керівника як учасника, медіатора, арбітра конфлікту. З'ясовано, що конфлікт має подвійну природу відповідно до нових орієнтацій управління та кадрової роботи, де перша іпостась відтворює традиційне сприйняття конфлікту як негативного явища з такими складовими, як зіткнення, протистояння, агресія, тобто має деструктивний характер, а друга передбачає можливість в умовах колективної дискусії вирішити будь-яку проблему, що постає перед організацією, згуртувати колектив у досягненні спільної мети, виявити особисті компетентності найбільш активних працівників, підвищити авторитет публічної служби в очах громадян і загалом державної влади України. З'ясовано, що конфлікт – це зіткнення суб'єктів, які прагнуть реалізувати свої інтереси, а тому в умовах організації, особливо установи публічного управління, його негайно потрібно вирішити, адже він може призвести до деструктивної ситуації. Проте конфлікт розглядається і з позитивного боку – як конструктивне явище, навіть сплановане, коли під час його вирішення відбувається рівноправна суперечка, у якій колектив управлінців згуртовується для ухвалення рішень, потрібних для життєдіяльності всієї організації. Визначено, що така подвійна природа конфлікту потребує правильного управління цим процесом, яке здійснюється керівником як найбільш зацікавленою особою, адже він відповідає за діяльність установи.

Зроблено висновок, що позитивний бік конфлікту, якщо той правильно керований, передбачає згуртування колективу, наявність розмаїття поглядів у колективній дискусії з проблемного питання, залучення інноваційних підходів до його вирішення, тобто «суперечка породжує істину». При цьому перевіряються міцність управлінської команди та сутність кожного працівника. Отже, провідною засадою вирішення конфліктів є співробітництво.

Ключові слова: конфлікт, управління конфліктом, публічне управління, організація, керівник, сторона конфлікту.

N. M. KOVALSKA

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

DUAL ESSENCE OF DISPUTES IN PUBLIC ADMINISTRATION

The article examines the essence of the dual nature of conflicts in public administration. The opinions of scientists regarding the theory of conflict, means of its resolution and prevention, management of the conflict situation in the organization, the role of the manager as a participant, mediator, arbiter of the conflict are considered. It was found that the conflict has a dual nature in accordance with the new orientations of management and personnel work, where the first hypostasis reproduces the traditional perception of conflict as a negative phenomenon with such components as collision, confrontation, aggression, that is, it has a destructive nature, and the second provides an opportunity in the conditions collective discussion to solve any problem facing the organization, unite the team in achieving a common goal, reveal the personal competencies of the most active employees, increase the authority of the public service in the eyes of citizens and the state authorities of Ukraine in general. It was found that the conflict is a clash of subjects who seek to realize their interests, and therefore in the conditions of the organization, especially public administration institutions, it must be resolved immediately, because it can lead to a deconstructive situation. However, the conflict is also viewed from the positive side – as a constructive phenomenon, even planned, when during its resolution there is an equal dispute, in which a team of managers unites to make decisions necessary for the life of the entire organization. It was determined that this dual nature of the conflict requires proper management of this process, which is carried out by the manager as the most interested person, because he is responsible for the institution's activities.

It was concluded that the positive side of the conflict, if it is properly managed, involves the unity of the team, the presence of a diversity of views in the collective discussion on a problematic issue, the involvement of innovative approaches to its solution, i.e. «dispute generates truth». At the same time, the strength of the management team and the essence of each employee are tested. Therefore, the leading principle of conflict resolution is cooperation.

Key words: conflict, conflict management, public administration, organization, leader, party to the conflict.

Постановка проблеми

У сучасних умовах найбільш актуальними є питання дотримання й захисту прав людини, що декларовано в конституціях усіх держав (навіть формально в умовах тиранії), а отже – має реалізовуватися державою. Так, в Україні, що розвивається демократичним шляхом, також засади захисту прав людини, її недоторканності поступово набувають пріоритетного значення [1]. Свобода людини в такому разі передбачає й комфортність її життєдіяльності, коли до мінімуму нівельовано ризики певного обмеження людини в діях і прагненнях. Таким обмеженням може бути й конфлікт, де б він не відбувався – у сімейному чи виробничому колективі, із ким би та суперечка не сталася – із родичами, колегами чи владними структурами. У будь-якому разі наявність конфлікту може викликати депресивний стан, який заважатиме людині в її життєдіяльності.

Потрібно відзначити й умови ринкових відносин, що характеризуються відкритістю, паритетністю та партнерським типом, за якого змінюються стосунки між працівниками будь-якого підприємства, організації, зокрема й управлінської, а також змінюється ставлення керівника до працівників – не як підлеглих, а як партнерів. Такі зміни впливають і на сферу конфліктів, які відбуваються в будь-якому колективі фахівців і можуть бути як традиційно деконструктивними, так і новаційно – конструктивними. У першому разі конфлікт негативно впливає на виробничу атмосферу, може ще більше загострюватися, загрожуючи всій організації. Тоді використовуються різноманітні технології для вирішення суперечки (зокрема медіація, що відбувається з найменшими витратами з боку сторін), приділяється увага її подальшому запобіганню. У другому разі персонал організації згуртовується для вирішення загальної проблеми, перетворюється на співтовариство людей, об'єднаних одним завданням й однією стратегією, виявляючи позитивні чесноти кожного працівника.

Тобто давнє поняття конфлікту, яке передбачає загрозу, агресію, депресію тощо, в умовах сьогодення виявляє інше наповнення – позитивне (можливість згуртувати колектив як соціум однодумців), що забезпечить вирішення проблемних питань організаційного життя та уникнення деструктивних конфліктних ситуацій у майбутньому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання виникнення й вирішення конфліктів, зокрема в колективі працівників організації, були предметом досліджень багатьох учених, серед яких – психологи, соціологи, державники, юристи, конфліктологи. Так, психологічні аспекти проблеми аналізують Л. Долинська та Л. Матіас-Заяц [2], із залученням практики – Г. Ложкін і Н. Пов'якель [3], конкретизуючи в умовах сфери управління – Є. Ходаківський та Т. Грабар [4]. Специфіку конфліктів у колективі досліджують О. Криворучко [5] та О. Зінчина [6], зокрема питання управління конфліктами в організації та їх профілактики – Н. Новікова [7], О. Біловодська та Т. Кириченко [8], у роботі з персоналом – В. Боковець, В. Соколовська [9]. Як один із засобів вирішення суперечок – медіацію – досліджує Н. Мазаракі на монографічному рівні [10], соціально-психологічні засоби аналізують А. Мороз, А. Сметанюк, В. Шар [11], Н. Гришина [12], В. Казаков [13], а ми, долучившись до таких досліджень, розглядаємо сферу публічного управління [14].

Формулювання мети дослідження

Зважаючи на окреслену вище актуальність питання вирішення конфліктів у колективі організації, як мету нашого дослідження визначаємо проаналізувати подвійну природу конфлікту в публічному управлінні. Для цього потрібно розглянути думки вчених щодо конфлікту загалом, його вирішення та профілактики, урахувавши специфіку колективу управлінської установи.

Викладення основного матеріалу дослідження

Провідною категорією в тематичному колі верховенства права як головної засади демократії слушно визначається справедливість. Н. Мазаракі, аналізуючи це поняття через призму давньої філософії [10, с. 20–28], акцентує саме на такій ознаці, що характеризує сучасне міжнародне право. Категорія справедливості у свою чергу передбачає такі поняття-складові, як «добро» і «зло», «покарання» і «нагорода», «моральна свідомість», «самооцінка», «засудження», «відплата», «рівність», «шкода» і, зрештою, «законність» як комплексну ознаку правової держави. І хоча про справедливе суспільство говорили ще давні китайські філософи, фактично у світі володарював владний імператив, і лише з реформаційними процесами в Європі на поверхню тогочасного філософського дискурсу почали виходити поняття «справедливість», «совість», надалі – «лібералізм», «парламентаризм», «конституціоналізм», «республіка», що акцентували на дотриманні прав людини. Саме остання як істота розумна має за природою відчуття справедливості, у свою чергу несправедливість суперечить такій розумній природі людини [10, с. 25].

Проте в умовах конфлікту кожна з його сторін справедливість оцінює по-своєму – відповідно до власної мети вирішення суперечливого питання. Саме тому конфлікт як явище докладно аналізується та трактується в науковому дискурсі в межах кількох галузей – психології, менеджменту, права, конфліктології, публічного управління, де отримує свою характеристику в різних аспектах (психологічне сприйняття конфлікту в колективі, психологічний портрет суб'єктів конфлікту, правовий статус суперечки, імідж публічного управління в суспільстві, управління конфліктом, роль керівника у вирішенні його, причини конфлікту, його ознаки й засоби запобігання тощо).

Конфлікт визначається як розбіжність (протистояння) між його суб'єктами, коли кожен із них прагне реалізувати свої погляди з певного питання та, відповідно, завадити іншому. Така негативна першопричина пов'язана

із суперечками, можливою агресією, а тому конфлікт традиційно сприймається як явище небажане, якого краще уникнути та якнайшвидше розв'язати [9]. Відповідно до загального розуміння конфлікту як ситуації відсутності згоди між певними особами, групами осіб чи організаціями В. Казаков стверджує, що конфлікти властиві всім організаціям, адже активні їх працівники мають особисті прагнення, інтереси й погляди, які відрізняються від поглядів інших або й усієї організації. Тобто відбувається зіткнення різних позицій у відносинах людей [13, с. 280]. Л. Долинська та Л. Матіас-Заяц відзначають, що ймовірність конфлікту в організації підвищується через можливість інцидентів із причин відмінностей в особистісних характеристиках її працівників (вікових, освітніх, посадових, що властиво будь-якій організації [2].

Н. Гришина конкретизує конфлікти на внутрішньоособистісні, міжособистісні, між особистістю і групою, міжгрупові та акцентує на тому, що конфлікт передбачає дезорганізацію, невідповідність корпоративних норм новим потребам суспільства, переоцінку досвіду старших за віком працівників, зміну неформальних лідерів, представників адміністрації тощо. Тобто конфлікт – це незгода в поглядах [12]. А. Мороз, А. Сметанюк і В. Шар видами організаційних конфліктів визначають: інформаційні (відсутність або помилковість інформації); інтересів (відмінності у виробничих чи особистих інтересах); комунікаційні (відсутність зворотного зв'язку); організаційно-структурні (невідповідність мети організації її структурі) [11].

В. Боковець і В. Соколовська причинами конфлікту визначають невідповідність поглядів його суб'єктів. У такому разі деструктивною є така ситуація, коли поведінка одного працівника суперечать переконанням, корпоративним цінностям і правилам колективу. Такий конфлікт вирішується через згуртування колективу, яке ефективно протистоїть опозиційній особі. В іншому випадку така деструкція призведе до загострення, емоційного напруження, агресивності в колективі, погіршення спілкування й навіть фізичного насилля. Недарма термін «конфлікт» позначає саме зіткнення, протиборство, зокрема суперечності, розбіжності в поглядах і вчинках людей. Тобто це незгода у взаємовідносинах особами чи групами [9]. Також серед негативів конфліктів відзначаються: 1) витрачання часу на їх вирішення (зокрема керівниками); 2) витрачання матеріальних ресурсів (ці гроші чи час могли би бути витрачені на більш актуальні проблеми); 3) порушення взаємодії між працівниками в організації; зайве емоційне напруження. Тобто конфлікт як суперечність, зіткнення відмінних між собою цілей, позицій, поглядів потребує уваги до себе та вирішення.

Уніфікувавши різноспрямоване визначення українськими вченими причин такого протистояння, відзначаємо інформаційні конфлікти (відсутність або хибність інформації, відмінності в її сприйнятті), комунікаційні (зайва емоційність, негативні реакції, відсутність зворотнього зв'язку), конфлікти інтересів і цінностей (групових, особистих), організаційно-структурні, внутрішньоособистісні, міжособистісні, внутрішньогрупові, міжгрупові, міжорганізаційні, короткочасні та тривалі, ускладнені та неускладнені, об'єктивно чи суб'єктивно зумовлені, «вертикальні» чи «горизонтальні» тощо.

Проте в умовах сучасного менеджменту, базованого на ринкових відносинах, сьогодні навіть в організаціях з відмінним управлінням конфлікти все одно можливі, але вони виникають не стихійно, а сплановано – через рівноправну (партнерську) участь усіх працівників в ухваленні рішень, яка відповідно зумовлює суперечку, але конструктивну, що стосується вирішення загальних питань, а не особистих. Хоча і при цьому негативні моменти також можливі – наприклад, мовчазне незаперечення думки авторитетної в організації особи (не завжди керівника), що може призвести до неврахування опозиційної, проте продуктивної думки щодо вирішення певної проблеми. Тобто саме розмаїття поглядів на вирішувану проблему, додаткова інформація, інноваційні підходи допомагають знайти шляхи її вирішення чи певні альтернативи. Недарма вчені розподіляють конфлікти на негативні й позитивні, де перші передбачають інцидент, який потрібно пом'якшити чи уникнути, знайти винного, а другі – згуртування колективу в його вирішенні, виявлення високої компетентності окремих працівників, зміцнення взаємовідносин у колективі. Учені стверджують, що життя без конфліктів сумне, непродуктивне та й неможливе, і навпаки – в такому разі виявляються альтернативи й компроміси, що зрештою може вирішити той конфлікт. Отже, це шлях задіяння творчої енергії, що в умовах ділового характеру розв'язання суперечки об'єднує всіх суперників у дискусії [9].

Цікаво, що філософи сприймали конфлікт двозначно: з одного боку, це негативне явище, яке зумовлює проблеми у виробничому чи управлінському процесах або й воєнне протистояння (на зовнішньодержавному рівні), призводить до дискримінаційних ситуацій, до стану депресії у жертв конфлікту. З іншого боку, це норма в житті соціуму, двигун прогресу («суперечка породжує істину»). Також відоме прагнення досягти стану «неконфліктного середовища» у світі, адже в ньому не буде причини для війни між державами чи ідеологіями. Н. Гришина зазначає, що взагалі міцність управлінської команди, її корпоративна єдність і майстерність керівника перевіряються саме в конфліктних ситуаціях, адже в таких умовах виявляється сутність кожного працівника. Наприклад, саме вирішення такої кризи спокійно й фахово свідчить про інноваційність діяльності управлінського й виробничого персоналу, адже в цей комплекс компетенції працівника входять і вміння запобігти конфлікту, і вирішити його [12]. А. О. Біловодська та Т. Кириченко визначають конфлікт як ситуацію взаємодії в колективі, що сприяє вирішенню організаційних або виробничих проблем, а з боку особистості – ще й її самоствердженню у групі колег.

Дослідниці наводять статистичні дані про більшість часу, що витрачають керівники саме на вирішення певних суперечностей – потенційних джерел конфліктних ситуацій. Це можна зрозуміти як те, що відсутність згоди між сторонами та вирішення цієї проблеми може стати в нагоді всій організації, яка в подальшому буде забезпечена від подібних загроз. Тому стратегічне вміння управління конфліктами, чим має займатися керівник (аналіз такої ситуації, попереджувальні дії), може зробити ефективним управління підприємством або організацією [8].

За твердженням Н. Новікової, в умовах сучасного менеджменту, базованого на ефективному управлінні, конструктивні конфлікти є навіть бажаними, адже виявляють розбіжності у вирішенні проблем і стимулюють розвиток колективу до формування інноваційних напрямків діяльності. У такому разі важливим є управління конфліктами, що передбачає таку взаємодію, за якої суперечка стає інструментом розвитку організації. З іншого боку, деструктивний конфлікт зумовлює руйнування системи корпоративних цінностей через розходження в поглядах (як виробничих, так і особистих), інтересах і цілях (наприклад, користоловних кар'єрних), що погіршує психологічну атмосферу в колективі організації й у результаті – ефективність її діяльності [7, с. 81].

Така подвійна природа конфлікту в організації – негативна та позитивна – потребує керування цим процесом, щоб перемагла конструктивна складова. Це переважно функція керівника установи, про якого О. Криворучко зазначає, що він (вона) переважно зацікавлений в уникненні такої негативної ситуації в підвладному йому колективі, адже це може призвести до зниження працездатності [5, с. 101]. Якщо ж керівник зацікавлений у тривалому й міцному колективі, то й інші негативи конфлікту – погіршення взаємостосунків між колегами, утрата взаєморозуміння всередині колективу та з керівником тощо – будуть для нього (неї) небажаними. Зауважимо при цьому, що можливим є й такий керівник, який і сам провокує конфлікти в бажаній для себе стратегії управління. За словами В. Боковця й В. Соколовської, керівник (керівниця) зацікавлений не лише в подоланні деструктивної ситуації, але й у підтримці її позитиву, що полягає в активізації спільної роботи. Керівник, за своїми владними повноваженнями, має можливість впливати на колектив, на хід певного конфлікту. Проте він і сам може бути суб'єктом конфлікту (відстоювати свою позицію у протистоянні), крім ролей арбітра-посередника (аналізувати конфліктну ситуацію та вирішувати її), а також спостерігача чи помічника. Свою імперативну волю при цьому він може виявити в ситуації, коли конфлікт набуває небезпечного розвитку й потрібно обмежити взаємодію його суб'єктів [9].

Отже, керівник (лідер) організації має враховувати, що конфлікти в його колективі відбуваються через особливості «людського фактору», до яких належать відмінності працівників – посадові (статусні), освітні, вікові (досвід), особисті (світогляд, інтереси). Н. Новікова відзначає, що ці розходження можуть бути разовими (локальні інциденти) та принциповими (тенденціями), а також власне виробничими (у процесі роботи). Звісно, що втручання потребують саме принципові відмінності, що можуть перерости у тривалий конфлікт. Для цього потрібно постійно відстежувати кадрову ситуацію [7, с. 80]. Тому для вивчення стану суперечки керівник має виявити її причини, визначити позиції учасників конфлікту, їх інтереси й цілі, незадоволені потреби, відносини опонентів, їх особистість і хто їх підтримує, ставлення інших працівників до цього конфлікту, оцінити правоту кожного з опонентів, можливі наслідки конфлікту, свої можливості в урегулюванні ситуації, зокрема медіаторство [9].

Можна уніфікувати типи вирішення керівником організаційних конфліктів, які визначаються в науці: 1) авторитарний тип – вирішення конфлікту через владні (імперативні) повноваження (керівник вважає, що працівники мусять виконувати його вказівки без виявлення будь-якого сумніву, що конфлікт – це вияв слабого характеру й має бути вирішений будь-якою ціною та категорично на користь його організації). Такий імператив реалізується керівником за допомогою авторитетного переконання й навіть диктату, силового погодження конфлікту, перетягування на свій бік авторитетних колег. Перевага цього типу – економія часу, а недолік – неповне вирішення конфлікту; 2) партнерський тип – вирішення конфлікту через конструктивні відносини (узаємодія керівника зі сторонами протистояння, взаємна довіра, коректна комунікація, прийняття аргументів обох сторін, готовність до компромісу, взаємний пошук рішень, суміщення особистих інтересів із загальними). Перевага – у реальному вирішенні проблем. Звісно, це розуміє кожен керівник, до якого б стилю управління він не належав – адміністративно-командного чи партнерського.

Г. Ложкін і Н. Пов'якель пропонують конкретні засоби вирішення конфліктів, що перевірені практикою. Зокрема, в екстремальній ситуації (наприклад, загроза банкрутства підприємства) кожен учасник конфлікту мусить мати пріоритетом досягнення загальної мети, а не свої власні інтереси в наявному конфлікті. Або якщо існує принципове протистояння між двома працівниками одного відділу, керівник має переформувати структуру організації, щоб ці конфліктні працівники потрапили в різні відділи. Також потрібно залучити різноманітні засоби припинення конфлікту – взаємне примирення сторін, симетричне його вирішення (обидві сторони виграють або програють), асиметричне (виграє одна сторона), поступове затування конфлікту, переростання конфлікту в інше протистояння [3]. С. Ходаківський і Т. Грабар відзначають, що у процесі вирішення конфлікту враховуються інтереси його учасників, причина протистояння, стан взаєморозуміння в колективі, емоційність працівників, а тоді вже зорієнтувати людей на контролювання своїх дій, винайдення з конфліктної ситуації певних інновацій (тобто виявити креативність). Для цього потрібна взаємна довіра та розуміння між колегами по організації [4].

О. Зінчина визначає три основних етапи вирішення конфлікту в організації: виявлення його сутності, причин й учасників протистояння; визначення засобів запобігання такій ситуації чи її врегулювання; визначення актуальних форм і особливостей конфліктів для подальшого їх передбачення [6, с. 14]. Тобто таке передбачення конфліктної ситуації в майбутньому базується на попередньому визначенні відповідних процедур, правил взаємодії управлінців і розробленні раціональної організаційної структури, і такі механізми як усунуть певні умови формування конфліктів, так і використовуватимуться для їх вирішення [7, с. 80]. При цьому серед основних засобів вирішення конфліктів відзначаються відхилення, згладжування, примус, компроміс, вирішення; серед методів – силовий, уникання конфлікту й перемовини, де саме останній є конструктивним, адже передбачає обмін думками й вироблення рішень, які задовольняють інтереси сторін конфлікту.

