ISSN 2078-4481

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

2(85)

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 11 від 11 липня 2023 року)

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

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

Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Редакційна колегія

Головний редактор
Литвиненко В.І.
д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук,
заслужений діяч науки і техніки України

Заступник головного редактора
Сарібєкова Ю.Г.
д.т.н., професор, головний науковий співробітник науково-дослідного сектору

Відповідальний секретар
Вольвач І.Ю.
к.е.н., доцент, відділ з навчально-наукової роботи і міжнародної діяльності

Члени редакційної колегії

Баганов Є.О.	к.т.н., доцент
Березовський Ю.В.	д.е.н., доцент
Гончар О.І.	д.е.н., професор
Горбачов П.Ф.	д.т.н., професор
Джерелюк Ю.О.	д.е.н., професор
Дімітрова В.Я. (Болгарія)	д.н., доцент
Дурман М.О.	д.держ.упр., доцент
Дурман О.Л.	к.держ.упр., доцент
Жарікова М.В.	д.т.н., професор
Закора О.В.	к.т.н., доцент
Корчевська Л.О.	д.е.н., професор
Куник О.М.	к.т.н.
Лопушинський І.П.	д.держ.упр., професор
Луб'яний П.В.	к.т.н., доцент
Наумов О.Б.	д.е.н., професор
Рудакова Г.В.	д.т.н., професор
Русанов С.А.	к.т.н., доцент
Савін С.Ю.	д.е.н., професор
Семешко О.Я.	д.т.н.
Сідельникова Л.П.	д.е.н., професор
Smolarz A. (Польща)	dr.hab.inz.
Толуб'як В.С.	д.держ.упр., доцент
Тюхтенко Н.А.	д.е.н., професор
Філіппова В.Д.	д.держ.упр., доцент
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
Шерстюк В.Г.	д.т.н., професор

ISSN 2078-4481

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
KHERSON NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

VISNYK

OF KHERSON NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

2(85)

Recommended for publication by the Academic Council
of Kherson National Technical University
(Minutes № 11 on 11th July 2023)

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

Publishing House
“Helvetica”
2023

Editorial Board

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

Deputy Editor-in-Chief
Saribekova Yu.G.
Doctor of Engineering Science, Professor, Chief research officer of the research sector

Executive Secretary
Volvach I.Yu.
Ph.D., Associate Professor, Department Academic Research and international activities

Members of Editorial Board

Baganov Ye.O.	Ph.D., Associate Professor
Berezovsky Yu.V.	Doctor of Engineering Science, Associate Professor
Chepelyuk O.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Dimitrova V.Ya. (Bulgaria)	Ph.D., Associate Professor
Durman M.O.	Doctor of Science in Public Administration, Associate Professor
Durman O.L.	Ph.D., Associate Professor
Dzhereliuk Yu.A.	Doctor of Economics, Professor
Gonchar O.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Horbachov P.F.	Doctor of Economics, Professor
Khrushch N.A.	Doctor of Economics, Professor
Korchevska L.A.	Doctor of Economics, Professor
Kunik O.N.	Ph.D.
Lopushinskiy I.P.	Doctor of Science in Public Administration, Professor
Lubyany P.V.	Ph.D., Associate Professor
Naumov O.B.	Doctor of Economics, Professor
Rudakova H.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rusanov S.A.	Ph.D., Associate Professor
Savin S.Yu.	Doctor of Economics, Professor
Semeshko O.Ya.	Doctor of Engineering Science
Shandova N.V.	Doctor of Economics, Professor
Sharko M.V.	Doctor of Economics, Professor
Sharko O.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Sherstyuk V.G.	Doctor of Engineering Science, Professor
Sidelnykova L.P.	Doctor of Economics, Professor
Smolarz A. (Poland)	Ph.D., Associate Professor
Tolubyak V.S.	Doctor of Science in Public Administration, Associate Professor
Tyukhtenko N.A.	Doctor of Economics, Professor
Filippova V.D.	Doctor of Science in Public Administration, Associate Professor
Zakora O.V.	Ph.D., Associate Professor
Zharikova M.V.	Doctor of Engineering Science, Professor

ЗМІСТ

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

В. О. Брунеткін, В. О. Давидов, О. С. Тарахтій. Дослідження термохімічної конверсії органічних речовин з використанням рівноважної моделі……9
О. В. Зур'ян. Врахування динаміки змін температури підземних вод на ділянках берегових водозаборів гідротермальних теплонасосних систем……20
Д. М. Квашук, О. Є. Ліпков. Метод автоматичної корекції систематичних похибок перетворювачів напруги……29
В. О. Кондратець, А. М. Мацуй, О. М. Сербул, Р. В. Тихий. Покращення характеристик кульового млина як керованого об'єкта в процесі рудопідготовки……37
П. В. Луб'яний, О. А. Войтович, І. О. Кузьменко. Розбудова національних внутрішніх водних шляхів……44
С. О. Лузан, П. А. Ситников. Структура та властивості плазмових покриттів, напилених композиційним матеріалом, одержаним з використанням СВС-процесу……49
О. М. Мельник. Управління подіями та інцидентами в практиці безпеко-орієнтованої експлуатації судна……58
А. В. Несвідомін, С. Ф. Пилипака. Формоутворення сферичних епіциклоїд при обкочуванні рухомого конуса по нерухомому……65
І. С. Погребова, К. В. Янцевич. Корозійна стійкість хромосиліцидних покриттів на сталі 45 у різних агресивних середовищах……71
М. П. Рудь, І. А. Шльончак. Оцінювання пропускної здатності перехрестя в умовах надзвичайних ситуацій методом транспортного моделювання……76
В. П. Славич, В. В. Єльник. Оптимізація процесу доставки вантажу газопостачального підприємства……84
В. А. Титов, І. А. Сєліверстов, С. І. Гудзенко, С. А. Русанов, Д. О. Дмитрієв. Моделювання та виготовлення трубчастих виробів з внутрішнім профілем гвинтової геометрії пластичним деформуванням……90
К. Є. Хавікова, А. В. Іванченко. Впровадження технології геотекстильних контейнерів *Geotube* на коксохімічних підприємствах……99
О. Е. Чигиринець, А. С. Мельник. Дослідження фотостабільності інкапсульованих в галлуазиті α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину……106

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Г. А. Євенко, О. М. Куник, Т. А. Юрова. Застосування принципів НАССР при виробництві сирів типу фета методом ультрафільтрації……112
С. В. Писаренко, О. Е. Чигиринець. Фотокаталітична активність калій титанату щодо барвників метиленового синього та конго червоного……121

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

T. P. Bilousova. Simulation modeling of market equilibrium……127
Н. І. Бойко, В. Ю. Михайлишин. Алгоритм класифікації текстового контенту соціальних мереж для визначення емоційного тону……133
Д. О. Крищенко, О. М. Ромащук. Сценарне керування складними технологічними комплексами……141
О. О. Кубайчук. Огляд застосування метаевристичного підходу в криптоаналізі……147
Г. В. Кулінченко, П. В. Леонтьєв, А. В. Савенко, О. В. Левковський. Моделювання алгоритмів керування позиціонуванням платформи будівельного принтера……154
O. V. Larchenko. The efficiency analysis of the mathematical modeling methods application in the economy……163
П. П. Лобода, І. С. Старовіт. Моделювання та управління процесами нового безпечного конфайнменту ЧАЕС на основі технології цифрових двійників……168
О. М. Ляшенко, А. В. Чижова, Д. Л. Кирийчук. Проєктування та розроблення програмної системи для центру вивчення іноземних мов на базі Java-технологій……174

Д. К. Марчук, М. С. Граф. Методи оцінки ефективності моделей виявлення об'єктів у комп'ютерному зорі……181
L. M. Oleshchenko, M. O. Ilin. Software analysis of radiation air pollution streaming data……187
O. V. Olhovska, O. O. Chernenko, I. V. Ananenko, T. O. Parfonova, N. S. Rudenko. Development of a training simulator for system analysis in the form of a chat-bot……196
В. М. Пахомова, О. О. Сухомлин. Дослідження самоорганізуючої карти кохонена щодо виявлення мережевих атак категорії R2L……203
В. В. Різник, О. Б. Білик, О. М. Дем'янів, С. С. Івасів. Перспективи застосування оптимальних векторних кодів для опрацювання масивів даних……210

УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

Я. І. Мандрик. Аналіз дослідження робіт науковців української діаспори та іноземних авторів щодо політики радянської держави у сфері підготовки кадрів управлінців для українського села наприкінці 1920–1930-х років……216
А. Д. Петрашевська, С. М. Колонтай, В. В. Кульбаба. Характеристика видів лізингу, їх переваги та недоліки……221
О. А. Сарапіна, Н. Я. Стефанович, Т. А. Пінчук, Т. В. Шрам. Аналіз діяльності комунальних підприємств та підходи до їх класифікації……228
І. В. Станкевич, Г. О. Сакун, О. В. Сакун. Соціально-економічний феномен «великих даних» в стратегії цифрового маркетингу……235

ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

В. М. Демченко, Н. М. Ковальська. Комунікативне середовище як мовно-психологічне явище……240
П. П. Кононенко. Модифікації виборчих систем: порівняльний аналіз……248
І. В. Лазебна, І. П. Динник. Служба в органах місцевого самоврядування: українські реалії та зарубіжний досвід……254
Н. О. Серьогіна. Проблемні аспекти зайнятості в сфері медицини як необхідна передумова забезпечення безпеки держави……260
В. С. Хмелюк. Навчально-наукове партнерство з міжнародними організаціями в умовах міграційної політики України……266
Є. І. Калінін, В. М. Колодненко. Ідентифікація динамічних параметрів спеціалізованого автомобіля при нерівномірному навантаженні його кузова……271

CONTENTS

ENGINEERING SCIENCES

V. O. Brunetkin, V. O. Davydov, O. S. Tarakhtij. Study of thermochemical conversion of organic substances using an equilibrium model 9
O. V. Zurian. Taking into account the dynamics of groundwater temperature changes at areas of coastal water intakes of hydrothermal heat pump systems 20
D. M. Kvashuk, O. Ye. Lipkov. A new method of automatic correction of systematic errors of voltage converters 29
V. O. Kondratets, A. M. Matsui, O. M. Serbul, R. V. Tikhyi. Improving the performance of the ball mill as a controlled object in the ore dressing process 37
P. V. Lubyany, O. A. Voitovych, I. O. Kuzmenko. Development of national inland waterways 44
S. O. Luzan, P. A. Sytnykov. Structure and properties of plasma coatings when sputtered with a composite material obtained using the SHS process 49
O. M. Melnyk. Event and incident management in the practice of safe ship operation 58
A. V. Nesvidomin, S. F. Pylypaka. The formation of spherical epicycloids when the moving cone is rolled on a non-moving cone 65
I. S. Pogrebova, C. V. Iantsevitch. Corrosion resistance of chromosilicide coatings on steel 45 in different aggressive environments 71
M. P. Rud, I. A. Shlonchak. Assessment of intersection capacity under emergency situations using the transport modeling method 76
V. P. Slavych, V. V. Elnyk. Optimization of the cargo delivery process of the gas supply enterprise 84
V. A. Titov, I. A. Seliverstov, S. I. Hudzenko, S. A. Rusanov, D. O. Dmitriev. Modeling and manufacturing of tubular products with the internal profile of helical geometry by plastic deformation 90
K. Ye. Khavikova, A. V. Ivanchenko. Implementation of *Geotube* geotextile container technology at cox-chemical enterprises 99
O. E. Chyhyrynets, A. S. Melnyk. Study of the photostability of α-lipoic acid and moxifloxacin encapsulated in halloysite 106

THE TECHNOLOGY OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY

H. A. Yevenko, O. M. Kunyk, T. A. Yurova. Use of principles of HACCP for manufacture of feta-type cheese by ultrafiltration metod 112
S. V. Pysarenko, O. E. Chyhyrynets. Photocatalytic activity of potassium titanate regarding to methylene blue and congo red dyes 121

INFORMATION TECHNOLOGIES

T. P. Bilousova. Simulation modeling of market equilibrium 127
N. I. Boyko, V. Yu. Mykhailyshyn. Algorithm for classification of text content of social networks for determining emotional tone 133
D. O. Kryshchenko, O. M. Romashchuk. Scenario management of complex technological complexes 141
O. O. Kubaychuk. Review of the applications of metaheuristic approach in cryptanalysis 147
H. V. Kulinchenko, P. V. Leontiev, A. V. Savenko, O. V. Levkovskyi. Modeling of control algorithms positioning of the construction printer platform 154
O. V. Larchenko. The efficiency analysis of the mathematical modeling methods application in the economy 163
P. P. Loboda, I. S. Starovit. Simulation and management of processes of the new safe confinement of CHNPP based on the technology of digital twins 168
O. M. Liashenko, A. V. Chyzhova, D. L. Kyryichuk. Designing and developing a software for the center for learning foreign languages based on Java-technologies 174

D. K. Marchuk, M. S. Graf. Methods for evaluating the effectiveness of object detection models in computer vision……181
L. M. Oleshchenko, M. O. Ilin. Software analysis of radiation air pollution streaming data……187
O. V. Olhovska, O. O. Chernenko, I. V. Ananenko, T. O. Parfonova, N. S. Rudenko. Development of a training simulator for system analysis in the form of a chat-bot……196
V. M. Pakhomova, O. O. Sukhomlyn. Investigation of self-organizing kohonen map to detect network attacks of R2L category……203
V. V. Riznyk, O. B. Bilyk, O. M. Demianiv, S. S. Ivasiv. Prospects for the use of optimal vector codes for data processing……210

MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

Ya. I. Mandryk. Research analysis of the works of scientists of the Ukrainian diaspora and foreign authors regarding the policy of the soviet state in the field of training managers for the Ukrainian village in the late 1920–1930s……216
A. D. Petrashevska, S. M. Kolontai, V. V. Kulbaba. Characteristics of leasing types, their advantages and disadvantages……221
O. A. Sarapina, N. Ya. Stefanovych, T. A. Pinchuk, T. V. Shram. Analysis of the activities of utility enterprises and approaches to their classification……228
I. V. Stankevych, H. O. Sakun, O. V. Sakun. Socio-economic phenomenon of "big data" in digital marketing strategy……235

PUBLIC MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

V. M. Demchenko, N. M. Koval'ska. Communicative environment as a linguistic and psychological phenomenon……240
P. P. Kononenko. Modifications of electoral systems: comparative analysis……248
I. V. Lazebna, I. P. Dynnyk. Service in local self-government: Ukrainian realities and foreign experience……254
N. O. Serohina. Problematic aspects of employment in the field of medicine as a necessary prerequisite for ensuring state security……260
V. S. Khmelyuk. Educational and scientific partnership with international organizations in the conditions of migration policy of Ukraine……266
E. I. Kalinin, V. M. Kolodnenko. Identification of the dynamic parameters of a specialized vehicle under uneven loading of its body……271

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 541.11 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.1

В. О. БРУНЕТКІН
аспірант кафедри програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0000-0002-4266-4353

В. О. ДАВИДОВ
кандидат технічних наук,
доцент кафедри програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0000-0003-3099-7596

О. С. ТАРАХТІЙ
кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри програмних
і комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0000-0002-4266-3481

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОХІМІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ РІВНОВАЖНОЇ МОДЕЛІ

Розглянуто процеси термічної конверсії деревини в комбінованому шаровому газогенераторі. Виділено процеси газогенерації та піролізу. Загальноприйнятий підхід передбачає опис таких процесів за допомогою різних моделей. Зазначені процеси не мають різких меж і при зміні зовнішніх впливів можуть плавно переходити один в інший. Виникає проблема опису процесу на такій межі. Різні моделі на межі переходу одного процесу в інший можуть визначати різні склади продуктів реакції за однакових параметрів процесу.

Запропоновано модель на базі рівноважних хімічних реакцій, що однаково описує процеси піролізу та газифікації. Для демонстрації її можливостей при мінімізації обчислювальних витрат розглянуто тільки випадок кисневого дуття при використанні деревини різної вологості. Запропонована модель дає змогу врахувати як утворення газоподібної фази продуктів термодеструкції вихідної сировини, так і конденсовану фазу у вигляді вуглистого залишку (деревного вугілля).

Отримані результати розрахунків порівняно з експериментальними даними різних авторів. Однією з особливостей наведених у літературі експериментальних даних є широкий розкид їхніх значень для одних і тих самих вихідних умов. Пропонована модель дає змогу побудувати платформу для однакового їх пояснення.

Збільшення в моделі переліку можливих хімічних реакцій дасть змогу в рамках єдиного підходу досліджувати процеси горіння, піролізу та газифікації. Можливість врахування наявності в продуктах реакції конденсованої фази та розширення моделі дасть змогу: досліджувати процес термічної деструкції різноманітних органічних речовин, зокрема побутових відходів, використовувати різні окислювальні агенти, враховувати різний спосіб внесення додаткової зовнішньої енергії. Наслідком розширення моделі буде збільшення кількості рівнянь у системі алгебраїчних нелінійних рівнянь і, відповідно, деяке ускладнення її розв'язання.

Ключові слова: *термохімічна конверсія, органічна речовина, рівноважна модель, кисневе дуття, комбінований газогенератор.*

V. O. BRUNETKIN
Postgraduate Student at the Department of Software
and Computer-Integrated Technologies
National University "Odesa Polytechnic"
ORCID: 0000-0002-4266-4353

V. O. DAVYDOV
Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor at the Department of Software
and Computer-Integrated Technologies
National University "Odesa Polytechnic"
ORCID: 0000-0003-3099-7596

O. S. TARAKHTIJ
Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Software
and Computer-Integrated Technologies
National University "Odesa Polytechnic"
ORCID: 0000-0002-4266-3481

STUDY OF THERMOCHEMICAL CONVERSION OF ORGANIC SUBSTANCES USING AN EQUILIBRIUM MODEL

The processes of thermal conversion of wood in a combined layer gas generator are considered. The processes of gas generation and pyrolysis are distinguished. The generally accepted approach provides the description of such processes by means of different models. The mentioned processes do not have sharp boundaries and when external influences change can smoothly change one into the other. The problem arises of describing the process at such an interface. Different models at the transition boundary of one process may define different compositions of reaction products for the same process parameters.