Зауважимо при цьому, що перемовини входять до комплексу медіаційних механізмів, які Н. Мазаракі називає засобами досягнення взаєморозуміння сторін і припинення конфлікту, адже перемовини включають контроль із боку суб'єктів протистояння та ухвалення загальноприйнятого рішення [10, с. 61]. Узагалі для впровадження медіації потрібні такі заходи: стимулювання сторін до вирішення конфлікту за допомогою медіації; інформування їх про таку можливість; визначення ситуацій, до вирішення яких медіація найбільше підходить; проведення моніторингу щодо ефективності медіації у вирішенні конфлікту (суперечки) [14].

Зрештою Н. Новікова узагальнює численні правила подолання конфліктів (кризових ситуацій), визначивши найбільш оптимальні підходи та засади в організації:

– зміцнення корпоративної моралі (підвищення рівня дисциплінованості працівників, ефективне управління виробничим процесом, адекватна реакція на пропозиції підлеглих щодо вдосконалення спільної роботи, чіткий розподіл завдань працівникам та їх інформування про заплановану діяльність, установлення зрозумілих і реальних дисциплінарних вимог, адекватне заохочення за успіхи в роботі, реальна допомога працівникам у вирішенні їх проблем);

– стабілізація кадрового складу організації (правильний добір кадрів, докладне ознайомлення з новим працівником, його адаптація в організації, його інформування про організацію, його посадові обов'язки та перспективи, кадровий контроль і психологічний супровід);

– профілактика кризових ситуацій (децентралізація владних повноважень, справедлива й зрозуміла система заохочень, залучення працівників до ухвалення важливих рішень, ефективна комунікація в організації) [7, с. 81].

Поряд із вирішенням (подоланням) конфліктів у колективі організації, зокрема публічного управління, не менш важливе значення має запобігання таким ситуаціям – їх профілактика. Так, В. Боковець і В. Соколовська, узагальнивши надані вченими-конфліктологами заходи з попередження конфліктів в організації, пропонують таку їх систему: виклад вимог до роботи всіх працівників; підтримка позитивної атмосфери й культури; допуск працівників до вирішення організаційних питань; підтримка зворотнього зв'язку в комунікації; улагоджування розбіжностей за допомогою нарад, звернень із пропозиціями; проведення корпоративних заходів для комунікації між працівниками, зокрема спільне відзначення урочистих дат кожного працівника; проведення спільних тренінгів для працівників; спільні заняття спортом і туризмом; запобігання конфліктам і присутність гумору в колективі; при виникненні конфлікту потрібно вивчити його сутність, позиції сторін, думку колективу, уникати підвищеного емоційного стану; у подальшому обговорювати проблемні ситуації на виробничих нарадах з ухваленням спільних рішень [9].

Н. Новікова пропонує напрямки профілактичної діяльності, що передбачає завчасне реагування, ослаблення чи й усунення конфліктної ситуації відповідно до теорії менеджменту, аналізування такої ситуації, урахування перешкод для попередження конфлікту – психологічних, моральних, правових. Отже, спочатку виявляється джерело можливого конфлікту – проблеми, що зумовлюють певне напруження (несприятливі умови життєдіяльності, недостатня комунікація, психологічне протистояння, неправильні уявлення, недовіра, дезінформація, емоційна роздратованість, деморалізація). Надалі виявляються приховані перешкоди, знаходиться компроміс, змінюється стратегія поведінки. Принципами ж процесу попередження конфліктів є співробітництво (взаємодовіра, взаємодопомога), відповідна підготовка працівників, підтримка їх кар'єрного зростання, конкуренція. Серед цих принципів головним є співробітництво, хоча іноді ефективною виявляється і конкуренція [7, с. 82].

Висновки

Розглянувши проблеми вирішення конфліктів в організації, зокрема в установі публічного управління, можна зробити певні висновки.

1. Конфлікт визначається як зіткнення поглядів суб'єктів, які прагнуть реалізувати свої інтереси. Традиційно він розглядається як негативне явище, а тому в умовах колективу його потрібно обов'язково вирішити, щоб надалі убезпечити всю організацію від деструкції. Причинами ж його є відмінні інтереси й погляди працівників (вікові, світоглядні, посадові тощо), інші обставини – інформаційні, кар'єрні, виробничі, комунікаційні, організаційно-структурні. Негативними складовими конфлікту є витрачання часу на його вирішення, зайве витрачання матеріальних ресурсів, порушення взаємодії в колективі, емоційне напруження.

2. На сьогоднішній день можливі не лише стихійні конфлікти (негативні, деконструктивні), але і сплановані (позитивні, конструктивні), адже рівноправна суперечка із загальних питань зумовлює участь працівників в ухваленні

рішень, у вирішенні певної проблеми враховуються продуктивні думки, виявляється розмаїття поглядів на цю проблему, надходить додаткова інформація, залучаються інноваційні підходи, альтернативні шляхи, залучається творча енергія й найголовніше – відбувається згуртування, об'єднання працівників – суперників у дискусії. Тобто спрацьовує філософське правило «суперечка породжує істину». Зазначається, що міцність управлінської команди перевіряються саме в конфліктних ситуаціях, адже саме так виявляється сутність кожного працівника, і сам він самостверджується в колективі.

3. Подвійна (негативна та позитивна) природа конфлікту в організації потребує управління цим процесом, щоб конструктивна складова перемагла, що є функцією керівника, адже він зацікавлений в уникненні конфлікту, що може призвести до зниження рівня діяльності установи. Він має розуміти всі негативи від такої ситуації – погіршення взаєностосунків у колективі, утрата взаєморозуміння, і навпаки – підтримувати позитивний бік конфлікту, що полягає в активізації спільної роботи. Він може бути і суб'єктом конфлікту, і арбітром, а свої владні повноваження може виявити лише в ситуації загострення конфлікту. Для вирішення суперечки керівник повинен проаналізувати її причини, позиції учасників, їх відносини, ставлення інших до конфлікту, можливі його наслідки, свої можливості в урегулюванні конфліктної ситуації. Серед методів вирішення проблеми найбільш ефективним є перемовини, адже вони передбачають обмін думками й вироблення рішень, що задовольняють сторони конфлікту.

4. Важливе значення має й профілактика проблемних ситуацій, що передбачає ознайомлення працівників із вимогами діяльності, підтримку позитивної атмосфери в колективі, партнерство у вирішенні організаційних питань, зворотній зв'язок в комунікації, нівелювання проблем під час нарад, політика пропозицій, корпоративна комунікація зі спільним відзначенням урочистостей, спільні тренінги, заняття спортом і туризмом, гумор у колективі, а також своєчасне реагування на конфліктну ситуацію для нівелювання напруження. Провідною засадою профілактики конфліктів є співробітництво, утім не виключена й конкуренція.

Список використаної літератури

1. Конституція України. Ухвалена Верховною Радою України 28 червня 1996 року. *Президент України*. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/constitution>
2. Долинська Л.В., Матіас-Заяц Л.П. Психологія конфлікту. Київ: ЦУЛ, 2010. 304 с.
3. Ложкін Г.В., Пов'якель Н.Н. Психологія конфліктів: теорія і сучасна практика: посібник. Київ, 2007. 416 с.
4. Ходаківський Є.І., Грабар Т.Р. Психологія управління: навчальний посібник. Житомир, 2011. 664 с.
5. Криворучко О. Аналіз конфлікту в колективі. *Персонал*. 2003. № 4–5. С. 101–103.
6. Зінчина О.Б. Конфліктологія: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2007. 164 с.
7. Новікова Н. Управління конфліктами в організації: підходи до вирішення та профілактики. *Галицький економічний вісник*. 2013. № 2(41). С. 79–83.
8. Біловодська О. А., Кириченко Т. В. Управління конфліктами в системі управління людським потенціалом підприємств. *Економіка і суспільство*. 2017. Вип. 10. С. 177–182.
9. Боковець В.В., Соколовська В.В. Управління конфліктними ситуаціями в роботі з персоналом. *Ефективна економіка*. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.10.4
10. Мазаракі Н. А. Медіація в Україні: теорія та практика : монографія. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2018. 276 с. DOI: <http://doi.org/10.31617/m.knute.2018-1155>
11. Мороз А., Сметанюк А., Шар В. Теорія конфлікту: монографія. Київ: НТБ, 2010. 256 с.
12. Гришина Н. В. Психологія конфлікту. Київ: Либідь, 2010. 258 с.
13. Казаков В. Соціальний конфлікт: проблема визначення. *Соціологія: теорія, методи, маркетинг*. 2014. № 3. С. 156–166.
14. Лопушинський І.П., Ковальська Н.М., Демченко В.М. Медіація як засіб вирішення суперечок в публічному управлінні: гуманістичний аспект. *Вісник ХНТУ. Публічне управління та адміністрування*. 2022. № 1 (80). С. 110–119. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.1.13>

References

1. Konstytutsiya Ukrayiny. Ukhvalena Verkhovnoyu Radoyu Ukrayiny 28 chervnya 1996 roku [The Constitution of Ukraine. Approved by the Verkhovna Rada of Ukraine on June 28, 1996] (ostannya zmina vid 07 lyutoho 2019 roku). Prezdyent Ukrayiny. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/constitution>
2. Dolyns'ka L.V., Matias-Zayats L.P. Psykholohiya konfliktu [Psychology of conflict]. Kyiv: TSUL, 2010. 304 s.
3. Lozhkin H.V., Povyakel N.N. Psykholohiya konfliktiv: teoriya i suchasna praktyka: posibnyk [Psychology of conflicts: theory and modern practice: manual]. Kyiv, 2007. 416 s.
4. Khodakivs'kyu YE.I., Hrabar T.R. Psykholohiya upravlinnya: navchal'nyi posibnyk [Psychology of management: a study guide]. Zhytomyr, 2011. 664 s.

5. Kryvoruchko O. Analiz konfliktu v kolektyvi [Analysis of conflict in the team]. Personal [Personnel]. 2003. № 4–5. S. 101–103.
6. Zinchyna O.B. Konfliktolohiya: navch. posibnyk [Conflictology: education. manual]. Kharkiv: KHNAMH, 2007. 164 s.
7. Novikova N. Upravlinnya konfliktamy v orhanizatsiyi: pidkhody do vyrishennya ta profilaktyky [Conflict management in the organization: approaches to resolution and prevention]. Halyts'kyi ekonomichnyy visnyk [Galician Economic Bulletin]. 2013. №2(41). S.79-83.
8. Bilovods'ka O. A., Kyrychenko T. V. Upravlinnya konfliktamy v systemi upravlinnya lyuds'kym potentsialom pidpryyemstv [Conflict management in the human potential management system of enterprises]. Ekonomika i suspil'stvo [Economy and society]. 2017. Vyp. 10. S. 177–182.
9. Bokovets' V.V., Sokolovs'ka V.V. Upravlinnya konfliktnymi sytuatsiyamy v roboti z personalom [Management of conflicts situations in work with personnel]. Efektyvna ekonomika [Efficient economy]. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.10.4
10. Mazaraki N. A. Mediatsiya v Ukrayini: teoriya ta praktyka [Mediation in Ukraine: theory and practice]: monohrafiya. Kyiv : Kyivs'kyi natsional'nyi torhivel'no-ekonomichnyi universytet, 2018. 276 s. DOI: <http://doi.org/10.31617/m.knute.2018-1155>
11. Moroz A., Smetanyuk A., Shar V. Teoriya konfliktu: monohrafiya [Theory of conflict: a monograph]. Kyiv: NTB, 2010. 256 s.
12. Hryshyna N. V. Psykholohiya konfliktu [Psychology of conflict]. Kyiv: Lybid', 2010. 258 s.
13. Kazakov V. Sotsial'nyy konflikt: problema vyznachennya [Social conflict: the problem of definition]. Sotsiolohiya: teoriya, metody, marketynh [Sociology: theory, methods, marketing]. 2014. № 3. S. 156–166.
14. Lopushyns'kyi I.P., Koval's'ka N.M., Demchenko V.M. Mediatsiya yak zasib vyrishennya superechok v publichnomu upravlinni: humanistychnyy aspekt [Mediation as a means of resolving disputes in public administration: a humanistic aspect]. Visnyk KHNTU. Publichne upravlinnya ta administruvannya [KhNTU Bulletin. Public management and administration]. 2022. № 1 (80). S. 110–119. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.1.13>

І. П. ЛОПУШИНСЬКИЙ

доктор наук з державного управління, професор,
заслужений працівник освіти України,
завідувач кафедри публічного управління та адміністрування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ORCID: 0000-0002-7460-7476

О. В. ПРОНІНА

кандидат наук з державного управління, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4894-1825

ПІДРИВ КАХОВСЬКОЇ ГЕС: НАСЛІДКИ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

У статті розглянуто основні фактори екологічної небезпеки, обумовлені наслідками військових дій на території України, а саме наслідки підризу греблі Каховської гідроелектростанції 6 червня 2023 року. Також проаналізовані сучасні підходи та інструменти державного управління екологічною безпекою України. Доведено суттєву роль публічного управління в реалізації політики екологічної безпеки держави в умовах ризиків, що несуть із собою військові дії. Сучасне положення системи національної безпеки України обумовлює необхідність змін в системі державного управління екологічною безпекою. Підкреслено, що затоплення значних територій призвело до серйозних негативних наслідків для навколишнього середовища та сільськогосподарських угідь. Окремо проведено аналіз впливу катастрофи на водні ресурси, ґрунти та життєвий простір населення. Названо довгострокові природно-техногенні загрози, що виникли внаслідок такої зміни, описано комплекс соціально-економічних загроз, які постали через негативні наслідки існування та осушення Каховського водосховища. Коротко розглядаються можливі наслідки від відновлення гідротехнічних споруд, до чого може привести вторинне водонасичення ґрунтів, що вже зазнали деформацій внаслідок зниження геотехнічної стійкості при первинному затопленні та наступному осушенні. Екологічна катастрофа, що виникла через підризу Каховської ГЕС довела, що необхідно створення ефективної системи державного контролю та швидкого реагування на виникаючі екологічні ризики, обумовлені військовими діями. Визначено, що найважливішим чинником запобігання наслідкам воєнної агресії, невідновним порушенням нормальної життєдіяльності населення повинно стати сприяння швидкому відновленню усіх сфер розвитку і нормального існування країни у післявоєнний час. Соціально і екологічно сприятливий варіант реабілітації ураженого регіону можливий лише на сучасній європейській ідеологічній та технологічній основі врахування гранично припустимих змін гідрологічної мережі, тобто можливо сучасними засобами: створення каскаду низькопідпірних руслових водосховищ із шлюзами та малими ГЕС, реконструкції природних ставків і систем водоводів, переведення побутового водопостачання на підземні джерела, зрошуваних земель – на крапельне зрошення.

Ключові слова: Каховська ГЕС, екологічна катастрофа, водні ресурси, забруднення води, екологічна безпека, публічне управління, соціально-екологічне середовище, надзвичайні ситуації військового характеру.

I. P. LOPUSCHYNSKYI

Doctor of Public Administration, Professor,
Honored Worker of Education of Ukraine,
Head of the Department of Public Management and Administration
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
ORCID: 0000-0002-7460-7476

O. V. PRONINA

Candidate of Sciences in Public Administration, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Public Administration
and Local Self-Government
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-4894-1825

EXPLOSION OF KAKHOVSKAYA HPP: CONSEQUENCES FOR THE ENVIRONMENTAL SECURITY OF UKRAINE

The article considers the main factors of ecological danger caused by the consequences of military actions on the territory of Ukraine, namely the consequences of the explosion of the Kakhovskaya hydroelectric power station dam on

June 6, 2023. Modern approaches and tools of state management of environmental security of Ukraine are also analyzed. The essential role of public administration in the implementation of the environmental security policy of the state in the conditions of the risks that military actions entail has been proven. The current situation of the national security system of Ukraine determines the need for changes in the system of state management of environmental security. It is emphasized that the flooding of large areas has led to serious negative consequences for the environment and agricultural lands. A separate analysis of the impact of the disaster on water resources, soils and the living space of the population was carried out. The long-term natural and man-made threats that arose as a result of such a change are named, the set of socio-economic threats that arose due to the negative consequences of the existence and draining of the Kakhovskiy Reservoir is described. The possible consequences of the restoration of hydrotechnical structures, which can lead to secondary water saturation of soils that have already undergone deformation due to a decrease in geotechnical stability during primary flooding and subsequent drainage, are briefly considered. The environmental disaster caused by the explosion of the Kakhovskaya HPP proved that it is necessary to create an effective system of state control and quick response to emerging environmental risks caused by military actions. It was determined that the most important factor in preventing the consequences of military aggression, the irreparable disruption of the normal life of the population, should be the promotion of the rapid restoration of all spheres of development and normal existence of the country in the post-war period. A socially and ecologically favorable option for the rehabilitation of the affected region is possible only on the modern European ideological and technological basis of taking into account the maximum permissible changes in the hydrological network, i.e. it is possible with modern means: the creation of a cascade of low-support channel reservoirs with locks and small hydroelectric power plants, reconstruction of riverside ponds and water supply systems, transfer of domestic water supply on underground sources, on irrigated lands – on drip irrigation.

Key words: Kakhovskaya HPP, environmental disaster, water resources, water pollution, environmental safety, public administration, socio-ecological environment, emergency situations of a military nature.

Постановка проблеми

Повномасштабне вторгнення росії в Україну 24 лютого 2022 року завдало та продовжує завдавати величезної шкоди нашій державі як з огляду на людські втрати та страждання, так і з огляду на еколого-економічні наслідки впливу через триваючі бойові дії й перебування країни в постійній загрозі екологічній безпеці. Вночі 6 червня 2023 року росіяни підірвали Каховську ГЕС та спричинили масштабну техногенну катастрофу, наслідки якої особливо катастрофічні для південних областей України. Області, що постраждали, історично були основними виробниками овочів та фруктів в нашій країні, вирощування яких залежить від зрошувальних систем. Разом з цим, водойми регіону населяють різноманітні види риб та інших водних біоресурсів, багато з яких загине внаслідок тероризму росіян. Зараз навіть неможливо повністю оцінити вплив війни на довкілля через брак точної інформації, проте точно зрозуміло, що чим довше триває війна, тим більше шкоди вона завдасть довкіллю, і тим більше наслідків ми матимемо в майбутньому. Окрім значних економічних втрат в країні, війна завдає втрати і глобальній економіці, дестабілізуючи ринки енергоносіїв, загострює нестачу харчів та бідність у багатьох країнах, що розвиваються. Також військові дії в Україні віддаляють плани перетворення Європи на кліматично нейтральний континент. Досліджуючи екологічні втрати, можемо стверджувати, що злочини проти довкілля у майбутній перспективі спричинять ще більше катастрофічних наслідків, адже смерті людей відбуваються не лише від прямих «видимих» проявів війни, але і внаслідок забруднення навколишнього природного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми формування дієвих механізмів реалізації державного управління екологічною безпекою України в мирний час та за умов воєнного стану присвячено низку наукових праць вітчизняних науковців, таких як Бондаренко Д., Романенко Є., Кринична І., Коленов О., Копанчук В., Семерня А., Іванюта С., Маргасова В. Дослідники вивчали теоретичні основи створення ефективних засобів обґрунтування і оцінки можливих екологічних ризиків, займалися пошуком та створенням оптимальних форм управління екологічною безпекою, аналізували стан нормативно-правової бази, яка регулює відносини у сфері внутрішньої і зовнішньої екологічної політики України. Але навіть така велика кількість наукових публікацій не заперечує необхідність подальших ґрунтовних досліджень з даної тематики, особливо з огляду на постійну зміну характеру та ступеню екологічних ризиків, що виникають сьогодні в Україні, пов'язаних або обумовлених воєнними діями. Можна зазначити, що катастрофа на Каховській ГЕС імені П. С. Непорожного виявила неготовність органів державного управління до подій такого масштабу за наслідками для навколишнього середовища, населення, економічного і соціального положення в країні. Традиційно, науковий аналіз питань безпеки пов'язується з вивченням того, або іншого виду небезпек, що виникають, або можуть виникати в наслідок людської активності. Проте, досягнення стану безпеки, практично усіма дослідниками, пов'язується з діяльністю держави та її органів управління [1–3].

Формулювання мети дослідження

Метою статті є розгляд проблематики та аналіз наслідків, що сталися від підриву Каховської ГЕС та визначення подальших напрямків розвитку державного управління екологічною безпекою України за умов воєнного стану.