A model based on equilibrium chemical reactions uniformly describing pyrolysis and gasification processes is proposed. To demonstrate its capabilities while minimizing computational costs, only the case of oxygen blowing with wood of different moisture content is considered. The proposed model allows taking into account both the formation of the gaseous phase of the thermodestruction products of the feedstock and the condensed phase in the form of a charcoal residue (charcoal).

The calculation results are compared with the experimental data of various authors. One of the peculiarities of the experimental data given in the literature is the wide scatter of their values for the same initial conditions. The proposed model allows us to build a platform for their uniform explanation.

Increasing the list of possible chemical reactions in the model will make it possible to study combustion, pyrolysis and gasification processes under a unified approach. The possibility of taking into account the presence of a condensed phase in reaction products and the expansion of the model will make it possible to: investigate the process of thermal degradation of various organic substances, including household waste, use different oxidizing agents, take into account different ways of introducing additional external energy. The consequence of extending the model will be an increase in the number of equations in the system of algebraic non-linear equations and, consequently, some complication of its solution.

Key words: *thermochemical conversion, organic matter, equilibrium model, oxygen blowing, combined gas generator.*

Постановка проблеми

Посилення інтересу до пристроїв газифікації твердих органічних речовин (газогенераторів) з отриманням на виході суміші горючих газів спричинене поєднанням різних причин. Наприклад:

– у багатьох випадках вихідною сировиною для них слугують різного роду відходи: деревообробної промисловості, відходи сільського господарства, побутові відходи. Вони мають низьку або, навіть, негативну вартість. У звичайних умовах на їхню утилізацію необхідно витрачати певну кількість коштів. Використання відходів як вихідної сировини для газогенераторів (ГГ) впливає на зниження вартості кінцевого продукту – суміші горючих газів. Вони можуть виступати в якості конкурента природному газу в енергетичній галузі та у сфері хімічного синтезу;

– вуглекислий газ і метан належать до парникових газів, якщо вони утворилися під час використання викопного палива. Вуглекислий газ, що утворюється під час використання генераторного газу, до парникових не належить. Таким чином, використання ГГ газу, отриманого з різного виду відходів, відповідає "зеленому" порядку денному розвитку енергетики;

– за допомогою газифікації в широкий енергетичний обіг можуть бути залучені низькокалорійні органічні речовини – торф, горючі сланці тощо.

Різноманіття схем наявних ГГ свідчить про наявність суттєвих недоліків у кожній з них, про відсутність оптимальної конструкції навіть в окремому їхньому класі. На тлі зростаючого інтересу до використання ГГ видається актуальним розроблення схеми комбінованого ГГ, що інтегрує переваги і нівелює недоліки хоча б деяких видів газогенераторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Можна виділити дві групи процесів газифікації органічних речовин:

– газифікація в псевдозрідженому або киплячому шарі;

– газифікація в щільному шарі.

Пристрої, що реалізують процеси першої групи [1], мають підвищену потужність, що перевершує на порядок і більше потужність пристроїв другої групи. Але вони мають і низку недоліків. Горючі гази, отримані за такою технологією, містять велику кількість смол, зольних залишків і потребують очищення. Пред'являються підвищені вимоги до підготовки вихідної сировини (однорідний розмір шматків, знижена вологість). Неможливість роботи

на знижених потужностях через необхідність забезпечення дуття певного обсягу для створення киплячого шару. Конструкція таких пристроїв, порівняно з газифікацією в щільному шарі, складна і вимагає обслуговуючого персоналу високої кваліфікації. Існують і логістичні проблеми. Пристрої тепловою потужністю 100 МВт і більше потребують підвезення великої кількості сировини. Важко, затратно зібрати і підвезти, наприклад, сільськогосподарські відходи для забезпечення роботи пристроїв такої потужності.

Пристрої, що реалізують процеси другої групи, мають обмеження за тепловою потужністю 3–5 МВт. Цього достатньо для забезпечення роботи багатьох виробничих процесів. При їх використанні знімаються логістичні проблеми. Крім того, пристрої для газифікації в щільному шарі історично з'явилися першими і є найпростішими у влаштуванні та експлуатації. Але й вони мають недоліки. У ГГ термічна конверсія органічних речовин здійснюється в результаті протікання трьох процесів: піролізу, газифікації та горіння. Схеми процесів, що реалізуються в ГГ, які працюють безперервно, різняться відносним напрямком руху вихідної сировини, продуктів реакції та послідовністю виконання процесів термічної конверсії. Одним із таких пристроїв є ГГ прямої дії. Вони прості й надійні в роботі, малочутливі до зміни навантаження, дають змогу використовувати сировину високої вологості (до 60%). Ці властивості зумовлюють спроби використання таких ГГ і нині [2]. Але в таких генераторах є суттєвий недолік, зумовлений зустрічним напрямком руху вихідної сировини (зверху вниз) і продуктів газогенерації (знизу вгору). Вони містять велику кількість смол, що виникають у процесі піролізу вихідної сировини на кінцевих ділянках руху продуктів реакції (у верхній частині ГГ, на початковій ділянці руху вихідної сировини). Внаслідок цього отримані горючі гази не підлягають транспортуванню і можуть використовуватися тільки в топках у безпосередній близькості від місця виробництва або потребують істотних витрат для їх очищення.

Ще одним пристроєм, що реалізує процеси другої групи, є обернений ГГ [3]. У цьому пристрої протікають ті самі процеси, що й у ГГ прямої дії, але в іншому порядку. Початкова сировина так само подається зверху і рухається вниз під дією сили тяжіння. У цьому ж напрямку рухаються і газоподібні продукти реакції. У верхній частині відбувається піроліз з утворенням, зокрема, великої кількості смол. Далі продукти реакції надходять у зони з високими температурами – горіння і відновлення. У них смоли згорають або розкладаються до простих сполук. У результаті вміст смол у кінцевих продуктах газифікації в десятки і сотні разів менший, ніж після ГГ прямої дії. Для очищення від залишків смол потрібні пристрої мінімального розміру або взагалі можуть бути відсутніми. У результаті діапазон застосування одержуваних горючих газів ширший порівняно з ГГ прямої дії. Але існує і низка недоліків, властивих ГГ цього типу. Так, конструкція їх складніша порівняно з ГГ прямої дії. Більш високі вимоги до якості вихідної сировини. Її вологість не повинна перевищувати 25% порівняно з 60% для ГГ прямої дії. Вони чутливі до зміни навантаження. Їх ККД нижчий, ніж у ГГ прямої дії.

У рамках спроби поєднати переваги ГГ прямої дії та оберненого ГГ було запропоновано ГГ поперечного процесу [3]. Головна його перевага – можливість працювати за малих потужностях. Недоліки – низька ефективність і високий вміст смол у газі. Саме тому такі апарати не набули широкого поширення.

Підсумовуючи всі переваги описаних схем і враховуючи їхні недоліки, у Фінляндії було запропоновано технологію газифікації "ENTIMOS" [4]. Відповідно до неї газифікацію проводять у ГГ прямої дії, але горючі гази відбирають у двох місцях: після області горіння і газифікації (до зони піролізу) з мінімальною кількістю смол і у верхній частині ГГ після області піролізу. Такий підхід дає змогу отримати частину горючих газів із мінімальною кількістю смол, але не дає змоги маневрувати об'ємом горючих газів, використовуваних у різних умовах. Крім того, зміна складу вихідної сировини може змістити межу відбору різних фракцій горючих газів і, відповідно, змінити їхній склад.

Підхід, аналогічний технології "ENTIMOS" реалізується і в разі газифікації в киплячому шарі в рамках технології двоступеневої газифікації. Подібна технологія реалізована, наприклад, у ГГ "SilvaGas" [5]. У [6] описується двоступеневий ГГ у пиловому потоці за технологією фірми "Choren". Не усуваючи всіх недоліків газифікації в киплячому шарі, такий підхід демонструє прагнення розділити в просторі зони піролізу і горіння.

У [7] запропоновано схему комбінованого ГГ. У ньому інтегруються переваги ГГ у щільному шарі прямої дії. Передбачається можливість регулювання продуктивності в широкому діапазоні, використання сировини високої вологості, мінімальні вимоги до фракційної підготовки сировини. Як і в оберненому ГГ реалізується можливість отримання продукт-газу з низьким вмістом смол. Аналогічно технології ГГ "SilvaGas" реалізується технологія двоступеневої газифікації. Організовано поділ у просторі зони піролізу та горіння. Передбачається можливість рекуперації з поверненням у зону реакції енергії продукт-газу у формі тепла. Але описана в [7] технологія представлена тільки у вигляді принципової схеми.

У рамках проведеного аналізу видається перспективним застосування технології, описаної в [7]. Для цього необхідне розроблення методів розрахунку параметрів процесів, що протікають.

Основні завдання

Метою дослідження є розробка методу розрахунку складу суміші газів, що утворюються під час роботи комбінованого ГГ за різного складу, вологості вихідної сировини.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

– розробити модель процесу газогенерації в комбінованому ГГ за відомого складу вихідних вуглеводневих речовин;

– розробити в рамках обраної моделі метод розв'язання для визначення складу продуктів реакції у вигляді газової суміші.

Передумови проведення досліджень

Будова та принцип роботи ГГ

На рис. 1 представлено принципову схему пропонованого до розгляду ГГ. Корпус складається з двох частин, об'єднаних у єдину конструкцію. У частині 1а розташовується зона горіння і газифікації. Частина 1b є зоною піролізу. Вихідна сировина надходить у зону піролізу з бункера 2 через клапан 3. За допомогою вентилятора (димососа) 4 газоподібні продукти піролізу через теплообмінник 5 надходять у нижню частину 6 зони горіння і газифікації. Окислювач може подаватися в різні ділянки 7, 8 зони горіння і газифікації, а також 9 нижньої частини зони піролізу. Це можливі, а не обов'язкові зони подачі окислювача. Частина утворених газів із верхньої частини 10 зони газифікації надходять у зону піролізу. Інша їх частина надходить у теплообмінник 5 і далі на вихід 11 до споживача.

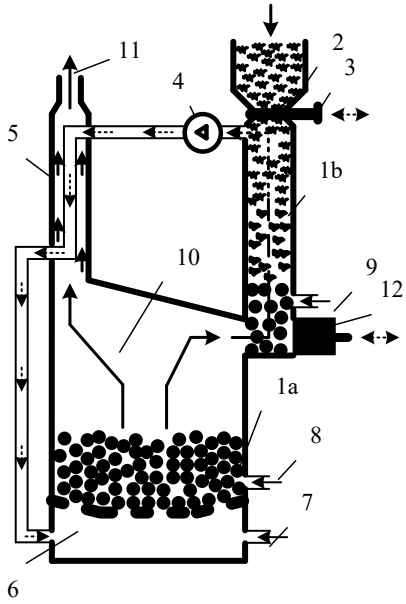


Рис. 1. Принципиальная схема ГГ

Принцип роботи розглянемо на прикладі використання як вихідної сировини деревних відходів.

Робота на заданому режимі. У процесі роботи висока температура деревного вугілля в 1а може підтримуватися різними способами:

– шляхом продовження його горіння при подачі окислювача через 8;

– шляхом часткового окислення (спалювання) частини піролізних газів, що надходять у 6, під час подавання окислювача через 7 і проходження продуктів горіння через шар деревного вугілля;

– шляхом комбінації перших двох способів.

У міру карбонізації деревних відходів деревне вугілля, що утворилося, з нижнього сегмента 1b за допомогою пристрою 12 подається в 1а. З бункера 2 через клапан 3 відбувається поповнення піролізної частини 1b ГГ.

У процесі роботи ГГ управління процесом може здійснюватися за рахунок:

– зміни продуктивності димососа 4;

– зміни місця подачі окислювача (7, 8 або 9), різного угруповання цих місць, зміни об'ємів окислювача, що подається;

– зміни об'єму (швидкості) подачі деревного вугілля з нижнього сегмента частини 1b в 1а, зміни об'єму (швидкості) подачі вихідної сировини з бункера 2.

Математична модель процесу газогенерації

У рамках процесу термодеструкції вихідної сировини в ГГ можна виділити три складові частини: піроліз, горіння і газифікацію. Різні види ГГ відрізняються порядком проходження цих процесів. Процес вільного горіння різних речовин також включає ці три процеси. У разі прийняття моделі рівноважних хімічних реакцій у процесі вільного горіння вона може бути реалізована на основі методу [8]. Під час використання ГГ для отримання газоподібних продуктів мається на увазі використання процесу повільного піролізу і, відповідно, протікання хімічних реакцій, близьких до рівноважних. Отже, і в цьому випадку для опису параметрів процесу може бути використаний метод [8], але з деякими особливостями.

У разі вільного горіння подається кількість окислювача, необхідна для максимального ступеня окислення елементів вихідної сировини. У результаті продукти реакції перебувають у газоподібному стані (за винятком мінеральних речовин у вигляді золи). Вони мають мінімальну ентальпію, що визначається їхньою хімічною формулою. Більша частина ентальпії вихідної сировини реалізується у внутрішній енергії газоподібних продуктів реакції (їхній температурі). На противагу цьому в газоподібних продуктах роботи ГГ, що визначається їхньою хімічною формулою, прагнуть зберегти якомога більшу частину ентальпії вихідної сировини. Для цього забезпечують мінімально необхідну температуру газифікації вихідної сировини завдяки обмеженню кількості окислювача, що подається. Як особливість з'являється частина не газифікованого вуглистого залишку. Під час запису моделі необхідно враховувати наявність вуглецю як у газоподібних продуктах реакції (CO, CO_2), так і в конденсованій фазі.

Ентальпія продуктів роботи ГГ, що визначається їхньою хімічною формулою, тим вища, чим більша додаткова енергія, що вноситься в систему в процесі реакції. У ГГ (рис. 1) для цього використовується теплообмінник 5. З його допомогою частина внутрішньої енергії газоподібних продуктів повертається в систему. Це визначає ще одну особливість запису моделі процесу. У балансі ентальпії необхідно враховувати не тільки ентальпію вихідної сировини й ентальпію окислювача, а й додаткову енергію, що вноситься через теплообмінник.

Беручи до уваги зазначені особливості, модель рівноважного процесу термодеструкції у вигляді [8] може бути записана таким чином:

– у різних дослідженнях, наприклад [9-10], показано ефективність кисневого дуття замість повітряного під час роботи ГГ, зокрема і з погляду підвищення енергетичної цінності одержуваного генераторного газу. З огляду на зниження вартості отримання технічного кисню, а також підвищення вартості традиційних енергоносіїв обираємо як окислювач кисень O_2 з ентальпією I_{o2} (табличне значення).

– виходячи з формули сухої деревини та її ентальпії, а також відомої її вологості, розраховується ентальпія $I_{др}$ вологої деревини та її брутто формула. Вона має вигляд:

$$C_{b_C} H_{b_H} O_{b_O}, \tag{1}$$

де b_C, b_H, b_O – кількість атомів відповідних елементів у брутто-формулі вологих деревних відходів.

– виходячи з (1) і складу окислювача записується перелік речовин, які можуть бути присутніми в кінцевих продуктах реакції:

$$CO, CO_2, H_2, H_2O, CH_4, O_2, C_{y2}. \tag{2}$$

Тут усі продукти реакції перебувають у газоподібному стані за винятком – вуглистого залишку.

У рівноважному процесі термодеструкції для речовин (2) можна записати рівняння хімічної кінетики відповідно до закону діючих мас. Оскільки продукти газоподібні, зручніше такий запис проводити з використанням їхніх парціальних тисків, а не мольних концентрацій. У цьому випадку в розрахунках необхідно враховувати не один моль вихідної сировини (разом з окислювачем), а деяку кількість її молів (M_T), що приводить до чисельної рівності мольної концентрації і парціального тиску. Ця величина визначається в процесі розрахунків. Для продуктів (2) запишемо рівняння закону діючих мас:

$$\frac{P_C \cdot P_O}{P_{CO}} = K_{CO}(T); \quad \frac{P_C \cdot P_O^2}{P_{CO_2}} = K_{CO_2}(T); \quad \frac{P_C \cdot P_H^4}{P_{CH_4}} = K_{CH_4}(T); \quad \frac{P_C}{P_{C_{y2}}} = K_{C_{y2}}(T); \tag{3}$$

$$\frac{P_H^2}{P_{H_2}} = K_{H_2}(T); \qquad \frac{P_H^2 \cdot P_O}{P_{H_2O}} = K_{H_2O}(T); \qquad \frac{P_O^2}{P_{O_2}} = K_{O_2}(T). \tag{4}$$

Тут у знаменниках парціальні тиски відповідних речовин. У чисельниках парціальні тиски атомів хімічних елементів, що входять до цих речовин. Показник ступеня дорівнює кількості відповідних атомів у формулі речовини. $K_{CO}(T)$; $K_{CO_2}(T)$; $K_{CH_4}(T)$; $K_{C_{y2}}(T)$; $K_{H_2}(T)$; $K_{H_2O}(T)$; $K_{O_2}(T)$ – константи хімічної рівноваги відповідних речовин за поточної температури (табличні величини).

На відміну від газоподібних продуктів вуглистий залишок є конденсованою фазою. Але використання в останній формулі (3) для позначення кількості вуглистого залишку $P_{C_{y2}}$ правомірне. У випадку, що розглядається, парціальні тиски дорівнюють мольним концентраціям відповідних речовин, що утворилися не з одного моля вихідної сировини, а з МТ молей. Тому $P_{C_{y2}}$ слід розглядати не як позначення парціального тиску, а як мольну частку. Ця особливість впливає на хід розв'язання і буде розглянута нижче.