Виклад основного матеріалу дослідження

Однією з найважливіших проблем людства є проблема екологічної безпеки. Проблеми екології вже давно вийшли за національні межі і стали об'єктом не тільки внутрішньої, але й світової політики. Питання екологічної безпеки

нещодавно також були актуальними в Україні. Наша країна стала на шлях до інтеграції у союз держав з прогресивною політикою сталого розвитку. Розроблялася та запроваджувалася основа державного управління системою забезпечення екологічної безпеки України як складової Національної безпеки, що відповідає викликам сучасності та вимогам розвитку цивілізованого суспільства. Однак за умов виникнення воєнного стану на території України, питання екологічної безпеки, перестали бути найпріоритетнішими. 6 червня екологічна небезпека додала проблем державі. Підриг російськими агресорами Каховської ГЕС та катастрофічне осушення її водосховища призвів до того, що вже запущено багаторічний процес жорсткої трансформації екосистем, економічних комплексів та соціальних спільнот, які сформувалися і досягли відносно рівноважного стану на місці знищених водою із будівництвом цього гідровузла у першому історичному акті техногенного перетворення Нижнього Дніпра.

Особливості екологічної безпеки пов'язані з багатьма аспектами її забезпечення та різноманітним впливом загроз, здатних впливати на довкілля, що є простором існування людини, потребою у формуванні екологічної свідомості суспільства. Виокремлено основні форми екологічної небезпеки, які виникають під час воєнного конфлікту та визначено завдання, що постають у цьому контексті перед органами державного управління. Зазначено, що забезпечення екологічної безпеки України обумовлене впливом економічних, соціальних та організаційних чинників, що є формуючими для системи публічного управління. Прокоментовано роль органів місцевого самоврядування у подоланні наслідків виникнення надзвичайних ситуацій військового характеру.

Екологічна катастрофа, що сталася в Україні довела, що «система забезпечення екологічної безпеки, поєднує організаційні, правові, політичні, економічні заходи, що використовує держава, потребує застосування ідеологічних механізмів створення основ екологічної культури, розвитку екологічної освіти» [4, с. 214]. Загрози національній безпеці України, обумовлені військовими діями, зумовлюють пріоритетність оперативного реагування, що потребує відповідних змін у системі державного управління забезпеченням створення ефективної системи державного контролю та швидкого реагування на виникаючі екологічні ризики, обумовлені воєнними діями, є найважливішим чинником запобігання наслідкам воєнної агресії,

невідновним порушенням нормальної життєдіяльності населення, та сприятиме швидкому відновленню усіх сфер розвитку і нормального існування країни у післявоєнний час.

Скільки точно завдано збитків та яка шкода нанесена лише тільки українському агросектору, про це говорити ще зарано. Експерти кажуть, що деякі наслідки ми відчуємо лише згодом. Визначемо всі попередні оцінки наслідків від підригу Каховської ГЕС для сільгосптоваровиробників півдня, головне питання, яким буде сільське господарство цього регіону у майбутньому:

- 1) Без води Каховського водосховища не працюватиме зрошення у трьох областях;
- 2) Наслідки для рибного господарства України будуть катастрофічні;
- 3) Сільське господарство на півдні України зазнає кардинальних змін.

Це тільки попередні висновки, але після доцільного вивчення повноти катастрофи, цей перелік буде набагато більший. У 2024 році вже буде більш відчутне відсутність Каховського водосховища, тому, що у 2023 році всі спостерігали як поступово відходила вода, як змінювались русла річок, які поверхневі руйнування принесла ця аварія. Постійні обстріли і небезпекова ситуація навколо Дніпра не дає можливості в повному обсязі обстежити всі підтоплені території, особливо ті, що досі ще окуповані. Розглянемо більш детально наслідки від підригу Каховської ГЕС.

Без води Каховського водосховища не працюватиме зрошення у трьох областях. Головне про що турбуються і урядовці, і експерти – зрошення. Без води з Каховського водосховища меліоративні системи південних областей просто не будуть працювати. Міністерство аграрної політики та продовольства України вже увечері 6 червня повідомило, що внаслідок підригу Каховської ГЕС буде зупинено водопостачання 31 системи зрошення полів Дніпропетровської, Херсонської та Запорізької областей. У 2021 році ці системи забезпечували зрошення на 584 тис. га. з яких українські аграрії збирали близько 4 млн тонн зернових і олійних культур, на суму близько 1,5 млрд доларів. Більшість зрошувальних систем наразі знаходиться на тимчасово окупованих територіях і тому наразі неможливо сказати, в якому вони стані. За останньою інформацією, у 2023 році на правому березі Дніпра працюють лише 13 зрошувальних систем. Внаслідок підригу ГЕС без води залишилось 94% зрошувальних систем в Херсонській, 74% – в Запорізькій та 30% – в Дніпропетровській областях. Деякі експерти зазначають, що зрошення буде неможливим в Херсонській області протягом 2–3х років.

Наслідки для рибного господарства України будуть катастрофічні. Підриг Каховської ГЕС спричинив масштабну екологічну катастрофу у рибному господарстві: водні біоресурси водойм Херсонщини, Дніпропетровщини, Миколаївщини та інших областей можуть загинути без води. Подекуди вже зафіксований мор риби. Перед підригом ГЕС щойно закінчився період нересту і внаслідок падіння рівня води ікра висохне на змілілих ділянках. Крім цього, загине винесена потоком водна фауна, оскільки вода спаде і вона опиниться на суходолі. Ще однією проблемою стане потрапляння і відповідно загибель прісноводної риби та інших біоресурсів у солоних водах Чорного моря. В свою чергу і чорноморська фауна від масивного напливу прісної води також може загинути. Внаслідок терористичного акту знищення Каховської ГЕС затоплений єдиний в Україні державний осетровий завод «Виробничо-експериментальний Дніпровський осетровий рибовідтворювальний завод імені академіка

С. Т. Артющика» розташований у с. Дніпровське Білозерського району Херсонської області. Він працював з 1984 року і компенсував відтворення осетрових видів риб в Україні, які втратили можливість природного розмноження. Щороку завод забезпечував вселення понад 1,5 млн екземплярів молоді осетрових. Наразі масштаби руйнувань на заводі та обсяги збитків встановлюються.

Сільське господарство на півдні України зазнає кардинальних змін. Внаслідок російського терористичного акту під загрозою опинилися цілі галузі сільського господарства півдня України. Експерти кажуть, що овочівництво та садівництво у регіоні може зникнути взагалі. Крім цього, постраждали також землі, на яких традиційно вирощували зернові та олійні. Тільки на правому березі Херсонщини може було затоплено орієнтовно 10 тис. га сільськогосподарських земель, при цьому на лівому березі площа затоплених земель може бути в декілька разів більшою. Проте остаточні оцінки будуть надані після того, як буде деокупована тимчасово захоплена територія Херсонської області. Вже зараз можна зазначити, що знищення Каховської ГЕС призведе до того, що поля на півдні України вже в цьому 2024 році можуть перетворитися на пустелі. Можна зауважити, що підлив Каховської ГЕС – це особливий удар по виробництву овочів. Херсонська область завжди спеціалізувалась саме на вирощуванні овочів, зокрема понад 35% овочів борщового набору до війни постачалося на внутрішній ринок України саме з цього регіону. Овочівництво є стовідсотково залежним від поливу, руйнація Каховської ГЕС – це катастрофічні наслідки для овочевої групи. Каховське водосховище було основним постачальником води для однієї з найбільших у Європі зрошувальних систем. Вода з цієї системи зрошення давала змогу вирощувати до 80% усіх овочів України та значний відсоток фруктів і винограду. Аналітики вважають, що без зрошення в цьому регіоні неможливо вирощувати більшу частину сільськогосподарську продукцію, особливо фрукти та овочі.

Відносно цього ми приєднуємося до думки В. Богдановича [4], що після Каховської катастрофи (і руйнівної Російської війни) сформується нова соціоекосистема, доволі не схожа ні на попередню, ні на давній «Великий Луг», що тут розвинеться інший ландшафтно-географічний комплекс з іншою структурою поселень і землеробства, що до цієї даності доведеться пристосовуватися, що доведеться знову освоювати уражену територію, бажано з урахуванням потреб екологічної збалансованості, що слід налаштуватися саме на це, а не тішити себе надією повернення до щасливого минулого. Але щоб цей процес відбувався менш болісно та призвів до поліпшення екологічного і соціально-економічного середовища, він має бути не лише державно керованим, а й якомога більш оптимізованим, хоча б за цілями сталого розвитку територій, однією з яких є екологічна безпека життєдіяльності населення та господарської діяльності, зокрема й геологічного середовища як територіальної і геохімічної основи для будь-яких природних та соціально-економічних систем.

У суспільстві закономірно виникла і, на жаль, швидко вщухла дискусія про те, яким слід відновлювати чи взагалі не відновлювати Каховське водосховище. Аргументами за його відновлення «як було» є виключно економічні та приватно-корпоративні: забезпечення потреб агробізнесу у зрошенні для овочівництва відкритого і закритого ґрунту, садівництва, виноградарства (але чомусь не згадують про потреби зернового господарства), забезпечення потреб судноплавства, забезпечення водопостачання великих (передусім видобувних і металургійних) підприємств Дніпропетровщини (що без цього вони працюватимуть із наполовину зменшеною потужністю), відновлення електрогенерації, а також – недолуга «лякалка» про перетворення осушеної території на пустелю.

Аргументи проти висувують здебільшого представники освітньо-наукового співтовариства не лише з екологічних і соціогуманітарних міркувань, але доволі аргументовано заперечуючи адептам «як було», що можливі й інші варіанти відновлення місцевої економіки та забезпечення водопостачання на основі інших джерел та більш сучасних технологій (зокрема аргументи О. Гелевери [5]). Для нас в цій аргументації найближчою є теза про «уникнення небезпеки руйнування греблі водосховища», яка не може не посилитися після її відновлення на геотехнічно нестабілізованих просадкових і пливуноздатних осушених ґрунтах із слабкою несучою здатністю.

Крапку у цій дискусії поспішив поставити Кабмін України своєю постановою від 18.07.2023 р. «Про експериментальний проєкт з початку відбудови Каховської ГЕС, яку підірвали росіяни», розрахований на 2 роки, причому нею передбачається, що на першому етапі буде спроектовано всі інженерні конструкції й підготовлено необхідну базу для відновлення. Замовником робіт призначено «Укргідроенерго», яке раніше називало мінімальний термін на відновлення Каховської ГЕС у 5–7 років [6]. Але в цій постанові не передбачене розроблення докладного техніко-економічного і екологічного обґрунтувань, з яких у всьому світі починаються будь-які, особливо великі будівельні проєкти потенційно небезпечних гідротехнічних об'єктів. Після відновлення незалежності України відомі гідротехніки (зокрема Є.А. Бакшеев) оприлюднили свою думку щодо недостатньої обґрунтованості створення великого водосховища у нижній течії Дніпра, відмова від якого дозволила б, серед іншого, зберегти високопродуктивні екосистеми плавнів, нерестовища та не відселити понад 50 тис. людей [3].

Деякі науковці називають Каховську ГЕС антиекологічно природно-техногенна геосистема, як спадок гігантоманії «сталінського плану перетворення природи». Цим водосховищем була знищена унікальна високопродуктивна частково окультурена екосистема плавнів Великого Лугу нижнього Дніпра майже на всій площі, з усіма її сіножатями, пасовищами, рибними й лісовими ресурсами – вміщуючий ландшафт формування сучасного

українського етносу. Вже майже через кілька місяців після аварії на дні колишнього водосховища з'явилась велика кількість рослин, доказуючи високу родючість цих ґрунтів.

Сільськогосподарські угіддя Херсонської, Запорізької, АР Крим живилися саме з Каховського водосховища. Однак терористичний акт, який спричинив руйнування Каховської ГЕС, завдав незворотної шкоди від втрати важливого еколого-формуючого інфраструктурного об'єкта – Каховського водосховища, на основі якого ще в радянські часи сформувалося стійке соціально-екологічне середовище півдня України та розвивалася економіка трьох її областей та Криму. Найгірша ситуація ще і в тім, що прорив греблі стався тоді, коли водосховище було переповнене (підпір понад 17 м) з формуванням хвилі прориву висотою до 5 м і швидкістю до 25 км на годину. Тому й площа та тривалість затоплення виявились більшими, ніж прогнозні оцінки (зокрема тривалість перевищила 5 діб). 6.06.2023 р. площа затоплення становила понад 430 кв.км., 7.06.2023 р. – понад 820 кв.км., потім воно поширилося на Кінбурнський півострів і далі. Загалом аварійного затоплення і підтоплення зазнали понад 80 населених пунктів в заплавах нижнього Дніпра і нижнього Інгульця, на узбережжях Бузького і Дніпровського лиманів

Підрив Каховської ГЕС призвело до розвитку низки короткострокових (6–10 діб) та довгострокових переважно незворотних еколого-техногенних загроз передусім для функціонування об'єктів інфраструктури, зокрема критичної:

- формування розосереджених ділянок затоплення і підтоплення на площі понад 2500 кв.км. значно урбанізованих територій до висоти малоповерхової забудови (максимальний рівень затоплення перевищує 5 м), виведення з ладу великої кількості об'єктів (систем водо-тепlopостачання та водовідведення, лікувальних закладів, житлових будівель та ін.), нагальна евакуація декількох тисяч населення, ускладнена військовими діями та перманентними обстрілами;

- втрата та ускладнення джерел водопостачання для майже 10 млн людей: локальних (криниць і свердловин, затоплених забрудненими водами) та централізованих, включно з Північно-Кримським і Каховським каналами, водоводами Дніпро-Кривбас й на міста Нікополь та Марганець;

- зміна водно-екологічних умов, забруднення поверхневих ґрунтів;

- затоплення численних житлових і промислових споруд;

- розвиток обвального-зсувних та ерозійних процесів на осушених берегових схилах колишнього водосховища.

За оцінками Міжнародної комісії з великих гребель, лише прямі збитки від їх руйнування з утворенням хвиль прориву можуть перевищити вартість цих споруд на порядок і більше, а загальні збитки від таких аварій можуть перевищити вартість споруд на два і більше порядків. З огляду на наведені нормативи, для випадку катастрофи на Каховському водосховищі загальні, у тому числі довгострокові, збитки можуть досягти 1,8 трлн доларів США.

Усю сукупність можливих наслідків Каховської катастрофи в частині небезпечних змін стану інфраструктурних об'єктів та погіршення безпеки життєдіяльності важко передбачити без належного аналізу на основі моніторингу екологічних, технологічних та соціально-економічних параметрів ситуації, яку складно оцінити через системний характер аварії та її ланцюговий вплив на різні сфери і галузі й на економіку країни в цілому.

Скільки точно завдано збитків та яка шкода нанесена лише тільки українському агросектору, про це говорити ще зарано. Експерти кажуть, що деякі наслідки ми відчуємо лише згодом. Укрінформ зібрав всі попередні оцінки наслідків від підриву Каховської ГЕС для сільгосптоваровиробників півдня та розбирався, яким буде сільське господарство цього регіону у майбутньому. Підрив Каховської ГЕС – це безперечно страшна катастрофа для вітчизняного агросектору, наслідки якої ми відчуватимемо ще довго. Якщо держава підтримає вітчизняного сільгоспвиробника, зроби нестандартні кроки не тільки на словах, а і на ділі, буде важко, проте сільське господарство України вистоят. За оцінками Міністерства аграрної політики та продовольства повноцінно аграрії півдня не зможуть використовувати 1–1,5 млн га земель. Експерти кажуть, що про вирощування деяких видів олійних та зернових, а також овочів у регіоні можна забути на декілька років.

Можна впевнено зазначити, що відсутність зрошення в першу чергу означає зменшення продуктивності. Зокрема, продуктивність врожаю олійних із зрошенням приблизно у 2 рази більша за врожайність гектару без зрошення, а зернових – у 2,5 рази. Експерти вважають, що з огляду на прогноз врожаю зернових та олійних від Української зернової асоціації на 2023 рік (68 млн т) то через відсутність меліорації Україна може втратити від 0,5 млн. т. до трохи більше 1 млн зернових. Науковці зазначають, що у Запорізькій, Херсонській і Дніпропетровській областях залишиться можливість вирощувати культури, які не потребують багато вологи – пшеницю, ячмінь, озимі, горох, при цьому для овочів та технічних культур такої можливості не буде.

Крім того вважаємо, що відсутність зрошення не означає зникнення сільського господарства у регіоні, проте вона значно ускладнює життя аграріям півдня. Експерт експерти сподіваються на найкраще, що сільгосптоваровиробники постраждалих областей мають кілька варіантів. Наприклад ті, кому пощастило господарювати неподалік річки Дніпро зможуть користуватися технологією свердловин, проте експерт зауважує, що не всюди цим зможуть скористатися підприємці. Держава зараз розглядає можливості відновлення системи зрошення в постраждалих областях. За підтримки міжнародного банку запропоновано створення об'єднання водокористувачів, в яке ввійдуть всі зацікавлені постачальники води. Міжнародний банк планує взяти на себе фінансування відновлення і реконструкцію системи поливу колишнього державного підприємства «Водгосп». Разом з цим, для аграріїв півдня держава має розробити спеціальну програму підтримки, якою сільгоспвиробники могли б скористатися задля продовження своєї

діяльності. Тож, підлив Каховської ГЕС – це трагедія, яка змінить сільське господарство півдня та всієї України. Проте точно не знищить його назавжди. Українських аграріїв чекають важкі випробування, але вони вже пройшли понад рік повномасштабного вторгнення та не вперше зіштовхуються з проблемами.

1. Каховське водосховище до свого осушення було базовим компонентом для формування екологічних функцій геологічного середовища у зоні впливу складної природно-техногенної геосистеми в складі Каховського гідровузла з ГЕС, його водосховищем, зрошувальними і водогосподарськими системами, Запорізькою АЕС, ГЕС.

2. Відновлення гідротехнічних та водно-господарських параметрів Каховського водосховища (висоти підпору, об'єму, площі водної поверхні, систем зрошення) у попередніх значеннях за консервативним варіантом призведе до вторинного водонасичення просадкових лесово-суглинистих і пилувато-глинистих пливуноздатних порід, що зазнали деформацій при первинному затопленні та наступному осушенні.

3. Соціально і екологічно сприятливий варіант економічної реабілітації ураженого регіону можливий лише на новій (сучасній) ідеологічній (європейській, а не радянській) та технологічній основі.

Висновки

На нашу думку актуальними завданнями, які постають перед системою державного управління екологічною безпекою України у воєнний час є:

– створення для населення умов щодо адаптації до врівноваженого сприйняття можливих наслідків воєнного конфлікту, зокрема екологічних, із забезпеченням доступності для масового використання засобів захисту від них та їхнього подолання;

– посилення державного контролю за використанням матеріальних ресурсів, призначених для запобігання виникненню та ліквідації ризиків різного характеру, що обумовлені воєнними діями, допомоги постраждалому населенню, забезпечення санітарного благополуччя уражених територій;

– використання методологічних підходів до управління процесами забезпечення внутрішньої екологічної безпеки, що мають реалізуватися за допомогою юридичних, оперативнорятувальних, функціональних та територіальних методів державного управління;

– здійснення адекватного та реалістичного планування державної екологічної політики у воєнний і післявоєнний час, яка ґрунтується на запровадженні заходів, спрямованих на досягнення цільових показників з уникненням суттєвих корупційних ризиків;

– державно-управлінські рішення національного рівня в галузі регулювання стану екологічної безпеки України повинні прийматися за участю міжнародних правових, соціальних та екологічних організацій.

Аналізуючи зазначене вище слід прийняти той факт, що проблемні питання в сфері державного управління екологічною безпекою в Україні, які мали місце й до воєнного конфлікту з російською федерацією, сьогодні набули значного загострення. Вважаємо, що подальші дослідження у цій галузі є обґрунтованими і необхідними для нормалізації і укріплення системи національної безпеки України.

Список використаної літератури

1. Бондаренко Д. О. Адміністративно-правове регулювання екологічної безпеки в Україні. Редакційна колегія. 2017. № 3. С. 8–9.
2. Іванюта С. П., Качинський А. Б. Екологічна безпека регіонів України: порівняльні оцінки. Стратегічні пріоритети. 2013. № 3. С. 157–164.
3. Бакшеев Е.А. Днепровские водохранилища и их народно-хозяйственный эффект. К.: Довіра, 2008. 159 с.
4. Трагедія Великого Лугу. Копачі вже поїхали... Але! Електронний ресурс: <http://chas-time.com.ua/liudyna/tragediya-velikogo-lugu-kopachi-vzhe-pojikhali.html>.
5. Чому не слід відновлювати Каховське водосховище. Електронний ресурс: <https://eco.rayon.in.ua/blogs/616673-chomu-ne-slid-vidnovlyuvati-kakhovske-vodoskhovishche>
6. Кабмін схвалив проєкт з відбудови Каховської ГЕС з експериментальними термінами (18.01.2024). Лія Ільченко. «Економічна правда». Електронний ресурс: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/07/18/702335/>

References

1. Bondarenko D. O. (2017). Administratyvno-pravove rehulivannia ekolohichnoi bezpeky v Ukraini [Administrative and legal regulation of environmental safety in Ukraine]. Redaktsijna kolehiia. No 3, 8–9 [in Ukrainian].
2. Ivaniuta S. P., Kachyns'kyj A. B. (2013). Ekolohichna bezpeka rehioniv Ukrainy: porivnial'ni otsinky [Environmental safety of the regions of Ukraine: comparative assessments]. Stratehichni priorytety, No 3, 157–164 [in Ukrainian].
3. Baksheev E. A. (2008) [Dnieper reservoirs and their national and economic effect]. – K.: Dovira, 159 [in Ukrainian].
4. Trahediiia Velykoho Luhu. Kopachi vzhe poikhaly... Ale! Elektronnyi resurs: <http://chas-time.com.ua/liudyna/tragediya-velikogo-lugu-kopachi-vzhe-pojikhali.html>. [in Ukrainian].
5. Chomu ne slid vidnovliuvaty Kakhovske vodoskhovyshche. Elektronnyi resurs: <https://eco.rayon.in.ua/blogs/616673-chomu-ne-slid-vidnovlyuvati-kakhovske-vodoskhovishche> [in Ukrainian].
6. The Cabinet of Ministers approved the Kakhovskaya HPP reconstruction project with experimental terms (18.01.2024). Liia Ilchenko. «Ekonomiczna pravda». Elektronnyi resurs: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/07/18/702335/> [in Ukrainian].