– Знаючи брутто-формулу (1) вихідної сировини (використовуваної деревини з урахуванням її вологості), визначається мольний стехіометричний коефіцієнт χ_0 як коефіцієнт перед окиснювачем у разі повної деструкції з його допомогою вихідної речовини:

$$C_{b_C} H_{b_H} O_{b_O} + \left(b_C + \frac{b_H}{4} - \frac{b_O}{2} \right) \cdot O_2 = b_C \cdot CO_2 + \frac{b_H}{2} \cdot H_2O. \tag{5}$$

У даному випадку:

$$\chi_0 = b_C + \frac{b_H}{4} - \frac{b_O}{2}. \tag{6}$$

Задаючи коефіцієнт надлишку окислювача α, визначається брутто-формула всієї паливної суміші (волога деревина + окислювач):

$$C_{b_C} H_{b_H} O_{(b_O + 2 \cdot \alpha \cdot \chi_0)} \tag{7}$$

Використовуючи (7), можна записати рівняння матеріального балансу шуканої моделі для кожного хімічного елемента, що входить у цю формулу:

для [C] $$b_C \cdot M_T = P_{CO} + P_{CO_2} + P_{CH_4} + P_{C_{y2}} + P_C. \tag{8}$$

для [H] $$b_H \cdot M_T = 2 \cdot P_{H_2} + 2 \cdot P_{H_2O} + 4 \cdot P_{CH_4} + P_H \tag{9}$$

для [O] $$(b_O + 2 \cdot \alpha \cdot \chi_0) \cdot M_T = P_{CO} + 2 \cdot P_{CO_2} + P_{H_2O} + 2 \cdot P_{O_2} + P_O \tag{10}$$

Для замикання системи рівнянь використовується рівняння Дальтона:

$$P_\Sigma = P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2} + P_{H_2O} + P_{CH_4} + P_{O_2} + P_C + P_H + P_O \tag{11}$$

Тут P_{Σ} – тиск усередині ГГ. Вуглистий залишок є конденсованою фазою і не вносить внеску в суму парціальних тисків. Тому $P_{C_{y_2}}$ в (11) відсутній.

Рівняння (3–4), (8–11) є замкнутою нелінійною алгебраїчною системою для визначення 11 величин:

$$P_{CO}, P_{CO_2}, P_{H_2}, P_{H_2O}, P_{CH_4}, P_{O_2}, P_{C_{y_2}}, P_C, P_H, P_O, M_T . \tag{12}$$

За необхідності в моделі можуть бути враховані додаткові продукти реакції як у газоподібному вигляді, так і в конденсованій фазі.

Особливості розв'язання

Одним зі способів розв'язання системи нелінійних алгебраїчних рівнянь є їхня лінеаризація та знаходження поправок шуканих величин. У процесі лінеаризації необхідно знайти похідні від членів нелінійних рівнянь. У розробленій моделі концентрація парів вуглистого залишку в ітераційному процесі пошуку наближеного розв'язку за заданої температури залишається постійною. Отже, похідна від неї дорівнює 0. Така особливість у разі зміни використовуваної моделі зберігатиметься щодо будь-якої речовини, що перебуває в конденсованій фазі. У цьому полягає особливість розрахунку на основі пропонованої моделі.

Метод розрахунку ґрунтується на доборі такої температури та визначенні відповідного їй складу продуктів реакції, щоб їхня сумарна ентальпія дорівнювала сумарній ентальпії початкових компонентів – вихідної сировини разом з окисником. У літературі наводиться ентальпія для різних газоподібних і рідких речовин. Але для горючих речовин у твердому вигляді зазвичай наводиться теплотворна здатність, а не ентальпія. Це стосується і деревини різного ступеня вологості. У цьому випадку ентальпія має бути попередньо розрахована.

Результати розрахунку складу продуктів газогенерації

Підготовка вихідних даних

Склад горючої частини деревини різних порід приблизно однаковий. Під час теплотехнічних розрахунків зазвичай приймають: C = 51; H = 6.1; O = 42.3; N = 0.6%. Через наближеність розрахунків малою часткою азоту можна знехтувати. Виходячи з цього розглянемо брутто-формулу органічної частини сухих соснових відходів (без урахування вологості) у вигляді:

$$C_{42.5}H_{60.5}O_{26.4} \tag{13}$$

з ентальпією I = – 6516 кДж/кг. Для спрощення розрахунків запишемо (13) у вигляді:

$$C_{42.5/42.5}H_{60.5/42.5}O_{26.4/42.5} \quad \Rightarrow \quad CH_{1,42}O_{0,62} \tag{14}$$

з молярною масою

$$\mu_c=0.0233 \text{ кг/моль} \tag{15}$$

та ентальпією одного моля цього складу

$$I_0= -152.1 \text{ кДж/моль} \tag{16}$$

Наведені дані належать до абсолютно зневодненої деревини. Визначимо склад (брутто-формулу) та ентальпію деревних відходів сосни за різної відносної вологості. Будемо виходити з визначення відносної вологості як:

$$\varphi = \frac{x}{\mu_c + x}, \tag{16}$$

де μ_c – молярна маса (15) абсолютно зневодненої деревини сосни, x – маса води. Із (16) випливає:

$$x = \frac{\varphi}{1-\varphi} \cdot \mu_c .. \tag{17}$$

З урахуванням молярної маси води $\mu_в$=0.018 кг/моль з (17) визначається відповідна кількість молей води, що визначає розглянуту вологість. Наприклад, із (17) випливає, що за вологості φ=0.2 (20%) з 1 молем деревини (15) має бути пов'язано

$$x = \frac{0.2}{1-0.2} \cdot 0.0233 \approx 0.0058 \text{ кг} \tag{18}$$

води, що відповідає ~ 0,32 моля. У цьому разі брутто-формула деревини з урахуванням (14) за такої вологості матиме вигляд:

$$CH_{1,42}O_{0,62} + 0.32 \cdot H_2O = CH_{1,42+0.32\cdot 2}O_{0,62+0.32} = CH_{2.06}O_{0.94} . \tag{19}$$

За величини ентальпії води (табличне значення) $I_в$ = –285.8 кДж/моль з урахуванням (16) ентальпія деревини за вологості 20% дорівнює:

$$I_{0.2} = I_0 + 0.32 \cdot I_в = -243.6 \text{ кДж / моль}^2 \tag{20}$$

Розраховані за таким алгоритмом брутто-формули вологої деревини та відповідні її ентальпії для деяких значень вологості φ наведено в табл. 1.

У розрахунках на основі моделі (3, 4, 8–11) окрім різних величин коефіцієнта надлишку окиснювача α (α<1) і різних величин вологості φ, може бути врахована частина енергії, що повертається в зону реакції завдяки теплообміннику (5, рис. 1). Облік цієї частини енергії можливий на основі такого алгоритму:

Таблиця 1

Брутто-формули та ентальпії деревини сосни

φ	0	0.2 (20%)	0.4 (40%)	0.6 (60%)
Брутто-формула	$CH_{1.42}O_{0.62}$	$CH_{3.15}O_{1.48}$	$CH_{3.15}O_{1.48}$	$CH_{5.3}O_{2.56}$
Ентальпія (кДж/моль)	-152.1	-243.6	-398.8	-706.6

– з усього складу продуктів газогенерації вибирають тільки газоподібні компоненти (за виключенням вугільного залишку) і визначають ентальпію $I_г$ цієї газової суміші за температури процесу газогенерації;

– для цього ж складу газової суміші визначається ентальпія $I_{ос}$ при температурі навколишнього середовища. При цьому вважається, що вода залишається в пароподібному стані (так само, як і при визначенні нижньої теплотворної здатності);

– різниця $\Delta I = (I_г - I_{ос})$ визначає максимально можливу величину енергії, яка може бути отримана при охолодженні газоподібної складової продуктів газогенерації. Частина (у відсотковому відношенні) цієї енергії додається до ентальпії вихідної речовини (20). В ітераційному процесі шукається розв'язок вихідної моделі.

Якість газоподібної складової продуктів газогенерації, одержуваних за різного поєднання величин α, φ и Δ*I*, може бути оцінена за сумарною теплотою згоряння простих газів (табличні величини), що входять до її складу. Слід врахувати, що під час зберігання в газгольдері або транспортування трубопроводом спочатку гарячі продукти газогенерації в багатьох випадках остигають практично до температури навколишнього середовища. Пари води, що входять до їхнього складу, практично повністю конденсуються і не враховуються при визначенні теплоти згоряння. Залишаються тільки горючі гази (CO, H_2, CH_4) і вуглекислий газ (CO_2) як баласт. Співвідношення їхніх обсягів відоме з результатів розв'язання задачі визначення складу продуктів газогенерації.

Перелік і діапазон зміни параметрів розрахунку

У процесі розрахунків органічна частина вихідної сировини залишалася незмінною. Але мольний склад у вигляді його брутто-формули і, відповідно, молярна маса були змінними. Це відбувалося внаслідок урахування мінливої вологості деревини в діапазоні φ=[0...0,6].

У процесі розрахунку враховувалася можливість повернення частини енергії гарячих газоподібних продуктів термодеструкції, що йдуть, через теплообмінник 5 (рис. 1) у зону реакції. Враховувалася частина енергії у формі тепла. Кількість енергії, що повертається, визначали у відсотковому співвідношенні в діапазоні ΔI = [0...70%].

Процес термічної деструкції сировини розглядався у двох варіантах:

– з внутрішнім виділенням енергії за рахунок подачі окислювача (кисню) зі зміною коефіцієнта надлишку в діапазоні α=[0,2...0,6]. Використання більшої кількості окислювача відповідало більшій вологості вихідної сировини;

– із зовнішнім підведенням енергії (без використання окислювача) – повільний піроліз.

Перелік величин результатів розрахунку

Для кожного поєднання значень параметрів розрахунку визначалися:

– температура рівноважної реакції;

– кількість молей вихідної речовини (з урахуванням вологості), необхідну для утворення 1 моля *газоподібних* продуктів реакції. Кількість конденсованої фази (вуглистий залишок) враховується окремо;

– склад продуктів реакції в мольних частках;

– нижча теплотворна здатність охолодженої газоподібної частини продуктів реакції (з урахуванням наявності вуглекислого газу, але без урахування парів води);

– нижча теплотворна здатність охолодженої газоподібної частини продуктів реакції, віднесена до 1 моля вихідної речовини (з урахуванням вологості).