О. К. ЛЮБЧУК

доктор наук з державного управління, професор,
завідувач кафедри туризму

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

ORCID: 0000-0002-7450-4741

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ МЕХАНІЗМУ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ ПРИВАБЛИВІСТЮ ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ

Проблема удосконалення механізму державного управління привабливістю туризму в Україні представлена у статті. Розглянута інструментальна складова механізму державного управління туризмом. Метою дослідження є удосконалення інструментального механізму державного управління туристичною привабливістю в Україні в умовах цифровізації. Інструментальна складова механізму державного управління показана в статті як сукупність принципів суб'єкта управління. Відзначена значущість принципів для системи управління. Зазначено вплив цифрових технологій на розвиток туристичної галузі. Впроваджені цифрові технології в сферу туризму призвели до надання послуг в нових форматах. В туристично-рекреаційній сфері з'явилися цифровий туризм та цифрова рекреація. Впровадження цифрових технологій потребує застосування інноваційних принципів в державному управлінні туристичною сферою. Принципи «Ефективність», «Доцільність», «Обґрунтованість», «Системність», «Сталість», «Децентризму», «Відкритість до радикальних змін», «Команди», «Екосистеми» віднесено до інноваційних принципів а наукових дослідженнях. Надана характеристика інноваційних принципів державного управління сферою туризму і рекреації. Для удосконалення інструментальної складової механізму державного управління туристично-рекреаційною сферою запропоновані принципи на основі закордонного досвіду. До даних принципів управління віднесено наступні принципи: «Оцінки ефекту від прийняття альтернативних рішень державними органами управління», «Корисність державних рішень як відображення публічної привабливості дестинацій», «Важливість інвестиційних проектів», «Сукупного впливу на бюджет розвитку туристично-рекреаційної сфери»; «Комплексності», «Детальний прогноз потоку відвідувачів по пунктах відправки, призначення та періоду часу»; «Комплексне і централізоване прийняття рішень з розвитку дестинацій», «Регулювання трудових ресурсів у зв'язку з сезонною зайнятістю», «Оцінка потоку різних категорій відвідувачів», «Координація розвитку з іншими галузями», «Раціональне використання діючих та організація нових дестинацій», «Регламентация основних чинників розвитку дестинацій».

Ключові слова: удосконалення, механізм державного управління, інструментальна складова механізму, принципи управління, цифрові технології, привабливість туризму.

О. К. LIUBCHUK

Doctor of Public Administration, Professor,

Head of the Department of Tourism State

Higher Educational Institution "Pryazovskiy State Technical University"

ORCID: 0000-0002-7450-4741

IMPROVEMENT OF THE INSTRUMENTAL COMPONENT MECHANISM OF THE TOURISM ATTRACTIVENESS STATE MANAGEMENT IN UKRAINE

The problem of improving state management mechanism of the attractiveness of tourism in Ukraine is presented in the article. The state tourism management mechanism instrumental component is considered. The study purpose is to improve the state management instrumental mechanism of tourist attractions in Ukraine in the digitalization conditions. The state management mechanism instrumental component is shown in the article as a management subject principles set. The principles significance for the management system is noted. The digital technologies impact on the tourism industry development is indicated. Digital technologies implemented in the tourism field led to the services provision in new formats. Digital tourism and digital recreation appeared in the tourism and recreation sphere. The digital technologies implementation requires the innovative principles application in the tourism sphere state management. The principles of «Efficiency», «Expediency», «Reasonability», «Systematicity», «Permanence», «Decentrism», «Openness to radical changes», «Teams», «Ecosystems» are classified as innovative principles and scientific research». The state management innovative principles characteristics in the tourism field and recreation are given. To improve the tourism state management mechanism instrumental component and recreation sphere, principles based on foreign experience are proposed. These management principles include the following principles: «Assessment of the alternative decision-making effect by state management bodies», «State decisions usefulness as a destinations public attractiveness reflection», «Investment projects importance», «Cumulative impact on the tourist and recreational sphere development budget»; «Complexity», «Visitors flow detailed forecast by points of departure, destination and time period»; «Complex and centralized decision-making

on the destinations development», «Labor resources regulation in connection with seasonal employment», «Different visitors categories flow estimation», «Development coordination with other industries», «Rational use of existing and new destinations organization», «The destination development main factors regulation»

Key words: *improvement, state management mechanism, mechanism instrumental component, management principles, digital technologies, attractiveness of tourism.*

Постановка проблеми

Туристична галузь є одним із секторів економіки, який здатний приносити найбільший дохід за умов сприяння його розвитку, пошуку шляхів його удосконалення відповідно до світових вимог та тенденцій, впровадження зарубіжного та вітчизняного досвіду спрямованого на підвищення туристичної привабливості України в умовах викликів та післявоєнний період, тому це потребує з'ясування можливостей удосконалення державного управління туризмом, зокрема його інструментальною складовою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

До теоретичних передумов даної проблеми можна віднести дослідження таких вчених, як Е. В. Фролова, Е. Е. Кабанова, Л. Н. Нещадим, С. В. Тимчук, що присвячені проблемі розвитку туристичної привабливості; А. А. Моца, С. М. Шевчук, Н. М. Серeda – перспектив післявоєнного відновлення і розвитку туризму в Україні; В. В. Бурєга, В. П. Коваленко, Н. Р. Нижник, О. Ю. Оболенський, В. М. Олуйко – принципам державного управління та ін.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає у з'ясуванні принципів управління як складової інструментального механізму державного управління туристичною привабливістю для його удосконалення в Україні на основі цифровізації сфери обслуговування та впровадження зарубіжного досвіду.

Виклад основного матеріалу дослідження

В наукових дослідженнях інструментальна складова механізму державного управління розглядається як сукупність принципів та методів управління, які використовуються суб'єктом управління [1]. Принцип управління розуміється та визначається по-різному: як закономірності, як відносини, взаємозв'язки, керівні засади, на яких ґрунтується його організація і здійснення [2].

Якщо зміни відбуваються на суб'єктивних поглядах і відхиляються від того чи іншого принципу в управлінні, зокрема в державному управлінні, регіональному управлінні, на рівні місцевого самоврядування, управлінні організацією, управлінні певним сектором економіки (в тому числі туризмом), це може призвести до деформації системи управління.

Розвиток сучасного туризму і рекреації відбувається в умовах цифровізації економіки, впровадження цифрових інновацій, цифрових технологій в сферу обслуговування. Зростання інформаційних та віртуальних технологій призвело до появи цифрового туризму, цифрової рекреації, що являє собою використання цифрових інструментів і технологій для підготовки, організації, контролю та розваг в туристично-рекреаційній сфері.

Впровадження цифрових інновацій в сферу туризму призвели до надання послуг в нових форматах: електронне бронювання; електронні квитки; електронні візи; електронні продажі.

До цифрових технологій, які запроваджуються в туристичну сферу, для підвищення її привабливості на зараз дослідники відносять «Big Data»; «blockchain»; «Штучний інтелект»; «Мобільні додатки»; «Технології віртуалізації»; «Інтелектуальні роботи»; «Інтернет речей»; «Цифрові додатки. Можуть існувати певні обмежуючі чинники використання цифрових технологій, основними з яких є: їх висока вартість, відсутній або слабкий Інтернет-зв'язок, недосконалість законодавства, відсутність окремих технологій, відсутність державної підтримки їх впровадження та інші [3].

Для сьогодення є характерним формування інноваційних принципів державного управління сферою туризму. Управління на різних рівнях впровадженням цифрових інновацій в сферу туризму повинно базуватися на таких виокремлених принципах: «Ефективність», що передбачає порівняння вигод і витрат від впровадження інновацій; «Доцільність», який спрямований на впровадження таких нововведень, які мають бути корисними та потрібними; «Обґрунтованість»: потрібно обґрунтувати необхідність, потребу в інноваціях; «Системність»: цифрові технології мають впроваджуватися в різні сфери; «Сталість»: інновації повинні приносити корисний економічний, екологічний та соціальний ефекти; «Децентризму»: при розробці продуктів або послуг ставлять себе на місце клієнта; «Відкритість до радикальних змін»: швидка адаптація персоналу до змін во навколишньому середовищі, що проявляється в креативному, гнучкому, нестандартному мисленні, змінах у бізнес-моделях, у технологіях, структурах; «Команди»: більший успіх та взаємодія досягається завдяки командній роботі; «Екосистеми»: будь-яка інноваційна діяльність, яка забезпечує конкурентні переваги туристичної компанії, повинна зберігати екосистему.

У середньому 60,5% українського населення користуються онлайн послугами з організації дозвілля та туризму. Зазначено, що найбільш використовуваними новітніми цифровими технологіями, які виступають в якості основи

цифровізації туристичної діяльності є Big Data, blockchain, штучний інтелект, Інтернет речей, мобільні пристрої. Одним із факторів, що сприяє упровадженню цифровізації в сферу туризму, є доступність та вміння населення працювати в Інтернет-середовищі [4].

До особливостей сучасного етапу розвитку сферою туризму в Україні слід віднести наступне: необхідність пошуку нових альтернатив існування та розвитку туристичної галузі в умовах війни та післявоєнному відновленні; використання VR та AR технологій в туристично-рекреаційному бізнесі; впровадження технології доповненої реальності; застосування технології геолокації; розробка мобільних додатків для платформ Android та iOS; представлення об'єктів археологічної спадщини, пам'яток архітектури та природних пам'яток у вигляді 3D-моделі та супроводження їх додатковою текстовою інформацією [5]; розвиток цифрової культури в процесі підготовки фахівців спеціальності 242 Туризм і рекреація, де під цифровою культурою розуміють певний набір принципів та цінностей корпоративної культури; процес трансформації туристичної компанії в цифрову обов'язково повинен включати набуття нових цифрових та комунікативних знань, вмінь, навичок, досвіду та компетентностей.

Відновлення на початковому етапі після війни сфери обслуговування можливо за умов: активізація внутрішнього регіонального туризму; отримання інформації про туристичні та рекреаційні послуги; функціонування туристичних, релігійних, санаторно-курортних, рекреаційних, дозвіллевих закладів, центрів, локацій, комплексів, місць для відпочинку; доступність туристичної інфраструктури в регіоні; відновлення роботи туроператорів та турагенств; розвиток взаємодії між турагенствами та рекламними агенствами; розробка та впровадження програм розвитку туризму та культури в регіоні, контроль за їх виконанням та ін.

До війни констатувався досить низький рівень державного менеджменту: у сфері охорони та збереження культурних об'єктів; просуванні культурно-рекреаційного бренду національної спадщини; з двадцяти тисяч пам'яток архітектури та містобудування України кожна десята пам'ятка потребує негайного втручання реставраторів; близько мільйона одиниць зберігання музейних цінностей на сьогодні також потребують реставраційних робіт [6].

Для вирішення проблем туристичної привабливості в Україні відносять відродження і збереження об'єктів історико-культурної спадщини, що потребує вирішення низки завдань в післявоєнний період: розробити збалансовану довготривалу регіональну програму розвитку пам'ятоохоронної сфери; створити чіткі законодавчі гарантії щодо забезпечення прозорих умов здійснення передачі в оренду, концесію чи приватну власність об'єктів історико-культурної спадщини; залучення стратегічних інвесторів, здатних забезпечити належний рівень охорони та збереження історичних пам'яток і перетворення їх в об'єкти туристичної інфраструктури; створення ефективної системи контролю за належним рівнем збереження інвесторами історичних пам'яток; встановлення більш жорсткої адміністративної і навіть кримінальної відповідальності в разі пошкодження, руйнування історичних пам'яток чи використання їх не за призначенням [7].

Стратегічні та програмні цілі державного управління туристичною галуззю обумовлюються наступними чинниками: рівень розвитку економіки країни; наявність унікальних природних та історико-культурних туристичних ресурсів; використання потенціалу національного туристичного ринку; доступність туристичних ресурсів для внутрішніх та в'їзних туристів; підвищення ролі країни на міжнародному туристичному ринку; збільшення масштабів інвестицій у туристичну галузь; рівень розвитку держави; підвищення ролі туризму в економіці тощо.

Досвід цифровізації державного управління розвитком туристично-рекреаційної сфери в інших країнах свідчить, що даний напрямок може сприяти підвищенню обсягів надходжень в бюджет країн іноземної валюти. Впровадження даних інновацій в державне управління розвитком сфери обслуговування повинно базуватися на статистичних дослідженнях проблем; розробці нових моделей та алгоритмів державного управління щодо розвитку туристично-рекреаційної сфери з врахуванням закордонного успішного досвіду; особливостей стану функціонування даної дестинації; можливостях залучення інвестицій та засобах виміру економічної ефективності.

Для удосконалення інструментальної складової механізму державного управління туристично-рекреаційною сферою пропонуються наступні принципи на основі закордонного досвіду:

Ізраїлю – принцип «Оцінки ефекту від прийняття альтернативних рішень державними органами управління»;

Туреччини – принципи «Корисність державних рішень як відображення публічної привабливості дестинацій», «Важливість інвестиційних проектів», «Сукупного впливу на бюджет розвитку туристично-рекреаційної сфери»;

Держав регіону Тихого океану – принципи «Комплексності, починаючи з місця відправки обслуговування відвідувачів», «Детальний прогноз потоку відвідувачів по пунктах відправки, призначення та періоду часу»;

Болгарії – принцип «Комплексне і централізоване прийняття рішень з розвитку дестинацій»;

Південної Адріатики – принципи «Регулювання трудових ресурсів у зв'язку з сезонною зайнятістю», «Оцінка потоку різних категорій відвідувачів», «Координація розвитку з іншими галузями»;

Польщі – принцип «Раціональне використання діючих та організація нових дестинацій»;

Франції – принцип «Реєстрація основних чинників розвитку дестинацій».

В Ізраїлі цифровізація державного управління розвитком туристично-рекреаційної сфери затребувала застосування також таких принципів: «Збільшення обсягів іноземної валюти, яка надходить у країну завдяки туризму, та її частки в доходах бюджету»; «Максимальної економії ресурсів в розвитку місцевого туризму»; «Кількісної оцінки ефекту від альтернативних рішень державних органів»; «Врахування мультиплікативного ефекту від

збільшенням витрат відвідувачів DESTINAЦІЙ»; «Вияву DESTINAЦІЙ, які є перспективними для спрямування витрат»; «Визначення потенційного попиту на туристично-рекреаційні послуги»; «Підвищення вартості еквівалента доданого галуззю обсягу іноземної валюти в умовах обмежень місцевих чинників»; «Використання тільки наявних споруд»; «Підготовки кваліфікованої робочої сили»; «Сформованої структури DESTINAЦІЙ»; «Екзогенних прогнозів у різних припущеннях як інформаційна база визначення попиту» [5].

Якщо державні органи управління творчо та нестандартно використовують теоретичні підходи щодо наукових досліджень та постійно впроваджують нові засоби адаптації до динамічних умов ринкової економіки, удосконалюють принципи управління, то це є передумовою для створення «привабливості» DESTINAЦІЙ з туристичною або рекреаційною метою.

Висновки

Таким чином, удосконалення інструментальної складової державного управління сферою туризму в умовах цифровізації економіки можливо завдяки застосуванню таких принципів управління, як: принципу «Ефективність», принципу «Доцільність», принципу «Обґрунтованість», принципу «Системність», принципу «Сталість», принципу «Децентризму», принципу «Відкритість», принципу «Команди», принципу «Екосистеми».

Список використаної літератури

1. Амелницька О.В. Механізми в системі управління виробничо-господарською діяльністю локальних електричних мереж. *Інновації в державному управлінні та місцевому самоврядуванні*: зб. праць Донецького державного університету управління. Донецьк, 2007. Т. 8, вип. 88. С. 11–19.
2. Державне управління та державна служба: словник-довідник / уклад. О.Ю.Оболеньський. Київ: КНБУ, 2005. 480 с.
3. Ільницька-Гикавчук Г.Я. Роль цифрових платформ в зростанні туристичного бізнесу. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021, № 6. Том 1, с. 232–234. URL: <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/wp-content/uploads/2022/01/en-2021-6t1-38.pdf> (дата звернення: 06.03.2023).
4. Кожухівська Р.Б., Непочатенко В.О. Digital-технології як основа розвитку туристичної діяльності в Україні. *Економіка та держава*. 2020, № 7. с. 93–98. URL: <http://www.economy.in.ua/?op=1&z=4694&i=12> (дата звернення: 13.01.2024).
5. Крапівіна Г.О., Марченко І.Ф. Віртуалізація в туристично-рекреаційній сфері: навч. посібник з дисципліни «Інновації в туризмі (Віртуалізація туризму)» для здобувачів вищої освіти рівня «магістр» спеціальності 242 «Туризм і рекреація» всіх форм навчання. Дніпро: ПДТУ, 2023. с.
6. Дутчак О.І. Вплив туризму на охорону історико-культурних пам'яток: досвід і перспективи. URL: <https://naukajournal.org/index.php/naukajournal/article/view/35> (дата звернення: 24.12.2023).
7. Оцінка туристично-рекреаційного потенціалу регіону: монографія / за заг. ред. В.Г.Герасименко. Одеса: ONEU, 2016. 262с. URL: <http://dspace.oneu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5474/1/%D0%9E%D1%86%D1%96%D0%BD%D0%BA%D0%B0%20%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE-%D1%80%D0%B5%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D0%B0%D0%B%D1%83%20%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%96%D0%BE%D0%BD%D1%83.pdf> (дата звернення: 24.12.2023)].

References

1. Amelnytska O.V. (2007) Mekhanizmy v systemi upravlinnia vyrobnycho-hospodarskoii diialnistiu lokalnykh elektrychnykh merezh. [Mechanisms in the management system of production and economic activity of local electric networks]. *Innovatsii v derzhavnomu upravlinni ta mistsevomu samovriaduvanni*: zb. prats Donetskoho derzhavnoho universytetu upravlinnia. T. 8, vyp. 88. pp. 11–19. Donetsk [in Ukrainian].
2. Derzhavne upravlinnia ta derzhavna sluzhba: slovnyk-dovidnyk (2007) / Uklad. Obolenskyi O.Yu. [Public administration and public service: a reference dictionary] Kyiv: KNBU [in Ukrainian].
3. Ilynytska-Hykvachuk H.Ya. (2021) Rol tsyfrovyykh platform v zrostanti turystychnoho biznesu. [The digital platforms role in the tourism business growth]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu.*, № 6. Tom 1, pp. 232–234 [in Ukrainian].
4. Kozhukhivska R.B., Nepochatenko V.O. (2020) Digital-tekhnologii yak osnova rozvytku turystychnoi diialnosti v Ukraini. [Digital technologies as a basis for the tourism development in Ukraine]. *Ekonomika ta derzhava.*, № 7. pp. 93–98 [in Ukrainian].
5. Krapivina H.O., Marchenko I.F. (2023). Virtualizatsiia v turystychno-rekreatsiinii sferi: navch. posibnyk z dystsypliny «Innovatsii v turyzmi (Virtualizatsiia turyzmu)» dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity rivnia «mahistr» spetsialnosti 242 «Turyzm i rekreatsiia» vsikh form navchannia. [Virtualization in the tourism and recreation sphere: education. manual on the discipline "Innovations in tourism (Virtualization of tourism)" for higher education students at the "master's" level, specialty 242 "Tourism and recreation" of all education forms]. Dnipro: PDTU.
6. Dutchak O.I. (2013). Vplyv turyzmu na okhoronu istoryko-kulturnykh pam'iatok: dosvid i perspektyvy. [The tourism impact on the historical and cultural monuments protection: experience and prospects]. URL: <https://naukajournal.org/index.php/naukajournal/article/view/35>.
7. Otsinka turystychno-rekreatsiinoho potentsialu rehionu: monohrafiia (2016) [The tourist and recreational region potential assessment : monograph] / za zah. red. V.H. Herasymenko. Odessa: ONEU.

О. В. ПОЛОВЦЕВ

доктор наук з державного управління, професор,
професор кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-4736-6133

С. П. ХОБЗЕЙ

аспірант кафедри адміністративного та фінансового менеджменту
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0009-0008-3478-6511

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НАЦІОНАЛЬНОГО РІВНЯ

Робота присвячена формуванню наукового підґрунтя щодо обґрунтування використання математичного апарату в публічному управлінні фінансово-економічними процесами на національному рівні.

В роботі доведено, що більшість процесів на макрорівні економіки мають циклічний характер розвитку. Прогнозування початку та закінчення циклу – актуальна задача сьогодення, оскільки це надає можливість приймати обґрунтовані об'єктивні рішення на всіх рівнях публічного управління. Саме така задача ідентифікації циклів в макроекономічній системі розглядається в роботі. В дослідженні була поставлена задача, на основі статистичних даних щодо протікання реальних фінансово-економічних процесів на національному рівні, необхідно побудувати ймовірнісну модель для ідентифікації циклів на основі принципу класифікації даних та встановити ефективність використання різних стратегій класифікації та дослідити якість класифікації шляхом порівняння отриманих результатів з експертними оцінками.

В статті запропонована концепція використати мережі Байєса для ідентифікації (розпізнавання) фаз розвитку процесів довільної природи, представлених часовими рядами даних, зокрема в економіці та фінансах. Попередні дослідження, виконані в даному напрямі, свідчать про можливість отримання прийнятних позитивних результатів. Для цього необхідно створити спеціальні ймовірнісні моделі та оцінити їх параметри за допомогою статистичних даних стосовно розвитку процесу.

Для аналізу наявності циклів у процесах на макрорівні в роботі запропоновано використати сучасний апарат ймовірнісного моделювання – мережі Байєса. На основі статистичних даних побудована структура мережі, яка застосована для виявлення циклів на заданому часовому інтервалі. Коректність отриманого результату підтверджена експертними оцінками.

Для виявлення можливих циклів у фінансово-економічних процесах запропоновано використати динамічні мережі Байєса, які представляють ефективний інструмент аналізу процесів довільної природи. В результаті навчання мережі та її використання виявлення бізнес-циклів встановлено, що похибка класифікації складає не більше 16,5%, що є цілком прийнятним результатом для даного випадку.

Окреслено напрями наукового пошуку та подальших досліджень щодо обґрунтування можливостей застосування мереж Байєса для моделювання і прогнозування розвитку процесів публічного управління різних рівнів. Зокрема, встановлення можливості їх застосування до розв'язання задач управління ресурсами та ризиками, пов'язаними з реалізацією управлінських рішень.

Ключові слова: публічне управління та адміністрування, мережі Байєса, моделювання і прогнозування розвитку процесів публічного управління, публічне управління фінансово-економічними процесами.

O. V. POLOVTSEV

Doctor of Sciences in Public Administration, Professor,
Professor at the Department of Public Administration and Local Self-Government
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-4736-6133

S. P. KHOBZEY

Postgraduate Student at the Department of Administrative
and Financial Management
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0009-0008-3478-6511

USE OF MATHEMATICAL APPARATUS IN PUBLIC ADMINISTRATION OF FINANCIAL AND ECONOMIC PROCESSES AT THE NATIONAL LEVEL

The work is devoted to the formation of a scientific basis for the justification of the use of mathematical apparatus in the public management of financial and economic processes at the national level.

The work proves that most processes at the macro level of the economy have a cyclical nature of development. Forecasting the beginning and end of the cycle is an urgent task today, as it provides an opportunity to make reasonable and objective decisions at all levels of public administration. It is this task of identifying cycles in the macroeconomic system that is considered in the paper. In the study, the task was set, based on statistical data on the flow of real financial and economic processes at the national level, it is necessary to build a probabilistic model for identifying cycles based on the principle of data classification and establish the effectiveness of using different classification strategies and investigate the quality of classification by comparing the obtained results with expert assessments.

The article proposes the concept of using Bayesian networks to identify (recognize) phases of the development of processes of an arbitrary nature, represented by time series of data, in particular in economics and finance. Previous studies carried out in this direction indicate the possibility of obtaining acceptable positive results. For this purpose, it is necessary to create special probabilistic models and estimate their parameters using statistical data regarding the development of the process.

In order to analyze the presence of cycles in processes at the macro level, it is proposed to use a modern probabilistic modeling apparatus – Bayesian networks. Based on statistical data, a network structure is built, which is used to detect cycles at a given time interval. The correctness of the obtained result is confirmed by expert assessments.

To determine availability of possible cycles in financial and economic systems it is proposed to use dynamic Bayesian network that represent an effective instrument for analysis of data of arbitrary nature. As a result of the network training and its use for the cycles identification it was established that the classification errors does not exceed 16.5% what is quite acceptable in this case.

The directions of scientific research and further research regarding the substantiation of the possibilities of using Bayesian networks for modeling and forecasting the development of public management processes at various levels are outlined. In particular, establishing the possibility of their application to solving the problems of managing resources and risks associated with the implementation of management decisions.

Key words: *public management and administration, Bayesian networks, modeling and forecasting of the development of public management processes, public management of financial and economic processes.*

Постановка проблеми

Можливості аналізу циклів в розвитку складних систем – актуальна задача сьогодення, розв’язання якої дає можливість спрогнозувати, наприклад, розвиток макроекономіки держави на відносно довгих часових інтервалах. В свою чергу, наявність високоякісного прогнозу сприяє формуванню відповідних управлінських рішень, спрямованих на подолання кризових явищ. Ідентифікація циклів в економічних системах дає можливість визначити (спрогнозувати) характер змін на конкретний момент часу та прийняти рішення щодо напрямку подальшого розвитку процесу. Для ідентифікації циклів можна скористатись сучасним ймовірнісним інструментом математичного моделювання – мережею Байєса (МБ), яка виявилась корисною при розпізнаванні образів, прогнозуванні та розв’язуванні багатьох інших задач, пов’язаних з невизначеностями статистичного, структурного і параметричного характеру [1–5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах [6, 7] показано, що в даному контексті МБ мають ряд переваг над іншими методами розпізнавання та прогнозування, які полягають, зокрема, у такому: (1) представлення невизначеностей в даній області за допомогою МБ відповідає способу представлення невизначеностей експертами; (2) мережі Байєса дають можливість визначити спільну ймовірність прийняття тих чи інших значень фінансово-економічними змінними, а також забезпечують формування алгоритму ймовірнісного висновку. МБ можна використати також для ідентифікації (розпізнавання) фаз розвитку процесів довільної природи, представлених часовими рядами даних, зокрема

в економіці та фінансах. Попередні дослідження, виконані в даному напрямі, свідчать про можливість отримання прийнятних позитивних результатів. Для цього необхідно створити спеціальні ймовірнісні моделі та оцінити їх параметри за допомогою статистичних даних стосовно розвитку процесу.

Формулювання мети дослідження

На основі статистичних даних щодо протікання реальних фінансово-економічних процесів на державному рівні необхідно побудувати ймовірнісну модель для ідентифікації циклів на основі принципу класифікації даних. Встановити ефективність використання різних стратегій класифікації та дослідити якість класифікації шляхом порівняння отриманих результатів з експертними оцінками.

Викладення основного матеріалу дослідження

Введемо змінну класу, *Phase*, і скористаємось такою схемою її аналізу: *підйом* (1), *верхня точка повороту* (2), *спуск* (3) і *нижня точка повороту* (4). Загальною методикою дослідження ряду статистичних даних є розділення його на навчальну та контрольну вибірки. Це загальний підхід, який використовується при розв’язуванні задач класифікації та прогнозування. Побудуємо класифікатор на основі мережі Байєса (МБ).

Побудова мережі Байєса. Нехай $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор дійсних випадкових змінних з області $\mathbf{U} = \{x_1, \dots, x_n\}$. Позначимо загальний ймовірнісний простір через (R^n, B^n, p_B) , де R^n – множина n – вимірних векторів дійсних чисел; B^n – простір визначення множини R^n ; p_B – розподіл ймовірностей в області B^n . Мережу Байєса будемо представляти парою: $B = (G, p_B)$, де $G := (U, E)$ – спрямований ациклічний граф (САГ) в області \mathbf{U} ; E – множина спрямованих дуг.

Згідно з так званою прямою марковською властивістю, спільний розподіл змінних моделі p_B обчислюється за виразом [3, 4]:

$$p_B(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n p_B(x_i | \Pi_i) \tag{1}$$

При розв’язанні задачі класифікації областю дослідження є $\mathbf{U} = \{C, A_1, \dots, A_n\}$, де C – змінна класу, $\mathbf{A} = \{A_1, \dots, A_n\}$ – множина атрибутів, які складають основу для прогнозування. У випадку прогнозування циклів $C = Phase$, а $\mathbf{A} = Indices$ (множина індикаторів біржі). Особливий інтерес представляє умовний розподіл для C при відомому \mathbf{A} , тобто, $\{A_{i_1}, \dots, A_{i_k}\} = \Delta(C) \subset \mathbf{U}$, де $\{A_{i_1}, \dots, A_{i_k}\} = \Delta(C) \subset \mathbf{U}$. В подальшому обмежимося аналізом області, в якій $\mathbf{x} \in N^n$ – n – вимірним дискретним вектором. Без втрати узагальнення можна припустити, що $\mathbf{x} \in N^n$, де N^n – множина n – вимірних векторів натуральних чисел. Нехай $M_i = \{1, \dots, r_i\}$ представляє скінченну множину можливих значень x_i , а $M_{\Pi_i} = \{1, \dots, q_i\}$ – скінченна множина можливих комбінацій значень, які може приймати множина батьківських змінних Π_i (для змінної x_i) на спрямованому ациклічному графі G .

Відповідний ймовірнісний простір мережі Байєса (G, p_B) в області \mathbf{U} можна визначити так:

$$(\mathbf{M}, A(\mathbf{M}) p_B), \tag{2}$$

де $\mathbf{M} \subseteq M_1 \times M_1 \times \dots \times M_n \subseteq N^n$ – добуток множин можливих значень для $x_i, i = 1, \dots, n$; $A(\mathbf{M})$ – набір всіх можливих підмножин \mathbf{M} ; p_B – функція ймовірності з областю визначення $A(\mathbf{M})$. З виразу (1) випливає, що p_B представляє собою набір добутоків локальних розподілів.

Так, для кожного конкретного значення $\Pi_i = j \in \{1, \dots, q_i\}$ розподіл $p_B(x_i | \Pi_i = j)$ є багатовимірним розподілом з вектором параметрів $\Theta_j = \{\theta_{j_1}, \dots, \theta_{j_{r_i}}\}$. Позначимо також через $\bar{\Theta} = \Theta_{i_1}, \dots, \Theta_{i_{q_i}}$ параметри множини багатовимірних розподілів для вузла $x_i, i = 1, \dots, n$ і нехай $\Theta_B = \{\theta_i, i = 1, \dots, n\}$ – параметри, які необхідні для задавання ймовірностей p_B мережі Байєса (G, p_B) .

Процедура навчання мережі Байєса. Навчання мережі Байєса $B \in \mathbf{B}$ на основі спостережень $\mathbf{d} = \{\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N\} \in \mathbf{M}^N$ означає, що необхідно знайти таку “найкращу” функцію прийняття рішень $f \in \Phi : \mathbf{M}^N \rightarrow \mathbf{V}$ на допустимій множині функцій прийняття рішень \mathcal{F} . Функція прийняття рішень (ФПР) f присвоює будь-яким можливим даним $\mathbf{d} \in \mathbf{M}^N$ мережу Байєса B із (можливо обмеженої) множини $\mathbf{B} = \{G, p_B \mid G \Rightarrow \mathbf{U}\}$, тобто, де G – граф, визначений на \mathbf{U} .

При навчанні МБ на основі дискретних даних припускають, що \mathbf{d} – це реалізація мультиноміальної вибірки з генеральної вибірки, яка має розподіл $p_B \in \mathbf{P}_B$, де \mathbf{P}_B – множина всіх розподілів на $\mathbf{A}(\mathbf{M}^N)$, які можуть бути описаними мережею Байєса на \mathbf{U} . Тобто, припустимо, що значення $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$ представляють собою реалізації випадкових змінних X_1, \dots, X_N , які є незалежними та однаково розподіленими (НОР) за деяким законом $p_B \in \mathbf{P}_B$ [4].

Існує декілька підходів до визначення “найкращої” ФПР. Загальноприйнятним підходом до навчання МБ є використання кількісних функцій якості вигляду: $s : \mathbf{M}^N \times \mathbf{B} \rightarrow R$, які дають можливість оцінити наскільки близько (адекватно) мережа $B \in \mathbf{B}$ узгоджується з даними $\mathbf{d} \in \mathbf{M}^N$. Для конкретної визначеної функції якості найкращою функцією прийняття рішень буде та, що ставить у відповідність кожному набору даних $\mathbf{d} \in \mathbf{M}^N$ мережу $B \in \mathbf{B}$, максимізуючи при цьому функцію якості

$$f_{opt}(\mathbf{d}) := \arg \max_{B \in \mathbf{B}} (s(B, \mathbf{d})) .$$

Вибрана функція якості ґрунтується на принципі максимальної правдоподібності. Логарифм правдоподібності має вигляд:

$$s(B, \mathbf{d}) := L(B | \mathbf{d}) = \log p_B(\mathbf{d}),$$

але число параметрів, які необхідні для відображення $p_B \in \mathbf{P}_B$ може бути дуже великим в залежності від розміру та складності графа G .

Функції якості, які найчастіше використовуються для навчання МБ, задовольняють цій вимозі. Так, функції опису мінімальної довжини (ОМД) і BDe поєднують правдоподібність із штрафом, який відноситься до складності моделі [6, 7]. Метрика ОМД ґрунтується на принципі описання мінімальної довжини, а функція BDe передбачає пошук мережі з максимальною апостеріорною ймовірністю (при заданій апіорній) на множині структур МБ G і параметрів Θ_B .

Отримання цих функцій якості, а також логарифму правдоподібності ґрунтуються на припущенні, що $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$ – це реалізації незалежних та однаково розподілених випадкових змінних X_1, \dots, X_N у відповідності до p_B . При цьому використовується наступна факторизація:

$$p(X_1, \dots, X_N) = \prod_{k=1}^N p_B[X(k)] = \prod_{k=1}^N \prod_{i=1}^n p_B[X_i(k) | \Pi_i(k)] . \tag{3}$$

Навчання динамічних МБ. При формуванні функції якості для динамічних МБ (ДМБ) припущення щодо незалежності векторів $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$ можна замінити на припущення щодо існування стаціонарного марковського процесу для $\mathbf{x}(k)$ $k = 1, 2, 3, \dots$. Це припущення дає можливість обчислити функцію спільного розподілу для скінченної послідовності $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$ за виразом:

$$p(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N) = p(\mathbf{x}_1) \prod_{k=2}^N p(\mathbf{x}(k) | \mathbf{x}(k-1)) . \tag{4}$$

Позначимо множину перехідних мереж через \mathbf{B}_{\rightarrow} . Зазначимо, що значення змінних перехідної мережі, які відносяться до моменту часу “-1”, не мають батьків: $\prod_{i,-1} = 0, i = 1, \dots, n$. Виразом (4) можна скористатись для отримання функцій якості навчання динамічних МБ, які є аналогами ОМД, ВDe і логарифму правдоподібності. Задачу навчання динамічної МБ можна розділити на два етапи. Тобто, процес навчання ДМБ складається з навчання двох (стандартних) мереж Байєса:

1. Априорна мережа B_1 навчається за вибіркою $\mathbf{d} = \{x_1, \dots, x_{1M}\}$. Для реалізації такого навчання необхідно отримати множини спостережень часових рядів даних $x(k) \quad k = 1, \dots, N_m, m = 1, \dots, M$, відповідно.

2. На другому етапі перехідна мережа B , визначена на множині значень $\mathbf{U} = \{X_{1,-1}, \dots, X_{n,-1}, X_1, \dots, X_n\}$, повинна навчатись при обмеженні $B \in \mathbf{B}_{\rightarrow}$. Навчальна вибірка формується із спостережень часових рядів $\mathbf{d} = \{x_1, \dots, x_{1N_1}, \dots, x_{b/M_1}, \dots, x_{M_M}\}$ шляхом конкатенації послідовних спостережень $k = 2, \dots, N_M, m = 1, \dots, M, k = 2, \dots, N_M, m = 1, \dots, M$.

Класифікація циклів економетричного часового ряду. Класифікацію фаз часового ряду (відносно вибраного моменту часу $k = 1$) будемо виконувати за допомогою оцінки умовного розподілу

$$\hat{p}_B(Phase|Phase_{-1}, Indices_{-1}, Indices)$$

навченої перехідної мережі $B \in \mathbf{B}_{\rightarrow}$. Визначення моменту $k = 1$ не відіграє значної ролі, але його необхідно вибирати так, щоб перехідна мережа була здатна після навчання класифікувати фазу (*Phase*). Таким чином, дані, що використовуються для навчання, $\mathbf{d} = \{ phase, indices \}_k^T, k = 2, \dots, 112\}$ представляються у вигляді:

$$\tilde{\mathbf{d}} = \{ phase_{-1}, indices_{-1}, phase, indices \}_k^T, k = 2, \dots, 112\}.$$

Навчання класифікатора на основі МБ. Розглянемо побудову класифікатора для динамічної МБ. Для навчання використовуються вибрані індекси та застосовуються різні стратегії пошуку на одній і тій же множині даних. Для визначення структури перехідної мережі застосуємо алгоритм K2 до допустимих структур мереж \mathbf{B} [5, 8]. Якість відображення даних мережею B оцінюється за допомогою функції якості у вигляді логарифму правдоподібності $L(B|\mathbf{d})$. Після визначення структури МБ необхідно оцінити вектор параметрів Θ_B методом максимальної правдоподібності (ММП) або іншим методом.

Класифікатори на основі розширеного дерева. В загальному випадку використання логарифму функції правдоподібності, як функції якості, не гарантує досягнення повного контролю над процесом навчання МБ. При цьому вона не має обмеження, яке б гарантувало перенавчання, тобто, не має обмеження на складність мережі. Разом з тим, обидві функції якості, ОМД і Vde, включають обмеження на складність мережі, але вони не відповідають вимогам задачі класифікації. Ці функції дають міру правдоподібності того, що дані були згенеровані мережею Байєса B із спільного розподілу $p_B(C, A_1, \dots, A_m)$ цієї мережі. Вони накладають обмеження (штраф) на всю мережу. Таким чином, метою класифікації є пошук даних з функцією розподілу $p_B(C, A_1, \dots, A_m)$. При цьому складність класифікатора точніше оцінюється числом параметрів цього умовного розподілу.

На сьогодні ще не існує широко вживаної і зручної в обчислювальному відношенні функції якості, яка б надавала можливість вибирати оптимальний класифікатор Байєса з множини всіх можливих структур мереж \mathbf{U} . Так, ідея побудови спрощеного (наївного) класифікатора на основі розширеного дерева (СКРД) полягає в тому, щоб обмежити пошук структур мережами визначеної структури. Він передає, що розташування дуг СКРД є чітко визначеним наперед, тобто, змінна класу визначається як батьківський вузол для кожного атрибута. Можливі, також, дуги між атрибутами, але при цьому не може бути більше двох батьківських вузлів для кожного з них. Встановлено, що для МБ такого типу (позначимо їх через \mathbf{B}^T) можна побудувати ефективний оптимальний класифікатор з використанням функції якості у вигляді логарифму правдоподібності.

СКРД класифікатори для динамічних мереж. Метод побудови СКРД для перехідної мережі на множині змінних $\mathbf{U} = \{C_{-1}, A_{1,-1}, \dots, C, A_1, \dots, A_n\}$ можна представити наступним чином. На множині змінних $\{C, A_1, \dots, A_n\}$, визначених для конкретного моменту часу, виконується навчання моделей СКРД. Будь-яка інформація з попереднього моменту часу проходить через C . Тобто, тільки змінна C може мати (максимально два) батьківських

вузли, які пов'язані зі значеннями $\{C_{-1}, A_{1,-1}, \dots, A_{n,-1}\}$ (рис. 1). Множину мереж Байєса, що задовольняють цим обмеженням, позначимо через $\mathbf{B}_{2,\rightarrow}^T$.

Зокрема, якщо $\Pi_C = C_{-1}$, то такі “перехідні класифікатори СКРД” мають структуру, що відповідає структурі перехідної мережі для прихованої марковської моделі, яка представляється динамічною мережею Байєса із спостереженнями $O := (A_1, \dots, A_n)^T$.