Обговорення результатів обчислень

Оцінка адекватності результатів розрахунку

Адекватність результатів розрахунків може бути оцінена шляхом їх порівняння з даними експериментальних досліджень. Але в галузі газифікації органічних речовин спостерігається широкий розкид експериментальних даних різних авторів [11–12] Порівняємо результати розрахунку з діапазонами варіювання експериментальних значень деяких величин.

У [11] наведено величину характерного значення нижчої теплотворної здатності піролізних газів у діапазоні 13–15 МДж/м^3. Як правило експериментальні дослідження проводяться на зразках деревини повітряно сухої (φ=0.15–0.2) або кімнатно сухої (φ=0.08–0.1). На рис. 2 відображено результати розрахунку нижчої теплотворної здатності піролізних газів на основі запропонованої моделі за різної вологості деревини. З нього випливає, що за вологості φ=0–0.2 у діапазоні температур 800–900 К розрахункові величини відповідають експериментальним даним. Такі температури в багатьох випадках є характерними при дослідженнях процесу повільного піролізу.

При збільшенні температури і вологості сировини зростає частка водню в піролізних газах. Цей газ має високу гравіметричну характеристику теплотворної здатності. Але його теплотворна здатність, віднесена до одиниці

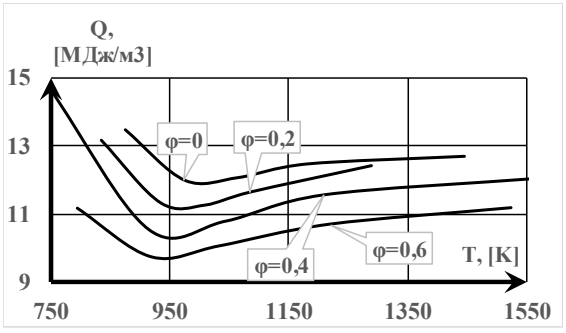


Рис. 2. Нижча теплотворна здатність піролізного газу за різної вологості деревини

об'єму, є низькою. Збільшення частки водню в суміші горючих газів зменшує її об'ємну теплотворну здатність. Такий ефект також відображається результатами розрахунку (рис. 2). Слід зазначити, що при цьому об'єм піролізних газів збільшується за рахунок конверсії парів води та вуглистого залишку (деревного вугілля).

У [12] зазначено, що низка авторів вказують на збільшення виходу газу і зниження його теплотворної здатності зі зростанням температури не тільки за піролізу (що відображено на мал. 2), а й за газифікації. За більш високих температур газифікації спостерігається менша кількість твердих частинок.

Виконані розрахунки показали, що подібний ефект існує, але лише за деяких умов. Можливо, що цей ефект відзначають ті автори, які проводили експериментальні дослідження за відповідних умов. Результати розрахунків показують, що зниження теплотворної здатності відбувається лише в деякому діапазоні зміни температури реакції. За відсутності підведення додаткової зовнішньої енергії або за підведення зовнішньої енергії постійної величини температура реакції газифікації змінюється внаслідок зміни величини α – коефіцієнта надлишку окислювача. Зі збільшенням значення α збільшується і температура реакції. Слід (або можна) говорити про залежність теплотворної здатності генераторного газу від коефіцієнта надлишку окислювача за деяких умов у реакції газогенерації. На рис. 3 і рис. 4 наведено графіки зміни нижчої теплотворної здатності генераторного газу для випадку відсутності зовнішнього підведення енергії. Нагрівання зони реакції відбувається тільки за рахунок внутрішнього виділення енергії під час окислення частини вихідної сировини. На рис. 3 відображено зміну теплотворної здатності залежно від температури в зоні реакції. На рис. 4 – залежно від коефіцієнта надлишку окислювача. З наведених графіків випливає, що в умовах, які розглядаються, зі збільшенням температури в зоні реакції зменшення теплотворної здатності газу може відбуватися під час переробки абсолютно сухої вихідної сировини.

На рис. 5 і рис. 6 наведено графіки зміни нижчої теплотворної здатності генераторного газу для випадку зовнішнього підведення частини енергії в зону реакції, наприклад, за допомогою теплообмінника 5 (рис. 1). У разі, що розглядається, передбачається повернення в зону реакції 25% енергії газів 11 (рис. 1), що залишають установку. З наведених графіків випливає, що в умовах, які ми розглядаємо, зі збільшенням температури в зоні реакції зменшення теплотворної здатності газу може відбуватися під час переробки вихідної сировини великої вологості (φ=0.4).

Кількісне порівняння результатів розрахунків параметрів процесу газогенерації з експериментальними даними складне. Розкид експериментальних значень великий. Так у [13] після аналізу даних низки авторів наводяться такі діапазони зміни об'ємної концентрації газів: для CO 9–35 об%; для H_2 2–35 об%; для CH_4 1–5 об%; для CO_2 9,5–15 об%. У [12] (табл. 5) наведено дані за складом генераторного газу в разі дуття киснем. Описано тільки склад генераторного газу і його нижчу теплотворну здатність. Доводиться тільки припускати про параметри процесу, яким відповідають наведені величини. Будемо вважати, що в [12] розглядається процес без введення

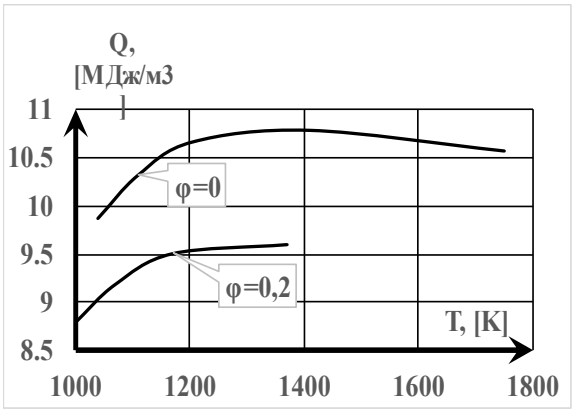


Рис. 3. Зміна нижчої теплотворної здатності залежно від температури в зоні реакції за відсутності зовнішнього підведення енергії

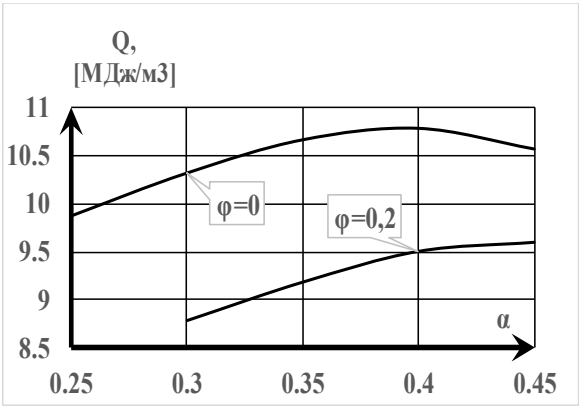


Рис. 4. Зміна нижчої теплотворної здатності залежно від коефіцієнта надлишку окислювача в зоні реакції за відсутності зовнішнього підведення енергії

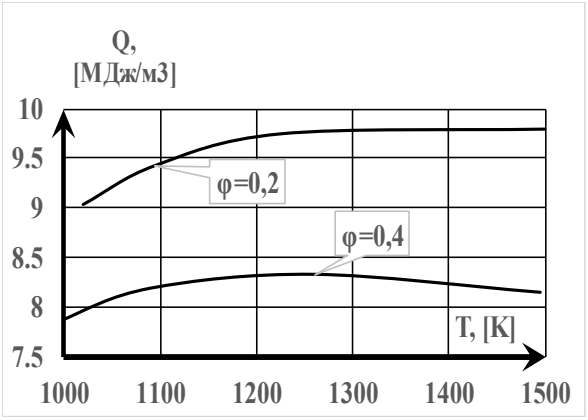


Рис. 5. Зміна нижчої теплотворної здатності залежно від температури в зоні реакції за наявності зовнішнього підведення енергії

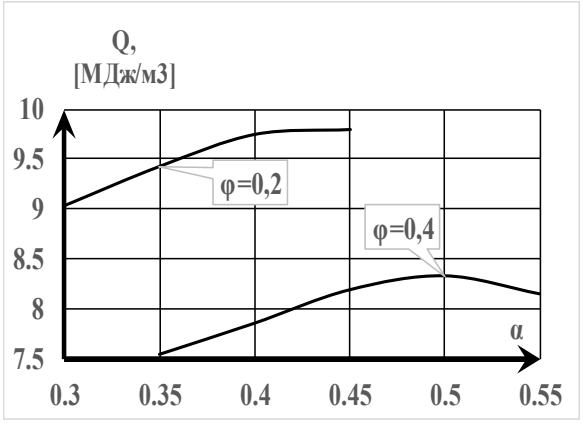


Рис. 6. Зміна нижчої теплотворної здатності залежно від коефіцієнта надлишку окислювача в зоні реакції за наявності зовнішнього підведення енергії

додаткової енергії. У багатьох дослідженнях зразки вихідної сировини перед газифікацією сушать. Будемо розглядати процес газифікації абсолютно сухої сировини деревини сосни. Кількість окислювача в [12] не обумовлюється. Розглянемо випадок α=0.35. Для зазначених умов дані з [12] і результати розрахунку на підставі моделі, що подається, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Продукти газифікації при кисневому дутті