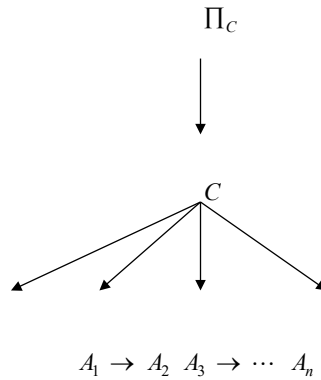


Рис. 1. Приклад структури перехідного класифікатора

Для навчання мережевих структур скористаємось алгоритмом K2, а класифікатори, що входять в множину $\mathbf{B}_{2,\rightarrow}^T$, будемо називати субоптимальними класифікаторами на розширеному дереві (ССКРД). Для динамічного процесу можлива побудова класифікатора типу СКРД без пошуку його структури. Відповідна мережа буде мати структуру, наведену на рис.2. В цій структурі кожний атрибут $A_i, i = 1, \dots, n$ має батьківські вузли $\Pi_i = \{C, A_{i,-1}\}$. В даному випадку цікаво дослідити їх поведінку, оскільки така структура гарантує, що всі змінні перехідної мережі мають марковське покриття C , що надає можливість моделювати (головні) залежності на множині $\{A_{1,-1}, \dots, A_{n,-1}, A_1, \dots, A_n\}$.

Стратегія пошуку циклів. Для пошуку циклів застосовано три стратегії. Згідно з першою стратегією правило класифікації будується на всіх змінних попереднього часового перерізу та змінних, що відносяться до поточного моменту часу. При застосуванні другої стратегії значення $Phase_{-1}$ не використовуються, оскільки при класифікації фази поточного циклу значення $Phase_{-1}$ не обов'язково відомі. В якій фазі перебував процес в конкретному кварталі (чи іншому часовому періоді) визначають експерти після закінчення цього циклу. Згідно з третьою стратегією при класифікації не використовується ніяка інформація з попереднього часового періоду. Тобто, в даному випадку ігнорується залежність від часу при навчанні МБ, а дані розглядаються як незалежні та однаково розподілені (належать одному спільному розподілу $p_B(Phase, Indices)$).

Таким чином, основними стратегіями пошуку є такі:

– **Стратегія 1:** $U = \{Phase_{-1}, Indices_{-1}, Phase, Indices\}$;

– TRANS: $B \in \mathbf{B}_{2,\rightarrow}$, множина перехідних мереж з максимальним

допустимим числом батьківських вузлів 2, $s = L(B|\mathbf{d})$. Використовуються згладжені оцінки параметрів

окрім $\hat{\theta}(Phase|Phase_{-1})$.

– **Стратегія 2:** $U = \{Indices_{-1}, Phase, Indices\}$;

– PRED: $B \in \mathbf{B}_{2,\rightarrow}$, $s = L(B|\mathbf{d})$;

– ССКРД2: $B \in \mathbf{B}_{2,\rightarrow}^T$, $s = L(B|\mathbf{d})$, $\Pi(Phase) \subset \{Indices_{-1}\}$.

– **Стратегія 3:** $U = \{Phase, Indices\}$;

– МБ: $B \in \mathbf{B}_{2,\rightarrow}$, $s = L(B|\mathbf{d})$;

– ССКРД3: $B \in \mathbf{B}^T$, $s = L(B|\mathbf{d})$.

Інтерпретація навчання за Байссом. Навчання ґрунтується на таких припущеннях: незалежність та модульність параметрів; неінформативність апріорних значень на різних множинах допустимих структур мереж, а також інформативність апріорних значень параметрів для згладжених оцінок.

Припущення щодо існування мультиноміальної вибірки на множині $U = \{Phase, Indices\}$ замінено припущенням щодо стаціонарності відповідного марковського процесу $\{(Phase, Indices)_k^T, k = 1, \dots, 112\}$.

Перелік змінних (157 спостережень), використаних для побудови та використання мережі Байєса, наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Змінні, використані для побудови мережі та прогнозування

№ п/п	Позначення	Опис змінної
1	ВВП	Реальний валовий внутрішній продукт
2	Споживання	Рівень споживання у приватному секторі
3	Дефіцит бюджету	Дефіцит бюджету в процентах до ВВП
4	Середня зарплата	Середня зарплата працівників малого та середнього бізнесу
5	Загальний експорт	Загальний об'єм експорту в процентах від ВВП
6	Агрегат М1	Грошовий агрегат М1
7	Техобладнання	Фактичні інвестиції в технології та обладнання
8	Будівництво	Фактичні інвестиції в будівництво
9	ЦДВВП	Ціновий дефлятор для ВВП
10	Вартість робочого місця	Вартість створення одного робочого місця
11	ІСЦ	Індекс споживчих цін
12	КСПС	Короткострокова процента ставка ЦБ
13	ДСПС	Довгострокова процента ставка ЦБ

Висновки

Таким чином, при виконанні роботи статистичні дані класифіковані у фази бізнесових циклів відповідною групою експертів, ґрунтуючись на економічних фактах та евристичних правилах. В результаті класифікації виокремлено 32 квартали для першої фази, 21 – для другої фази, 34 – для третьої фази і 25 – для четвертої фази (навчальна вибірка). Тестова вибірка починається з 1983 року (4-й квартал) і закінчується четвертим кварталом 1994 року. В цілому ідентифіковано 27 періодів підйому активності, 7 кварталів функціонування бізнесу на підйомі, 9 кварталів спаду активності; тривалість нижнього поворотного періоду склала 1 квартал. В результаті навчання мережі та її використання для класифікації (виявлення) бізнес-циклів встановлено, що похибка класифікації складає не більше 16,5%, що є цілком прийнятним результатом для даного випадку. В подальшому буде продовжено дослідження можливостей застосування мереж Байєса для моделювання і прогнозування розвитку процесів державного управління. Зокрема, необхідно встановити можливість їх застосування до розв'язання задач управління ресурсами та ризиками, пов'язаними з реалізацією управлінських рішень.

Список використаної літератури

1. Polovtsev O. Assessment of the quality of decision-making in public administration : Monograph. London: GlobeEdit: Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L. publishing group, 2024. 369 p., ISBN: 978-620-6-79369-4.
2. Половцев О.В. Системний підхід до прийняття рішень в державному управлінні: монографія/ Половцев О.В., [монографія] GlobeEdit Dodo Books Indian Ocean Ltd. member of the OmniScriptum S.R.L Publishing groupe, 2021 p., 207 стор., ISBN 978-620-0-62602-8
3. Bioch J.C., van der Meer O., Potharst R. Classification using Bayesian neural networks / Proceedings Benelarn'95, Brussel University. – 1995. – P. 79–90.
4. Kjerulff U. Constructing Bayesian Networks / Report of Reykjavik University, April, 2005. – 77 p.
5. Cheng J., Greiner R. Learning Bayesian belief network classifiers: algorithms and system / Canadian conference on artificial intelligence (CSCSI01), 2001. – P. 141–151.
6. Rossi P.E., Allenby G.M. Bayesian statistics and marketing // Marketing Science, 2003. – Vol. 22, № 3. – P. 304–328.
7. Niedermayer D. An Introduction to Bayesian networks and their contemporary applications / <http://www.niedermayer.ca>, 2006. – 13 p.
8. Suzuki J. Learning Bayesian Belief Networks Based on the MDL Principle: An Efficient Algorithm Using the Branch and Bound Technique // IEICE Transactions on Information and Systems, February 1999. – P. 356–367.

References

1. Polovtsev O. (2024) *Assessment of the quality of decision-making in public administration*. London: GlobeEdit: Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L. publishing group [in Ukrainian].

2. Polovtsev O. (2021) *Systematic approach to decision-making in public administration*. GlobeEdit: Dodo Books Indian Ocean Ltd. and OmniScriptum S.R.L. publishing group [in Ukrainian].
3. Bioch J.C., van der Meer O., Potharst R. (1995) Classification using Bayesian neural networks / Proceedings Benelam'95, Brussel University. P. 79–90.
4. Kjerulff U. (2005) Constructing Bayesian Networks / Report of Reykjavik University, April, 77 p.
5. Cheng J., Greiner R. (2001) Learning Bayesian belief network classifiers: algorithms and system / Canadian conference on artificial intelligence (CSCSI01), P. 141–151.
6. Rossi P.E., Allenby G.M. (2003) Bayesian statistics and marketing // Marketing Science, Vol. 22, № 3. P. 304–328.
7. Niedermayer D. (2006) An Introduction to Bayesian networks and their contemporary applications / <http://www.niedermayer.ca>, 13 p.
8. Suzuki J. (1999) Learning Bayesian Belief Networks Based on the MDL Principle: An Efficient Algorithm Using the Branch and Bound Technique // IEICE Transactions on Information and Systems, February. P. 356–367.

В. Д. ФІЛІПОВА

доктор наук з державного управління, професор
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-8476-3341

ДЕТЕРМІНАНТИ СТРЕСУ В ДІЯЛЬНОСТІ ДЕРЖАВНИХ СЛУЖБОВЦІВ

Стаття присвячена вивченню детермінант стресу в діяльності державних службовців. Зазначається, що ефективність діяльності державних службовців залежить від таких психологічних детермінант, як активізаційні та мотиваційні характеристики індивіда, рівень соціальної адаптованості, фрустраційна толерантність, суб'єктивне ставлення до стресової ситуації, особливості психічних процесів і властивості нервової системи. стрес може негативно впливати на професійну ефективність державних службовців. Постійний стрес може призводити до зниження продуктивності та зосередженості державних службовців, при цьому вони можуть мати важкість у прийнятті рішень, виконанні своїх обов'язків та взаємодії з колегами. Значний рівень стресу може також призвести до збільшення числа помилок та неефективності у виконанні робочих завдань. Для підтримки високої професійної ефективності державних службовців, важливо розробляти стратегії подолання стресу та створювати сприятливе робоче середовище. Один зі способів зменшення стресу може бути впровадження регулярних психологічних тренінгів та семінарів, які допоможуть службовцям розуміти та керувати своїм стресом. Стратегії подолання стресу є важливим елементом в управлінні стресом державних службовців. Вони включають в себе розвиток навичок саморегуляції, які допомагають знизити рівень стресу та розслабитися. Такі стратегії можуть включати фізичну активність, медитацію, глибоке дихання та інші техніки релаксації. Важливо також здійснювати психологічну підтримку та консультування, щоб державні службовці могли висловити свої емоції та отримати підтримку у вирішенні своїх проблем. Застосування стратегій подолання стресу може покращити загальний психологічний стан та професійну ефективність державних службовців. Для забезпечення зниження рівня стресу в середньому, потрібно враховувати всі детермінанти стресу та розробити стратегії, які б забезпечували оптимальні умови роботи державних службовців, їхнє професійне зростання та здоров'я.

Ключові слова: державна служба, державні службовці, ментальне здоров'я, стрес, чинники професійних стресів державних службовців, програми професійного навчання.

V. D. FILIPPOVA

Doctor of Public Administration, Professor
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-8476-3341

DETERMINANTS OF STRESS IN THE ACTIVITIES OF CIVIL SERVANTS

The article is devoted to the study of stress determinants in the activities of civil servants. It is noted that the effectiveness of civil servants depends on such psychological determinants as activation and motivational characteristics of an individual, level of social adaptability, frustration tolerance, subjective attitude to a stressful situation, peculiarities of mental processes and properties of the nervous system. stress can negatively affect the professional efficiency of civil servants. Constant stress can lead to a decrease in the productivity and concentration of civil servants, while they may have difficulty in making decisions, performing their duties and interacting with colleagues. A significant level of stress can also lead to an increase in errors and inefficiency in the performance of work tasks. In order to maintain high professional efficiency of civil servants, it is important to develop strategies to overcome stress and create a favorable working environment. One of the ways to reduce stress can be the introduction of regular psychological trainings and seminars to help employees understand and manage their stress. Strategies for overcoming stress are an important element in managing the stress of civil servants. They include developing self-regulation skills that help reduce stress and relax. Such strategies may include physical activity, meditation, deep breathing, and other relaxation techniques. It is also important to provide psychological support and counseling so that civil servants can express their emotions and receive support in solving their problems. The application of stress coping strategies can improve the general psychological state and professional efficiency of civil servants. In order to ensure a reduction in the level of stress on average, it is necessary to take into account all the determinants of stress and develop strategies that would ensure optimal working conditions of civil servants, their professional growth and health.

Key words: civil service, civil servants, mental health, stress, factors of professional stress of civil servants, professional training programs.

Постановка проблеми

Державні службовці є ключовим компонентом будь-якої держави, що забезпечує виконання різних функцій та заходів у сфері управління, політики, правозастосування, економіки та соціальних питань. Специфіка їхньої діяльності полягає в багатогранності відповідальності, широкому спектрі завдань та взаємодії з різними соціальними групами. Одним з ключових аспектів специфіки діяльності державних службовців є високий рівень відповідальності, який вони несуть за своїми рішеннями та діями. Це посилюється тим фактом, що державні службовці часто розглядаються як представники влади та держави, і їхні дії можуть мати наслідки для багатьох людей.

Державні службовці виконують безліч завдань: від розробки та впровадження політик до виконання конкретних адміністративних функцій та вирішення проблем, пов'язаних із захистом прав і свобод громадян. Вони постійно стикаються з різноманітними викликами та проблемами, які вимагають від них високої кваліфікації, навичок та емоційної стійкості. Крім того, державні службовці взаємодіють з різними соціальними групами, включаючи громадян, представників приватного сектору, інших державних органів та міжнародних організацій. Це робить їхню роботу багатогранною та непередбачуваною, потребуючи від них навичок комунікації, здібностей до переговорів та спілкування з представниками різних соціальних груп і прошарків. Виходячи з цього, найважливішими характеристиками діяльності державних службовців стають напруженість, підвищена відповідальність, наявність широкого кола обов'язків, що в свою чергу обумовлює стресогенність. Зрозуміло, що державний службовець, який систематично перебуватиме у стресовому стані, не може повноцінно виконувати свої професійні обов'язки, особливо зараз, під час воєнного стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

До чинників виникнення стресу дослідники відносять різноманітні фактори. Утім, більшість вчених визначають, що визначальними у виникненні стресу є суб'єктивні чинники – суб'єктивна оцінка факторів як стресогенних. Разом з цим, інтерпретація факторів як стресогенних багато у чому визначається індивідуально-психологічними особливостями індивіда (внутрішні фактори). Також велика кількість робіт присвячена вивченню внутрішніх факторів, серед яких дослідники виділяють характеристики нервової системи, темперамент, нейротизм, інтроверсію, тривожність, агресивність, самооцінку, локус контролю і т.п. [1–10]. Теоретичні, методичні та практичні питання розвитку стресу і протидії йому також знайшли відображення у роботах Л. Гримака, В. Корольчук, В. Крайнюка, М. Кудінова, Т. Титаренко. Однак досі залишаються недостатньо вивченими основні детермінанти виникнення стресу державних службовців.

Формування мети дослідження

Виходячи зі сказаного вище, метою нашого дослідження виступає теоретичний аналіз детермінант стресу в діяльності державних службовців.

Викладення основного матеріалу дослідження

Поняття «стрес» в наш час набуло надзвичайно широкого поширення. Основною причиною такої екстраординарної популярності є те, що концепція стресу претендує на пояснення багатьох явищ життя: реакцій людини на психотравмуючі ситуації, небезпечні роботи, захворювання і різні конфлікти. Звідси, стрес – це не тільки нервова напруга у відповідь на дію стресорів, це – пристосована реакція організму.

У сучасних наукових працях проблематика стресових станів здебільшого розглядається з точки зору самого стресу як явища та обставин, із ним пов'язаних, без достатнього аналізу відповідних чинників виникнення стресового стану [1]. Ряд вчених вважають, що «стрес – це нормальна психологічна реакція людини на незвичайну ситуацію, яка виконує функцію самозбереження й дозволяє сконцентрувати всю увагу на реальній небезпеці, мобілізуватися й підготуватися до дій щодо її запобігання» [2]. Інші дослідники висвітлюють проблему більш широко і визначають стрес як особливий психічний стан пов'язаний із проявом емоцій, що не вичерпується лише емоційними феноменами, а детермінується і відображається в когнітивних, мотиваційно-вольових, характерологічних та інших структурних компонентах особистості. З цієї позиції стрес – реакція не стільки на фізичні властивості ситуацій, скільки на особливості взаємодії між особистістю та навколишнім середовищем. Стрес, вважають вчені, має фізіологічну природу – це безпосередня реакція організму, що супроводжується вираженими фізіологічними зрушеннями та залежить від інтенсивності агента, що впливає [3]. Будь-який різновид психологічного стресу (особистісного, міжособистісного, сімейного, професійного тощо) в своїй основі має інформаційні фактори: повідомлення, інформацію про поточний (реальний) і передбачуваний, ймовірний вплив несприятливих подій, їх загрозу, або «внутрішню» інформацію у формі минулих уявлень, які в пам'яті збереглися як «травмуючі» психіку події чи ситуації та їх наслідки.

Зрозуміло, що в процесі вивчення детермінант стресу в діяльності державних службовців необхідно враховувати індивідуальні особливості професії, беручи до уваги специфіку умов праці. Так, професія державного службовця пов'язана з соціальною відповідальністю, високим рівнем нервово-емоційної напруги, інноваційністю діяльності. Висока відповідальність, робота в умовах дефіциту часу, ненормований робочий день, відсутність емоційної розрядки, велика кількість контактів протягом дня, необхідність швидкого перемикавання уваги на розв'язання різних завдань та міжособистісні взаємини призводять до неминучого виникнення професійного

стресу. Ефективність діяльності державних службовців залежить від таких психологічних детермінант, як активаційні та мотиваційні характеристики індивіда, рівень соціальної адаптованості, фрустраційна толерантність, суб'єктивне ставлення до стресової ситуації, особливості психічних процесів і властивості нервової системи [4, с. 269–274].

Детермінанти стресу – це фактори і ситуації, які можуть спричинити стрес у державних службовців. Відомо, що стрес може бути викликаний різними причинами та поширений у сучасному світі. Ось кілька детермінантів стресу [5]:

- робота: несправедливі умови праці, високий рівень відповідальності, тривалі робочі дні та нестабільна робота можуть спричинити стрес;
- соціальні відносини: конфлікти з друзями, сім'єю або багатою специфікою відносин можуть викликати стрес;
- здоров'я: хронічні захворювання, травми, наслідки операцій можуть спричинити стрес ініціальної або постійної сплячки;
- економічний стан: фінансові проблеми, борги, втрата роботи чи інвестицій можуть спричинити стрес;
- транзиція: зміна місця проживання, роботи, відносин або статусу може спричинити стрес;
- травма та стимулюючі події: травматичні події або регулярна екстремальна діяльність можуть викликати стрес;
- психологічні фактори: невдачі, депресія, тривога та інші психологічні стани можуть впливати на рівень стресу;
- стиль життя: незбалансоване життя, недостатня відпочинок, неадекватна дієта і недостатній фізичний рух можуть спричинити стрес;
- мас-медіа: сучасні засоби масової інформації можуть викликати стрес через перенасичення інформацією та постійними негативними подіями;
- персональні характеристики: схильність до стресу, наявність психологічних захворювань чи генетичні фактори можуть впливати на рівень стресу.

Слід зазначити, що стрес в роботі державних службовців в умовах воєнного стану є важливою проблемою, яка може впливати на ефективність виконання обов'язків, психічне здоров'я працівників та безпеку населення. Воєнний стан, як і будь-яка надзвичайна ситуація, спричиняє зростання стресу серед державних службовців через такі чинники:

Висока завантаженість: Воєнний стан може призвести до збільшення обсягу роботи, яке державні службовці повинні виконувати, що може збільшити їх рівень стресу.

Нестабільна ситуація: Непередбачені події та нестабільність, які часто характеризують воєнний стан, можуть спричинити почуватися небезпекою та непевністю.

Особисті проблеми: Воєнний стан може посилити особисті проблеми, такі як сімейні, фінансові та емоційні проблеми, що також можуть вплинути на стрес серед державних службовців.

Погана комунікація: Недостатня або неефективна комунікація між керівниками та підлеглими може підвищувати рівень стресу серед державних службовців.

Недостатнє підтримання: Низький рівень підтримання та підтримки керівниками та колегами може збільшити стрес серед державних службовців.

Таким чином, стрес має значний вплив на державних службовців, як з психологічної, так і з фізичної точок зору. Він може призвести до серйозних психологічних наслідків, таких як тривога, депресія, розлади сну та погіршення настрою. Фізичні наслідки стресу також можуть бути серйозними, включаючи високий рівень втоми, знижену імунну систему, проблеми з шлунково-кишковим трактом та серцево-судинною системою. Крім того, стрес може впливати на професійну ефективність державних службовців, зменшуючи їхню продуктивність та здатність приймати рішення. У зв'язку з цим, важливо розвивати стратегії подолання стресу, щоб державні службовці могли ефективно працювати та зберігати своє здоров'я та психологічний стан. Стратегії подолання стресу включають в себе різноманітні методи, які допомагають державним службовцям зменшити його негативний вплив. Один з найпоширеніших способів – це загальний підхід до збереження фізичного та емоційного здоров'я. Це може включати заняття спортом, регулярні фізичні вправи, здорове харчування та достатній відпочинок. Також важливо приділяти увагу своїм емоціям, наприклад через медитацію або йогу. Ці методи допомагають підтримувати рівновагу і позитивний настрій. Окрім загального підходу, існують інші стратегії, які можуть бути ефективними для зменшення стресу. Наприклад, можна використовувати техніки управління часом, щоб краще організувати свою роботу та уникати надлишкового напруження. Багато людей знаходять відпочинок у природі, орж проведення часу на свіжому повітрі та відвідування парків чи лісів може бути корисним. Також важливо будувати позитивні взаємини з колегами та родиною, оскільки підтримка від близьких людей може допомогти зняти стрес та відновити енергію. Нарешті, самосвідомість є ключовим аспектом у подоланні стресу. Важливо вивчити свої власні реакції на стресори та розробити стратегії, щоб ефективно займатися їхнім усуненням. Іноді

просто надихання та глибокий вдих-видих можуть стати в пригоді в ситуаціях, коли стрес досягає свого піку. Виробництво активних методів релаксації, таких як йога або медитація, також може сприяти відновленню ресурсів та забезпечувати достатній рівень енергії. Враховуючи всі ці стратегії, державні службовці можуть покращити свою загальну добробут і продуктивність. Важливо дбати про своє фізичне і ментальне здоров'я, а також розвивати здатність ефективно управляти стресовими ситуаціями. Через це вони матимуть змогу працювати високо продуктивно і зберігати свою ментальну та фізичну готовність на найвищому рівні.

Виходячи з вищесказаного, можна казати, що стрес може мати різні психологічні наслідки для державних службовців. Він може призводити до значного зниження настрою, збільшення почуття тривоги та депресії. Це в свою чергу може негативно позначитися на їхній здатності концентруватися, приймати рішення та виконувати свої обов'язки. Крім того, стрес може сприяти розвитку серйозних розладів сну та значно збільшити ризик виникнення конфліктів з колегами. Психологічні наслідки стресу є надзвичайно серйозними, оскільки вони можуть значно погіршити якість життя та робочу продуктивність державних службовців. Відсутність адекватних стресових механізмів може спричинити непередбачувані і несприятливі психологічні наслідки, що можуть вплинути на розвиток і професійні можливості службовців. Боротьба зі стресом та забезпечення психологічного благополуччя має бути пріоритетною метою управління та підтримки державних службовців. Необхідно створити ефективні програми та політики, спрямовані на підвищення свідомості, забезпечення психологічної підтримки та розвиток стресостійкості для збереження здоров'я та ефективної роботи державних службовців.

Фізичні наслідки надмірного стресу також можуть мати набагато значно більший вплив на державних службовців, ніж спочатку думалося. Постійно виснажені та знеможені, вони стикаються зі спадом енергії, що може веде до надзвичайно серйозних наслідків для їхнього здоров'я. Часом це виявляється у відчутті постійної втоми, безлічі головних болях та надмірному напруженості м'язів. Такий надзвичайно високий рівень стресу може негативно впливати на імунну систему, підвищуючи гарантовані шанси на захворювання та набагато більшою загрозою загального становища здоров'я. В деяких надзвичайних випадках, фізичні наслідки подовженого стресу можуть бути надзвичайно вкрай серйозними, і призводити до розвитку серцевих захворювань та інших надзвичайно серйозних проблем зі здоров'ям, що потребують негайного набагато більшого втручання та лікування. Значимі фактори стресу можуть виявитися значно набагато більшими і дійсно привести до надзвичайно серйозних фізичних наслідків, ніж можна було б уявити раніше.

Отже, стрес може негативно впливати на професійну ефективність державних службовців. Постійний стрес може призводити до зниження продуктивності та зосередженості. Службовці можуть мати важкість у прийнятті рішень, виконанні своїх обов'язків та взаємодії з колегами. Значний рівень стресу може також призвести до збільшення числа помилок та неефективності у виконанні робочих завдань. Для підтримки високої професійної ефективності державних службовців, важливо розробляти стратегії подолання стресу та створювати сприятливе робоче середовище. Один зі способів зменшення стресу може бути впровадження регулярних психологічних тренінгів та семінарів, які допоможуть службовцям розуміти та керувати своїм стресом. Крім того, можна впровадити розумну розподіл робочого навантаження та надати службовцям достатньо часу для відпочинку та відновлення. Додаткові способи зняття стресу можуть включати фізичну активність, медитацію та спілкування з близькими людьми. Важливо також будувати позитивні взаємини в колективі та сприяти створенню підтримуючого робочого середовища, де службовці можуть відчувати підтримку та визнання своєї праці. Загальною метою ефективного управління стресом є забезпечення психологічного благополуччя та продуктивності державних службовців. Враховуючи це, на керівників постають великі відповідальність та виклики, але правильно розроблені стратегії та заходи можуть допомогти створити оптимальні умови для роботи та сприяти розвитку кар'єри службовців.

При цьому слід зазначити, що стратегії подолання стресу є важливим елементом в управлінні стресом державних службовців. Вони включають в себе розвиток навичок саморегуляції, які допомагають знизити рівень стресу та розслабитися. Такі стратегії можуть включати фізичну активність, медитацію, глибоке дихання та інші техніки релаксації. Важливо також здійснювати психологічну підтримку та консультування, щоб державні службовці могли висловити свої емоції та отримати підтримку у вирішенні своїх проблем. Застосування стратегій подолання стресу може покращити загальний психологічний стан та професійну ефективність державних службовців.

Варто також відмітити те, що дія тривалого стресу чи часті короткотривалі стреси можуть призвести до виникнення рис психопатології, психосоматичних хворіб, які отримали назву «хвороби стресу» (інсульт, інфаркт, виразка, нейродерміт). Вони виникають через невідповідність адаптивних можливостей людини до вимог навколишнього світу. Окрім того, дослідники визначили, що стрес може слугувати передумовою виникнення онкологічних захворювань [6].

Очевидним є те, що виникнення, процес протікання стресу та реакції людини на нього залежить від її індивідуальних особливостей, тому у певних осіб позиціонується підвищений рівень активності та зростання активності у діяльності (його ще називають як «стрес лева»), у решта все відбувається навпаки, а саме позиціонується пониження рівня активності, а результативність їхньої діяльності значно падає (його ще називають як «стрес кролика») [7].

Отже, вияви стресу можуть траплятися на усіх щаблях функціонування особистості, а саме як на фізіологічному, емоційно-поведінковому, розумовому й, подеколи, і мотиваційній сфері. Знаючи про власні реакції на стресові фактори, особистість може попередити наростаючу напругу, щоб уникнути небажаних наслідків стресу.

Учені виділяють п'ять типів імовірних результатів стресу: суб'єктивні (зміни настрою, постійна втома, зниження самооцінки, агресивність, депресія); поведінкові (розвиток залежностей, імпульсивність поведінки, емоційні спалахи); пізнавальні (порушення пізнавальних процесів, зниження інтелектуальної діяльності); фізіологічні (підвищення артеріального тиску, порушення частоти пульсу, збільшення рівня глюкози в крові); організаційні (зниження продуктивності праці) [8]. Такі ознаки можуть призвести до появи ряду невротичних та психосоматичних захворювань.

Виходячи з вищесказаного, стрес – це двостороннє явище у життєдіяльності особистості. З однієї сторони – він негативно впливає на організм індивіда, спричинюючи значне зниження стану імунної системи, життєдіяльності внутрішніх органів та систем, кардинальну зміну у зовнішньому вигляді (швидке зістарення), а також продукує появу невротичних властивостей, зміну сприйняття світу й взаємовідносин із соціумом, а з іншого боку сигналізує про існуючу небезпеку й сприяє особі у наявних складних та небезпечних обставинах мобілізувати особисту поведінку з метою збереження як життя так і здоров'я. Таким чином, причини виникнення стресу можуть бути найрізноманітніші, пов'язані як із зовнішнім оточенням, так і внутрішніми установками особистості. Організм людини є саморегульованою системою, і коли він втомлюється від постійної напруги, то впроваджує емоційні, поведінкові, фізіологічні сигнали, щоб змінити відповідні сфери життєдіяльності особистості, які негативно впливають на її існування. Попри те, у певних ситуаціях стрес може бути позитивним, оскільки попереджує індивіда про можливе виникнення тих чи інших проблем у житті та мобілізує організм для того, щоб уникнути впливу негативних наслідків. Хоча стрес мобілізує людину, попереджає про небезпеку, та змістовно він чинить згубний вплив на організм людини, спричинюючи розвиток різних психологічних, фізіологічних чи психосоматичних захворювань.

До зовнішніх стрес-факторів державних службовців відносимо фрустратори (відсутність ресурсів для задоволення потреб, втрата близьких людей, конфлікти). Фрустратори перешкоджають досягненню цілей або ж не дають людині вийти із ситуації. Фрустрація, як психічний стан людини, виникає при її зіткненні з непереборними перешкодами (наявними чи вигаданими) на шляху до досягнення значущої мети, пошуку виходу із надскладних ситуацій, викликає регресію та спонукає до неконструктивних стратегій поведінки (уникнення, агресія).

Зовнішніми детермінантами стресостійкості державних службовців є організаційні умови праці. Внаслідок робочих стресів (ускладнення в робочому середовищі), професійних стресів (особливості професії), організаційних стресів (негативний вплив особливостей організації, в якій працює суб'єкт діяльності) збільшуються ризики емоційного вигорання. Переживання такого роду можуть призвести до виникнення безсоння, хронічної втоми, депресії, алергії, емоційного занепокоєння, захворювань опорно-рухової системи, виразкової хвороби шлунка, мігрені, захворювань серцево-судинної системи (гіпертонія, серцевий напад), нещасного випадку та навіть самогубства. Вміння вчасно реагувати на кризи системи, перемагати робочі, професійні та організаційні стреси є важливими навичками стресостійкості державних службовців.

До внутрішніх детермінантів стресостійкості віднесено вроджені характеристики темпераменту людини: схильність реагувати на стрес у осіб сангвінічного типу сприяють формуванню резиліентності – здатності гнучко пристосовуватися до нових стрес-факторів та швидко приймати рішення й утворювати конструктивні копінг-стратегії. Особам з переважаючим холеричним типом реагування на стрес властиві витривалість до екстремальних психічних перенапружень, вони краще діють за шаблонами та стандартами. Особам з флегматичним типом темпераменту властиві заторможені стрес-реакції, витривалість у хронічних стресових ситуаціях не екстремального походження. Меланхолічна реакція формує сенситивність особистості до стрес-факторів, що забезпечує їй можливість уникати їх.

Внутрішніми детермінантами стресостійкості державних службовців є: інтелектуальна гнучкість, практичне мислення; рівень особистої стабільності (надійність, резистентність до стресу, впевненість у собі, відповідальність, соціабельність, комунікативність); відсутність напруженості, тривожності й психопатологічної симптоматики; психодинамічні властивості (нейротизм, екстравертність-інтровертність, здатність до саморегуляції тощо) [9].

Поряд з цим, державні службовці, котрі зацікавлені в підтримці власного здоров'я повинні володіти різноманітними методами і техніками щодо нейтралізації стресу. Водночас даний набір є індивідуальним кожній особистості, позаяк, нажаль немає універсальних способів зниження рівня напруги. Учені виділяють психологічні техніки, які спрямовані на:

- зміну свідомості – тобто переключення уваги на інші види діяльності, людей або ж явищ найближчого довкілля;
- управління фізичними показниками – контроль дихання, техніки релаксації, регуляція мовлення;
- відтворення позитивних образів або ресурсних станів;
- репродукцію соціальної поведінки – тайм-менеджмент, постановка цілей;

- зміна ірраціональних переконань на раціональні;
- позитивне мислення та самонавіювання [10].

Аби запобігти чи зменшити стрес серед державних службовців в умовах воєнного стану, можна звернути увагу на такі заходи:

Організаційні заходи: Усунути неефективні механізми роботи, забезпечити помірне навантаження на працівників, забезпечити доступ до необхідного обладнання та ресурсів.

Розвиток комунікації: Забезпечити відкриту та ефективну комунікацію між керівниками та підлеглими, а також заохотити співпрацю та обмін думками.

Підтримка: Забезпечити підтримку працівникам, заохочуючи їх до відпочинку та забезпечуючи необхідні ресурси для управління стресом.

Психологічна підтримка: Забезпечити доступ до психологічної допомоги та підтримки для працівників, які потребують допомоги в управлінні стресом.

Поширення уявлень про здоровий стиль життя: Заохочувати працівників до прийняття здорових звичок, таких як регулярне вчасне харчування, відпочинок, фізична активність та розвиток соціальних зв'язків.

Звернення уваги на це може допомогти знизити рівень стресу серед державних службовців в умовах воєнного стану, забезпечити їх психічне здоров'я та ефективну роботу.

Уникання або зниження стресу можливе за допомогою стресорегуляторів, таких як фізична діяльність, відпочинок, соціальна підтримка, необхідна дієта та позитивне мислення.

Висновки

Отже, стрес у державних службовців є важливою проблемою, яка може вплинути на їхню ефективність, здоров'я та робочий моральний дух. Розуміння основних детермінант стресу дозволить забезпечити оптимальні умови для роботи державних службовців. Детермінанти стресу в діяльності державних службовців можуть бути загальними (наприклад, загальним сприйняттям стресу, особистими чинниками та соціальними факторами) та специфічними для державних службовців (наприклад, високим рівнем відповідальності, низькою стійкістю до змін, недостатністю ресурсів, політичною нестабільністю та політичною корупцією).

Високий рівень відповідальності та високі очікування суспільства можуть спричинити стрес у державних службовців, оскільки вони повинні діяти в інтересах всіх громадян. Це може призвести до почуття надмірної ресурсної напруги та необхідності дотримуватися високих етичних стандартів. Також, недостатня стійкість до змін та низька адаптивність державних службовців можуть стати детермінантами стресу. Це може бути пов'язане з тривалістю служби, відсутністю професійної підготовки та розвитку, а також погіршенням навичок спілкування та проблемами із здоров'ям. Поряд з цим, недостатність ресурсів та неефективна система підтримки можуть підсилювати стрес у державних службовців, оскільки вони можуть почуватися занепокоєними необхідністю прийняття важливих рішень без достатньої інформації, підтримки та керування.

Для забезпечення зниження рівня стресу в середньому, потрібно враховувати всі детермінанти стресу та розробити стратегії, які б забезпечували оптимальні умови роботи державних службовців, їхнє професійне зростання та здоров'я. Конкретні заходи, які можуть бути вжиті для зниження рівня стресу у державних службовців, можуть включати забезпечення постійної професійної підготовки, систематичне оновлення навичок спілкування, підтримку здоров'я та психіки службовців, встановлення відповідальних механізмів керування та розвиток систем підтримки.

Список використаної літератури

1. Лісіцин В. Д. Детермінанти стресових станів як науково-психологічна проблема. *Актуальні проблеми навчання та виховання людей з особливими потребами*, 2010. С. 349–359.
2. Ващенко І. В., Антонова О. Г. Конфлікт. Посттравматичний стрес: шляхи їх подолання, К. : Знання, 1998. 289 с.
3. Lazarus R., Folkman S. Stress, appraisal, and coping. New York: Springer Publishing, 1984. 460 p.
4. Russell D., Altmaier E., Van Velzen D. Job-Related Stress, Social Support, and Burnout Among Classroom Teachers. *Journal of Applied Psychology*, 1987. Vol. 72. P. 269–274.
5. Корольчук В.М. Чинники формування та розвитку стресостійкості особистості. *Проблеми загальної та педагогічної психології*, 2017. Т. XII. Ч. 7. С. 252–261.
6. Ліщинська О. А. Можливості психологічної допомоги жертвам деструктивних тоталітарних організацій. *Практична психологія та соціальна робота*, 2016. № 3. С. 1–4.
7. Цільмак О.М., Шустрова К. В. Плани практичних занять з навчальної дисципліни «Психологія управління»: методичні рекомендації. Одеса : НУ «ОЮА», 2020., 57 с.
8. Кісіль З. Р. Проблеми професійної деформації працівників органів внутрішніх справ: монографія. Львів : Львівський державний університет внутрішніх справ, 2008. 607 с.
9. Когут О. Детермінанти стресостійкості особистості. *Psychological Journal*, 2021. с. 120–128.

10. Осьодло В. І. Особистісні чинники подолання стресових ситуацій в особливих умовах. *Проблеми експериментальної та кризової психології*. 2013. Вип. 14. Частина 1. С. 46–49.

References

1. Lisitsyn V. D. Determinanty stresovykh staniv yak naukovo-psykholohichna problema [Determinants of stressful conditions as a scientific and psychological problem]. Aktual'ni problemy navchannya ta vykhovannya lyudey z osoblyvymu potrebamy, 2010. S. 349–359 [in Ukrainian].
2. Vashchenko I. V., Antonova O. H. Konflikt. Posttraumatychnyy stres: shlyakhy yikh podolannya [Conflict. Posttraumatic stress: ways to overcome it], K. : Znannya, 1998. 289 s. [in Ukrainian]
3. Lazarus R., Folkman S. Stress, appraisal, and coping. New York: Springer Publishing, 1984. 460 r.
4. Russell D., Altmaier E., Van Velzen D. Job-Related Stress, Social Support, and Burnout Among Classroom Teachers. *Journal of Applied Psychology*, 1987. Vol. 72. P. 269–274.
5. Korol'chuk V.M. Chynnyky formuvannya ta rozvytku stresostiykosti osobystosti [Factors of formation and development of stress resistance of the individual]. *Problemy zahal'noyi ta pedahohichnoyi psykholohiyi*, 2017. T. XII. CH. 7. S. 252–261.
6. Lishchyns'ka O. A. Mozhlyvosti psykholohichnoyi dopomohy zhertvam destruktyvnykh totalitarnykh orhanizatsiy [Possibilities of psychological assistance to victims of destructive totalitarian organizations]. *Praktychna psykholohiya ta sotsial'na robota*, 2016. № 3. S. 1–4 [in Ukrainian].
7. Tsil'mak O.M., Shustrova K. V. Plany praktychnykh zanyat' z navchal'noyi dystsypliny «Psykhohiya upravlinnya»: metodychni rekomendatsiyi [Plans of practical lessons in the educational discipline "Management Psychology": methodological recommendations]. Odesa : NU «OYUA», 2020., 57 s. [in Ukrainian].
8. Kisiľ Z. R. Problemy profesiynoi deformatsiyi pratsivnykiv orhaniv vnutrishnikh sprav: monohrafiya [Problems of professional deformation of employees of internal affairs bodies]. L'viv : L'vivs'kyy derzhavnyy universytet vnutrishnikh sprav, 2008. 607 s. [in Ukrainian]
9. Kohut O. Determinanty stresostiykosti osobystosti [Determinants of personality stress resistance]. *Psychological Journal*, 2021. s. 120–128 [in Ukrainian].
10. Os'odlo V. I. Osobystisni chynnyky podolannya stresovykh sytuatsiy v osoblyvykh umovakh Personal factors for overcoming stressful situations in special conditions. *Problemy eksperymental'noyi ta kryzovoyi psykholohiyi*. 2013. Vyp. 14. Chastyina 1. S. 46–49 [in Ukrainian].

СОЦІАЛЬНІ ТА ПОВЕДІНКОВІ НАУКИ

УДК 330.322

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2024.1.56>

Л. В. БОРОВІК

доктор економічних наук, доцент,
професор кафедри економіки, підприємництва та економічної безпеки
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-7200-0497

Т. Ю. ОСАДЧА

аспірант кафедри економіки, підприємництва та економічної безпеки
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0009-4772-443X

**ЗАЛУЧЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙ ЯК НАПРЯМ АКТИВІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ
ПІДПРИЄМНИЦТВА В УКРАЇНІ**

Інвестиційна привабливість країни є рушійною силою для залучення іноземних та вітчизняних інвесторів. Сприятливі умови інвестиційного клімату є запорукою економічного зростання держави. Безпосередньо інвестиції стануть панацеєю для відбудови повоєнного підприємництва в Україні. Дослідження стану капітальних інвестицій в Україні дає можливість побачити, які сфери є найбільш затребуваними в залученні інвестиційного капіталу. Метою статті є аналіз діючих підприємств в Україні, а також дослідження стану капітальних інвестицій за видами економічної діяльності підприємств на території країни для виявлення проблемних напрямів інвестування і можливості акцентування уваги на них. У статті проаналізовано динаміку та структуру діючих підприємств в Україні для розуміння стану сучасного підприємництва нашої держави. Також у статті проведено аналіз динаміки та структури капітальних інвестицій за видами економічної діяльності підприємств. Це дає змогу скоординувати основні напрями залучення інвестицій. Зазначено головні загальнодержавні проблеми, які блокують нарощування інвестиційної привабливості. Описано напрями підприємництва, які є найбільш затребуваними в інвестиціях. Перераховано недоінвестовані виробничі галузі України, а також вказано напрями, які є найбільш перспективними для інвестицій. Розглянуто національне законодавство стосовно державної підтримки інвестиційних проектів із значними інвестиціями в Україні, яка створить умови для залучення більшої кількості інвесторів. Закцентовано увагу на формах державної підтримки для інвесторів згідно з діючим законодавством. Особливу увагу приділено результатам впливу геополітичних, економічних, безпекових та соціальних факторів на стан інвестиційної привабливості країни. На основі проведеного дослідження запропоновано заходи, які потрібно вжити для створення позитивного інвестиційного іміджу та покращення загального інвестиційного клімату в державі.