Джерело даних	Складові (% об'єму)					$Q_{низ}$ МДж/м³
	H_2	CO	CO_2	CH_4	N_2	
[12]	32	48	15	2	3	10.4
Розрахунок	35.5	48.4	16.1	0	–	10.7

Розглянутому варіанту відповідає розрахункова температура 1205 К (932 °С). Дані, наведені в табл. 1, свідчать про добрий збіг за означених умов експериментальних і розрахункових величин. Відсутність N_2 у розрахунках визначено розглянутим варіантом моделі, що не враховує через малу кількість наявність азоту у вихідній сировині. Нульове значення для метану може бути пояснене використанням для розрахунку рівноважної моделі. В її рамках передбачається, що всі можливі процеси термічної деструкції завершені. В експериментальних дослідженнях час перебування газової суміші в реакційній зоні обмежений. Наявність метану в багатьох випадках (але не у всіх) може свідчити про незавершеність термічного розкладання вихідної органічної сировини. Але на можливість присутності метану в продуктах піролізу і газогенерації за деякого поєднання параметрів процесу вказують і результати розрахунку за рівноважною моделлю. Деякі з них наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Склад продуктів газогенерації

ΔI	φ	α	T, [K]	Кількість молей							$Q_{низ}$ МДж/м³
				M_T	CO	CO_2	CH_4	$C_{угл}$	H_2	H_2O	
0	0	0.25	1040	0.74	0.29	0.19	0.004	0.25	0.35	0.17	9.9
		0.3	1110	0.67	0.36	0.16	0.001	0.14	0.33	0.14	10.3
	0.4	0.35	900	0.45	0.05	0.25	0.007	0.15	0.24	0.45	7.3
		0.4	980	0.42	0.10	0.24	0.001	0.08	0.27	0.39	7.7
40%	0	0.2	1010	0.79	0.25	0.20	0.008	0.34	0.36	0.18	9.9
		0.25	1075	0.71	0.33	0.17	0.002	0.21	0.35	0.14	10.3
	0.4	0.35	940	0.44	0.07	0.24	0.004	0.12	0.27	0.41	7.7
		0.4	1010	0.41	0.11	0.24	0.001	0.06	0.28	0.37	8.0

У табл. 3 на відміну від табл. 2 наведені величини всіх компонентів газогенерації, що враховуються в розрахунках, зокрема водяна пара і вуглистий залишок. Сумарно кількість компонентів, що перебувають у газоподібному стані, дорівнює 1 молю (за умовами методу розрахунку). Усі газоподібні компоненти разом із вуглистим залишком утворені з кількості молей вихідної сировини, позначених як M_T. Величина ΔI позначає частку енергії газоподібних продуктів реакції, що повертається в зону реакції, через теплообмінник 5 (рис. 1)

У таблиці 4 подано результати розрахунку, що відповідають піролізу деревної сировини (тільки за рахунок зовнішнього обігріву, без використання окислювального агента).

Таблиця 4

Склад продуктів піролізу

φ	T, [K]	Кількість молей							$Q_{низ}$ МДж/м^3
		M_T	CO	CO_2	CH_4	$C_{угл}$	H_2	H_2O	
0.2	835	0.85	0.03	0.18	0.094	0.55	0.28	0.41	13.2
	1010	0.67	0.2	0.12	0.014	0.34	0.48	0.19	11.3
	1290	0.54	0.42	0.02	0	0.10	0.51	0.04	12.4
0.4	750	0.60	0.01	0.14	0.095	0.36	0.16	0.60	14.6
	1045	0.45	0.18	0.12	0.004	0.14	0.46	0.23	10.8
	1580	0.40	0.34	0.04	0	0	0.47	0.15	12.1

Результати розрахунку, наведені в таблиці 4, відповідають даним експериментальних досліджень інших авторів. У піролізних газах присутня більша ніж у газогенераторних кількість метану. Зі зростанням температури його кількість зменшується аж до повного зникнення. Це може бути пояснено збільшенням ступеня конверсії метану на розпеченому вуглистому залишку (деревному вугіллі) в присутності парів води. Збільшується кількість водню і чадного газу з одночасним зменшенням вуглистого залишку аж до повної його конверсії. Зі збільшенням температури в реакційній зоні теплотворна здатність $Q_{низ}$ газоподібної фази зменшується. Це можна пояснити зменшенням частки найкалорійнішого газу метану та збільшення частки найменш калорійного водню. Слід зазначити більш значне зниження теплотворної здатності при середній температурі в реакційній зоні з деяким її підвищенням зі зростанням температури.

Висновки та перспективи

1. У рамках моделі рівноважних хімічних реакцій запропоновано метод розрахунку параметрів і складу газової суміші, що утворюється під час роботи комбінованого ГГ за різного складу, вологості вихідної деревної сировини. Порівняння результатів розрахунку з даними експериментальних досліджень інших авторів показало адекватне відображення за допомогою запропонованої моделі процесів газогенерації та піролізу, які відбуваються. Особливість розрахунку на основі рівноважних хімічних реакцій дає змогу коректно використовувати отримані результати для опису процесів, що протікають повільно. Можна розглядати отримані результати як гранично можливі, граничні.

2. Побудова моделі газифікації деревної сировини за допомогою кисневого дуття дала змогу продемонструвати можливості пропонованого підходу за мінімізації обчислювальних витрат. Збільшення в моделі переліку можливих хімічних реакцій дасть змогу в рамках єдиного підходу досліджувати процеси горіння, піролізу та газифікації. Можуть використовуватися будь-які окислювальні агенти. Наприклад, повітряне, кисневе, пароповітряне, парокисневе, парове дуття. Може бути враховано різний спосіб внесення додаткової зовнішньої енергії. Наприклад, через огороджувальні конструкції (теплообмінники), з паровим дуттям. Наслідком розширення моделі буде збільшення кількості рівнянь у системі алгебраїчних нелінійних рівнянь і, відповідно, ускладнення її розв'язання.

Список використаної літератури

1. Hanchate N. Biomass gasification using dual fluidized bed gasification systems: A review [Text] / N. Hanchate, S. Ramani, C.S. Mathpati, V. H. Dalvi //, Journal of Cleaner Production, Volume 280, Part 1, 2021, 123148, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123148

2. Самилін О.О. Сучасні енергоефективні технології використання відходів біомаси в сільському, лісовому та комунальному господарствах [Текст] / О.О. Самилін, Н.М. Цивенкова, А.А. Голубенко// Вісник ЖНАЕУ № 1, 2009, с. 269–278.

3. Ткаченко С.Й. Перспективні напрямки використання біомаси як джерела енергії [Текст] / С.Й. Ткаченко, Л.А. Боднар, А.О. Юзюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2011. № 2, с. 68–73. https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1396/1396

4. Kurkela E. Review of Finnish biomass gasification technologies [Text] / E. Kurkela // 2023. https://www.researchgate.net/publication/30482338_Review_of_Finnish_biomass_gasification_technologies

5. Sarkar S. Biofuels and biochemicals production from forest biomass in Western Canada [Text] / S. Sarkar, A. Kumar, A. Sultana // Energy. Volume 36, Issue 10, 2011, Pages 6251–6262. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.024

6. Сайт компании CHOREN. https://www.choren.com/en/technology/choren-coal-gasification/

7. Брунеткін В.О. Комбінований шаровий газогенератор [Текст] / В.О. Брунеткін, В.О. Давидов // The 22th International scientific and practical conference “Modern theories and improvement of world methods” (June 06–09, 2023)

Helsinki, Finland. International Science Group. 2023. p. 440-443. ISBN – 979-8-88992-687-0. https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.22

8. Брунеткин А.И. Метод определения состава горючих газов при их сжигании [Текст] / А.И. Брунеткин, М.В. Максимов // Науковий вісник Національного гірничого університету. 2015. № 5. С. 83–90. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2015_5_16

9. Cerone N. Gasification of Wood and Torrefied Wood with Air, Oxygen, and Steam in a Fixed-Bed Pilot Plant [Text] / N. Cerone, F. Zimbardi, A. Villone, N. Strjiugas, E. G. Kiyikci // Energy Fuels 2016, 30, 4034–4043. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b00126

10. Weiland F. Pressurized Oxygen Blown Entrained-Flow Gasification of Wood Powder [Text] / F. Weiland, H. Hedman, M. Marklund, H. Wiinikka, O. Öhrman, R. Gebart // Energy & Fuels, 2013, 27 (2), 932–941, https://doi.org/10.1021/ef301803s

11. Bureika G. Alternative Carbonless Fuels for Internal Combustion Engines of Vehicles. [Text] / G. Bureika, J. Matijošius, A. Rimkus // Ecology in Transport: Problems and Solutions. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 124. 2020. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42323-0_1

12. Couto N. Influence of the Biomass Gasification Processes on the Final Composition of Syngas [Text] / N. Couto, A. Rouboa, V. Silva, E. Monteiro, K. Bouziane // Energy Procedia, Volume 36, 2013, P. 596-606. ISSN 1876-6102. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.068

13. Lyons Cerón A. Effect of Woody Biomass Gasification Process Conditions on the Composition of the Producer Gas [Text] / A. Lyons Cerón, A. Konist, H. Lees, O. Järvik // Special Issue Selected Papers from the 9th European Conference on Renewable Energy Systems (ECRES2021), Sustainability 2021, 13(21), 11763 https://doi.org/10.3390/su132111763

References

1. Hanchate N., Ramani S., Mathpati C.S., Dalvi V. H. (2021). Biomass gasification using dual fluidized bed gasification systems: A review, Journal of Cleaner Production, Volume 280, Part 1, 2021, 123148, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123148

2. Samilin O.O., Tsivenkova N.M., Golubenko A.A. (2009). Suchasni energoefektivni tehnologii vikoristannya vidhodiv biomasi v silskomu, lisovomu ta komunalnomu gospodarstvah. [Modern energy-efficient technologies for the use of biomass waste in agriculture, forestry and municipal services]. Visnik ZhNAEU, № 1, s. 269–278.