Ключові слова: інвестиційний клімат, залучення інвестицій, інвестиційний імідж, діючі підприємства, інвестиційна привабливість, інвестиційний проект.

L. V. BOROVIK

Doctor of Economics, Associate Professor,
Professor at the Department of Economics,
Entrepreneurship and Economic Security
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-7200-0497

T. YU. OSADCHA

Postgraduate Student at the Department of Economics,
Entrepreneurship and Economic Security
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0009-4772-443X

**ATTRACTING INVESTMENT AS A WAY TO ENHANCE THE DEVELOPMENT
OF ENTREPRENEURSHIP IN UKRAINE**

The country's investment attractiveness is a driving force for attracting foreign and domestic investors. Favorable investment climate conditions are the key to the country's economic growth. Directly, investments will be a panacea for

rebuilding post-war entrepreneurship in Ukraine. A study of the state of capital investment in Ukraine makes it possible to see which areas are most in demand for attracting investment capital. The purpose of the article is to analyze operating enterprises in Ukraine, as well as to study the state of capital investment by type of economic activity of enterprises in the country in order to identify problem areas of investment and the possibility of focusing on them. The article analyzes the dynamics and structure of operating enterprises in Ukraine to understand the state of modern entrepreneurship in our country. The article also analyzes the dynamics and structure of capital investments by type of economic activity of enterprises. This makes it possible to coordinate the main directions of investment attraction. The main national problems that block the growth of investment attractiveness are identified. The areas of business that are most in demand for investment are described. The underinvested manufacturing industries of Ukraine are listed, and the areas that are most promising for investment are indicated. National legislation on state support for investment projects with significant investments in Ukraine is considered, which will create conditions for attracting more investors. Attention is focused on the forms of state support for investors under the current legislation. Particular attention is paid to the results of the impact of geopolitical, economic, security and social factors on the country's investment attractiveness. Based on the study, the author suggests measures to be taken to create a positive investment image and improve the overall investment climate in the country.

Key words: investment climate, investment attraction, investment image, existing enterprises, investment attractiveness, investment project.

Постановка проблеми

З початком повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України економіка нашої країни зазнала неабияких випробувань. Багато бізнес-компаній, виробництв, підприємств малого та середнього бізнесу було зруйновано частково, а то і повністю. Деякі підприємства втратили виробничі потужності, деякі – робочу силу, яка змушена була залишити місце роботи та проживання задля безпеки, а деякі підприємства ледь тримаються «на плаву», виробляючи мінімальний продукт чи послугу, щоб сплачувати заробітні плати працівникам, здійснювати податкові відрахування, поповнюючи бюджет країни.

Ключову роль в сучасних умовах діяльності підприємств відіграє фінансова підтримка із зовні, тобто отримання інвестицій у розвиток власного бізнесу. Від початку повномасштабної війни держава надає можливість отримання грантів для започаткування, відновлення або подальшого розвитку власної справи. Активно в цьому питанні українців підтримують і міжнародні фонди. Через можливість отримання фінансових інвестицій в Україні зможуть відбуватися позитивні зрушення як в розвитку підприємництва, так і в економіці загалом. Саме тому на сучасному етапі діяльності підприємств особливої актуальності набувають питання щодо створення сприятливого інвестиційного клімату задля підтримки та розвитку малого та середнього бізнесу в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання залучення інвестицій у розвиток підприємництва в Україні для забезпечення перспектив сталого розвитку в умовах нестабільності розкрито багатьма вченими як вітчизняними, так і зарубіжними.

Серед відомих українських учених-економістів, які займалися дослідженням проблематики залучення інвестицій можна виділити таких, як Т. Задніпряна, М. Бутко, Г. Вербицька, І. Гончарук, О. Гаврилюк, М. Козоріз, Т. Мацибора, та багато інших.

Щодо дослідження у напрямі залучення іноземних інвестицій у національну економіку можна побачити у працях таких зарубіжних вчених, як І. Бланк, С. Брігхем, Ф. Ванг, Д. те Вельде, В. Геєць, К. Джуд, С. Кірхнер, Дж. Лі, М. Маньковська, Н. Маргіта, В. Мікловда, В. Чей, Л. Федулова, Дж. Уолша та Ф. Хефнер.

Проте, незважаючи на багатогранність вже проведених наукових досліджень у сфері залучення інвестицій та створення відповідного інвестиційного клімату для розвитку підприємництва, це питання потребує постійного удосконалення та подальшого вивчення, враховуючи умови систематичної кризи та воєнних подій в Україні.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є характеристика сучасного інвестиційного середовища в країні та визначення ключових напрямів для залучення інвестицій як державних, так і іноземних.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сучасний стан українського підприємництва з оптимізмом тримається в межах своїх виробничих потужностей та сподівається на перемогу України, проте загальна статистика показує на погіршення умов для ведення бізнесу.

Повномасштабна війна несе негативний вплив на українську економіку у всіх вітки діяльності підприємництва без винятку. Постійні обстріли, нестача кваліфікованого персоналу, відсутність можливості вчасної підготовки та підвищення кваліфікації кадрів для ведення підприємницької діяльності, відсутність практичних навичок працівників у веденні бізнесу, проблеми з кредитуванням для ведення та розвитку власного бізнесу. Всі вище зазначені та багато інших проблем заважають нормальному функціонуванню підприємництву в Україні.

У таблиці 1 показано динаміку та структуру діючих підприємств в Україні за 2017–2022 роки.

Таблиця 1

Динаміка та структура діючих підприємств в Україні за 2017–2022 роки*

Показники	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік	Абс. відх. 2022/2017 роки
Великі підприємства							
одиниць	399	446	518	512	610	494	95
питома вага, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	-
Середні підприємства							
одиниць	14937	16057	17751	17602	17502	14783	-154
питома вага, %	4,4	4,5	4,7	4,7	4,7	5,6	-
Малі підприємства							
одиниць	322920	339374	362328	355708	352722	246647	-76273
питома вага, %	95,5	95,4	95,2	95,2	95,1	94,2	-
з них мікропідприємства							
одиниць	278102	292772	313380	307871	304650	206213	-71889
питома вага, %	82,2	82,3	82,3	82,4	82,2	78,7	-
Разом							
одиниць	338256	355877	380597	373822	370834	261924	-76332
питома вага, %	100	100	100	100	100	100	-

* Примітка. Складено авторами за даними джерел [1]

За даними таблиці 1 можна побачити, що найбільшу частку серед усіх діючих підприємств займають малі підприємства – 95%. Але серед малих підприємств виділяють таку складову, як мікропідприємства, які становлять 82% всіх діючих підприємств в Україні. Тобто мікропідприємства є вагомою складовою сучасного підприємництва в Україні. Середні підприємства займають 5% та найнижчу частку діючих підприємств в Україні становлять великі підприємства – 0,2% [2, с. 180].

Також за даними таблиці 1 спостерігаємо, що протягом 2017-2021 років кількість діючих підприємств в Україні мала тенденцію до зростання за всіма видами підприємств.

Проте, з початком повномасштабного вторгнення на території України економічна та безпекова ситуація значно погіршилася і вже у 2022 році порівняно з показником 2021 року кількість діючих підприємств значно скоротилася за всіма сегментами ринку.

Особливу увагу варто звернути на головні загальнодержавні проблеми, які блокують нарощування інвестиційної привабливості. До них відносяться [3] політична нестабільність та високий рівень інфляції; відсутність державних гарантій для інвесторів; та складне становище банківської системи; відсутність системного підходу до управління інвестиційною діяльністю на державному рівні та недостатньо сприятливий інвестиційний клімат в цілому.

За два роки війни загальна сума збитків становить більше 150 млрд. дол., з яких майже 60% займають збитки на житло та інфраструктуру [4]. Найбільш постраждалими галузями є промисловість, освіта, агропромисловий комплекс, енергетика тощо. Тому одним із пріоритетних завдань органів державної влади та органів місцевого самоврядування є залучення як вітчизняних, так і іноземних інвестицій в реальний сектор економіки. В контексті таких подій виникла необхідність у створенні умов для стимулювання покращення інвестиційного клімату в Україні та залучення великого приватного капіталу, як іноземного, так і вітчизняного. Тому Верховна Рада ухвалила закон «Про державну підтримку інвестиційних проектів із значними інвестиціями в Україні» [5]. Головною метою цього законопроекту є зниження порогу суми інвестиційного вкладу – з 20 млн. євро до 12 млн. євро. Така зміна мінімальної суми інвествкладу збільшує кількість потенційних інвесторів.

Діяльність цього законопроекту поширюється на інвестиційні проекти із значними інвестиціями. Тобто якщо відбулося підписання договору між інвестором та урядом України, то відповідні інвестори можуть отримувати значну державну підтримку у формі звільнення від сплати деяких податків та зборів та отримання компенсації частини витрат.

Далі пропонуємо у таблиці 2 розглянути динаміку та структуру капітальних інвестицій за видами економічної діяльності за 2017–2022 роки.

За даними таблиці 2 можна побачити, що за аналізовані роки динаміка капітальних інвестицій мала тенденцію то до зростання, то до скорочення, але порівнюючи саме порогові 2017 та 2022 роки, то можна побачити, що відбулося скорочення на 38801,5 млн. грн.

Таблиця 2

Динаміка та структура капітальних інвестицій за видами економічної діяльності за 2017–2022 роки*

Показники	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік	Абс. відх. 2022/2017 роки
Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство							
млн. грн.	64243,3	66104,1	59129,5	50679,7	69950,3	51439,5	-12803,8
пит. вага, %	14,3	11,4	9,5	10,0	10,4	12,6	-
Промисловість							
млн. грн.	143300,0	199896,0	254196,2	180537,4	242922,9	126112,6	-17187,4
пит. вага, %	32,0	34,5	40,7	35,5	36,0	30,8	-
Будівництво							
млн. грн.	52176,2	55993,9	62346,6	39614,9	55724,6	32627,6	-19548,6
пит. вага, %	11,6	9,7	10,0	7,8	8,3	8,0	-
Оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів							
млн. грн.	33664,8	51817,6	44173,7	41684,8	58785,1	36719,4	3054,6
пит. вага, %	7,5	9,0	7,1	8,2	8,7	9,0	-
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність							
млн. грн.	37943,5	50078,3	43792,8	34884,6	43944,6	49532,9	11589,4
пит. вага, %	8,5	8,7	7,0	6,9	6,5	12,1	-
Тимчасове розмішування й організація харчування							
млн. грн.	2133,5	2675,1	2832,2	1951,2	2690,2	2183,6	50,1
пит. вага, %	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	-
Інформація та телекомунікації							
млн. грн.	18395,2	29884,9	21063,4	22381,6	23858,6	16869,9	-1525,3
пит. вага, %	4,1	5,2	3,4	4,4	3,5	4,1	-
Фінансова та страхова діяльність							
млн. грн.	8055,3	10652,3	11246,3	11979,3	10100,5	8906,8	851,5
пит. вага, %	1,8	1,8	1,8	2,4	1,5	2,2	-
Операції з нерухомим майном							
млн. грн.	22505,6	27556,8	28147,2	19940,1	30668,7	14280,2	-8225,4
пит. вага, %	5,0	4,8	4,5	3,9	4,6	3,5	-
Професійна, наукова та технічна діяльність							
млн. грн.	7965,3	10798,2	11912,4	11823,6	17125,9	6012,6	-1952,7
пит. вага, %	1,8	1,9	1,9	2,3	2,5	1,5	-
Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування							
млн. грн.	12747,3	11837,8	11741,1	8623,8	13162,6	6587,0	-6160,3
пит. вага, %	2,8	2,0	1,9	1,7	2,0	1,6	-
Державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування							
млн. грн.	32843,9	44597,8	54305,5	62303,6	73982,9	36530,8	3686,9
пит. вага, %	7,3	7,7	8,7	12,3	11,0	8,9	-
Освіта							
млн. грн.	3492,5	4460,0	4788,7	3740,2	3866,5	2008,6	-1483,9
пит. вага, %	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	-
Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги							
млн. грн.	6708,3	8138,8	9484,6	14835,6	21779,2	17412,9	10704,6
пит. вага, %	1,5	1,4	1,5	2,9	3,2	4,3	-
Мистецтво, спорт, розваги та відпочинок							
млн. грн.	1649,2	3663,2	4146,2	2772,8	4423,1	2152,6	503,4
пит. вага, %	0,4	0,6	0,7	0,5	0,7	0,5	-
Надання інших видів послуг							
млн. грн.	637,6	571,6	672,5	463,8	913,6	283,0	-354,6
пит. вага, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-
Разом							
млн. грн.	448461,5	578726,4	623978,9	508217,0	673899,3	409660,0	-38801,5
пит. вага, %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-

* Примітка. Складено авторами за даними джерел [1]

Якщо брати конкретно по кожному виду економічної діяльності, то скорочення надання капітальних інвестицій відбулося за такими напрямками, як: будівництво – на 19548,6 млн. грн.; промисловість – на 17187,4 млн. грн.;

сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство – на 12803,8 млн. грн.; операції з нерухомим майном – на 8225,4 млн. грн.; діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування – на 6160,3 млн. грн.; професійна, наукова та технічна діяльність – на 1952,7 млн. грн.; інформація та телекомунікації – на 1525,3 млн. грн.; освіта – на 1483,9 млн. грн.; надання інших послуг – на 354,6 млн. грн.

Проте за деякими видами економічної діяльності капітальні інвестиції все ж таки збільшувалися протягом аналізованого періоду: транспорт, складське господарство, пошта та кур'єрська діяльність – на 11589,4 млн. грн.; охорона здоров'я та надання соціальної допомоги – на 10704,6 млн. грн.; державне управління й оборона, обов'язкове соціальне страхування – на 3686,9 млн. грн.; оптова та роздрібна торгівля, ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів – на 3054,6 млн. грн.; фінансова та страхова діяльність – на 851,5 млн. грн.; мистецтво, спорт розваги та відпочинок – на 503,4 млн. грн.; тимчасове розміщування й організація харчування – на 50,1 млн. грн.

Найбільшу питому вагу серед капітальних інвестицій займають такі види економічної діяльності, як промисловість – приблизно 40%, сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство – приблизно 14%, будівництво – приблизно 11%.

За статистичними даними в Україні є значно недоінвестовані виробничі галузі, такі як переробна промисловість, поведження з відходами, транспорт та сільське господарство. А так як на території України можна побачити масштабні руйнування від війни, то особливої уваги потребують інвестиції у сферу переробки будівельного сміття. Тому такі прямі іноземні інвестиції стануть в нагоді покращити цю ситуацію, адже це запровадження і найсучасніших технологій, і розробка нових сучасних ліній виробництва, а головне – це внесення в українське виробництво нових можливостей та напрямів діяльності. В результаті таких робіт будуть виготовлятися складні та дорогі продукти [4].

Відповідно до вищезазначеного закону варто звернути увагу інвесторів і на невиробничі сектори, такі як освіта, наука, охорона здоров'я, спорт, туризм, логістика, культура, мистецтво, курортно-рекреаційна сфера та IT-індустрія. Завдяки інвестиціям велика кількість галузей в Україні зможуть швидше розвиватися та будуть більш продуктивніші.

Залучені іноземні інвестиції закладуть початок виробничої модернізації в технічній та технологічній базах, вся інфраструктура отримає можливість бути оновленою шляхом упровадження нових технологій, які вже давно використовуються на підприємствах Європейського Союзу.

Висновки

За результатами проведеного дослідження зазначимо, що створення сприятливого інвестиційного клімату напряму залежить від загальної ситуації в країні, як економічної, так і геополітичної. Стабільність економічної, законодавчої та політичної складових стають тими головними генераторами, які сприяють залученню іноземних та вітчизняних інвестицій. Забезпечення високого рівня конкурентоспроможності вітчизняної економіки можливе за рахунок вчасного оновлення і вдосконалення виробничо-технічної бази, підвищення кваліфікації фахівців, впровадження сучасних технологій виробництва, актуальних систем менеджменту, новітніх систем управління якістю, а також підвищення експортного потенціалу.

Також серед найбільш доцільних заходів, які варто вжити для покращення загального інвестиційного клімату в країні можна виділити наступні: створення належних умов для інвестування; усунення адміністративних перешкод в діяльності інвесторів; створення нових дієвих важелів підтримки діяльності вже залучених інвесторів, що слугуватиме доброю передумовою для залучення потенційних інвесторів; поліпшення інвестиційного іміджу зацікавлених підприємств та їх популяризація серед потенційних інвесторів, як вітчизняних, так і зарубіжних; проведення більш детального вивчення та аналізу пропонованих інвестиційних проектів; впровадження зарубіжного досвіду ефективних програм по залученню інвесторів.

Тому на даному етапі розвитку підприємництва в Україні першочерговою задачею є об'єднання всіх сил і можливостей для досягнення перемоги та забезпечення економічного відновлення України після війни. Адже територія нашої держави та її потенціал генерують нові можливості, які сприятимуть проникненню іноземного капіталу та інтелектуальної власності в підприємництво для відродження зруйнованого промислового сектору, зниження безробіття та створення технологічно розвиненої країни.

Список використаної літератури

1. Показники діяльності великих, середніх, малих та мікропідприємств. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/size_20.htm (дата звернення: 11.02.2024).
2. Боровік Л.В., Осадча Т.Ю. Підприємництво як основа стабілізації економіки у повоєнний час : монографія. Херсон : Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2023. С. 176–188.
3. Чапляк Н.І. Інвестиційна привабливість України: проблеми та шляхи вирішення в сучасних реаліях. URL: <https://dspace.lvduvs.edu.ua/handle/1234567890/4991> (дата звернення: 11.02.2024).
4. Які сфери в Україні найбільш привабливі для інвестування та що робить держава для залучення інвесторів? URL: <https://dia.dp.gov.ua/yaki-sferi-v-ukra%D1%97ni-najbilsh-privablivi-dlya-investuvannya-ta-shho-robot-derzhava-dlya-zaluchennya-investoriv/> (дата звернення: 11.02.2024).

5. Про державну підтримку інвестиційних проектів із значними інвестиціями в Україні : Закон України від 17.12.2020 р. № 1116-IX. Дата оновлення: 17.09.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1116-20#Text> (дата звернення: 11.02.2024).

References

1. Pokaznyky diialnosti velykykh, serednikh, malykh ta mikropidpriemstv. Available at: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze_20.htm (accessed 11.02.2024).

2. Borovik L.V., Osadcha T.Y. Pidpryyemnytstvo yak osnova stabilizatsiyi ekonomiky u povoyenny chas : monohrafiia [Entrepreneurship as a basis for economic stabilization in the postwar period : monograph]. Kherson : Knyzhkove vydavnytstvo FOP Vyshemyrsky V. S., 2023. С. 176–188. [in Ukrainian].

3. Chapliak N. Investytsiy na pryvablyvist Ukrainy: problemy ta shlyakhy vyrishennya v suchasnykh realiyakh [Investment attractiveness of Ukraine: problems and solutions in modern realities]. Available at: <https://dspace.lvduvs.edu.ua/handle/1234567890/4991> (accessed 11.02.2024).

4. Yaki sfery v Ukraini naybilsh pryvablyvi dlya investuvannya ta shcho robyt derzhava dlya zaluchennya investoriv? [Which areas in Ukraine are most attractive for investment and what is the government doing to attract investors?]. Available at: <https://dia.dp.gov.ua/yaki-sferi-v-ukra%D1%97ni-najbilsh-privabliivi-dlya-investuvannya-ta-shho-robit-derzhava-dlya-zaluchennya-investoriv/> (accessed 11.02.2024).

5. Pro derzhavnu pidtrymku investytsiynykh proektiv iz znachnymy investytsiyamy v Ukraini : Zakon Ukrainy vid 17.12.2020 r. # 1116-IX. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1116-20#Text> (accessed 11.02.2024).

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 obruntuvannia mozhlyvostei obrobky ploskykh poverkhon detalei tortsevym lezovym instrumentom, osnashchenym nadtverdymy materialamy, zamist shlifuvannia. [Theoretical and technological substantiation of the possibilities of processing flat surfaces of parts with an end blade tool equipped with ultra-hard materials, instead of grinding]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky, no. 3, pp. 164-172.

НОТАТКИ

ВІСНИК

Херсонського національного технічного університету

Відповідальний за випуск	головний редактор Литвиненко В.І. д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук, заслужений діяч науки і техніки України
Комп'ютерна верстка	Михальченко М.С.
Відповідальний секретар	Лур'є І.А. к.т.н., доцент, начальник навчально-методичного відділу, доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук

Підписано до друку 27.03.2024.

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman. Папір офсет. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 47,89. Замов. № 0424/242. 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.