3. Tkachenko S.Y., Bodnar L.A., Yuzyuk A.O. (2011). Perspektivni napryamki vikoristannya biomasi yak dzherela energii. [Promising areas of biomass use as an energy source]. Visnik Vinnitskogo politehnichnogo institutu. № 2, s. 68–73.

4. Kurkela E. (2023). Review of Finnish biomass gasification technologies. https://www.researchgate.net/publication/30482338_Review_of_Finnish_biomass_gasification_technologies

5. Sarkar S., Kumar A., Sultana A. (2011). Biofuels and biochemicals production from forest biomass in Western Canada. Energy. Volume 36, Issue 10, 2011, Pages 6251–6262. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.024

6. Сайт компании CHOREN. https://www.choren.com/en/technology/choren-coal-gasification/

7. Brunetkin V.O., Davidov V.O. (2023). Kombinovaniy sharoviy gazogenerator. [Combined gas generator with a layer]. The 22th International scientific and practical conference “Modern theories and improvement of world methods” (June 06–09, 2023) Helsinki, Finland. International Science Group. 2023. p. 440–443. ISBN – 979-8-88992-687-0. https://doi.org/10.46299/ISG.2023.1.22

8. Brunetkin A.I., Maksimov M.V. (2015). Metod opredeleniya sostava goryuchih gazov pri ih szhiganii. [Method for determining the composition of combustible gases during combustion]. Naukoviy vIsnik NatsIonalnogo gIrnichogo unIversitetu. № 5. S. 83–90. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2015_5_16

9. Cerone N., Zimbardi F., Villone A., Strjiugas N., Kiyikci, E. G. (2016). Gasification of Wood and Torrefied Wood with Air, Oxygen, and Steam in a Fixed-Bed Pilot Plant. Energy Fuels 2016, 30, 4034–4043. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b00126

10. Weiland F., Hedman H., Marklund M., Wiinikka H., Öhrman O., Gebart R. (2013). Pressurized Oxygen Blown Entrained-Flow Gasification of Wood Powder. Energy & Fuels, 2013, 27 (2), 932–941, https://doi.org/10.1021/ef301803s

11. Bureika G., Matijošius J., Rimkus A. (2020). Alternative Carbonless Fuels for Internal Combustion Engines of Vehicles. Ecology in Transport: Problems and Solutions. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 124. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42323-0_1

12. Couto N., Rouboa A., Silva V., Monteiro E., Bouziane K. (2013). Influence of the Biomass Gasification Processes on the Final Composition of Syngas. Energy Procedia, Volume 36, 2013, P. 596–606. ISSN 1876-6102. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.068

13. Lyons Cerón A., Konist A., Lees H., Järvik O. (2021). Effect of Woody Biomass Gasification Process Conditions on the Composition of the Producer Gas. Special Issue Selected Papers from the 9th European Conference on Renewable Energy Systems (ECRES2021), Sustainability 2021, 13(21), 11763 https://doi.org/10.3390/su132111763

УДК 556.506;620.92; 620.987 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.2

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

ВРАХУВАННЯ ДИНАМІКИ ЗМІН ТЕМПЕРАТУРИ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА ДІЛЯНКАХ БЕРЕГОВИХ ВОДОЗАБОРІВ ГІДРОТЕРМАЛЬНИХ ТЕПЛОНАСОСНИХ СИСТЕМ

Прогноз динаміки змін температури підземних вод на ділянках розміщення берегових водозаборів становить великий практичний інтерес, оскільки температура підземних вод, які використовуються, не повинна виходити з рамок кондицій, обумовлених, наприклад, технологічними особливостями виробництва. Метою роботи є експериментально та аналітично оцінити вплив зміни температури підземних вод, в результаті змішування з водами, що фільтруються з водойми яка знаходиться поруч, на ефективність гідротермальної теплонасосної системи.

Представлено розроблену і сконструйовану в Інституті відновлюваної енергетики НАН України експериментальну гідротермальну теплонасосну систему, яка складається з теплового насосу та двох свердловин через які забезпечується циркуляція води від Полтавського водоносного горизонту до теплового насосу. Особливістю даної системи є те, що її свердловини в геоморфологічному відношенні розташовані на території останця Київського лесового плато, який обмежений із заходу, з півдня і зі сходу балками. Крім того Полтавський водоносний горизонт розкритий ерозією і виходить на денну поверхню на відстані 100 метрів від місця розташування свердловин. А за 300 метрів від свердловин на дні балки розташована серія ставків.

Наведено опис характеристик вимірювального обладнання, встановленого на гідротермальній теплонасосній системі та розробленої інтерактивної системи диспетчеризації яка була застосована для побудови системи візуалізації та архівації даних отриманих в процесі проведення даної науково-дослідницької роботи. Експериментально визначено, що температури води в свердловині, якою розкрито водоносний горизонт, має тенденцію спрямованого зменшення або збільшення в залежності від пори року та обґрунтовані отримані залежності зміни температури від глибини з урахуванням температури навколишнього середовища та інших факторів екзогенного впливу.

Викладено математичну модель, яка дає змогу визначати температуру підземних вод під час дії водозабору, що має вигляд лінійної низки свердловин, розташованої паралельно руслу річки. Наведено розв'язання рівняння теплопередачі, яке описує процес теплопередачі в експлуатаційному водоносному пласті. На основі аналітичних розрахунків визначено, що у випадку підйому температури води в річці за лінійним законом у пласті з часом відбувається безперервне зростання температури, а в разі стрибкоподібного підйому температури води в річці в пласті встановлюється стаціонарний розподіл температури. З отриманих даних зроблено висновок, що визначальним фактором у нагріванні підземних вод є фільтрація, тобто конвективна теплопередача. Кондуктивна складова спричиняє тільки деяке розсіювання теплового фронту.

Отримані теоретичні та практичні результати дозволяють оптимізувати побудову геотермальних систем. Мають перспективу подальші дослідження впливу геологічних, гідрогеологічних морфологічних та антропогенних умов на зміни температури нижче нейтрального шару, та їх вплив на ефективність роботи геотермальних теплонасосних систем.

Ключові слова: *водоносний горизонт, підземні води, теплота ґрунту, нейтральний шар, тепловий насос, водозабір.*

O. V. ZURIAN
Candidate of Technical Sciences,
Senior Research at the Department of Geothermal Energy
Institute of Renewable Energy
of the National Academy of Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0002-2391-1611

TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF GROUNDWATER TEMPERATURE CHANGES AT AREAS OF COASTAL WATER INTAKES OF HYDROTHERMAL HEAT PUMP SYSTEMS

Forecasting the dynamics of changes in groundwater temperature in areas where coastal water intakes are located is often of great practical interest, since the temperature of groundwater used should not go beyond the limits of conditions,

due, for example, to technological features of production. The aim of the work is to experimentally and analytically evaluate the impact of groundwater temperature changes, as a result of mixing with waters filtered from a nearby reservoir, on the efficiency of a hydrothermal heat pump system.

An experimental hydrothermal heat pump system developed and constructed at the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, consisting of a heat pump and two wells, through which water is circulated from the Poltava aquifer to the heat pump, is presented. A feature of this system is that its wells are geomorphologically located on the territory of the remnant of the Kyiv forest plateau, limited from the west, from the south and from the east by beams. In addition, the Poltava aquifer is exposed by erosion and comes to the surface at a distance of 100 meters from the location of the wells. And 300 meters from the wells at the bottom of the beam there is a series of ponds.

A description of the characteristics of the measuring equipment installed on the hydrothermal heat pump system and the developed interactive dispatching system, which was used to build a system for visualizing and archiving data obtained in the course of this research work, is presented. It has been experimentally determined that the water temperature in the well, which opened the aquifer, tends to decrease or increase depending on the time of year, and the obtained dependences of temperature change on depth are substantiated, taking into account the ambient temperature and other factors of exogenous impact.

A mathematical model is presented that makes it possible to determine the temperature of groundwater during the operation of a water intake, which has the form of a linear row of wells located parallel to the riverbed. A solution of the heat transfer equation is given, which describes the process of heat transfer in a production aquifer. Based on analytical calculations, it was determined that in the case of a rise in the water temperature in the river according to a linear law, a continuous temperature increase occurs in the reservoir over time, and with an abrupt rise in the temperature of the water in the river, a stationary temperature distribution is established in the reservoir. From the data obtained, it was concluded that the determining factor in the heating of groundwater is filtration, that is, convective heat transfer. The conductive component entails only some scattering of the thermal front.

The obtained theoretical and practical results make it possible to improve the construction of geothermal systems. There are prospects for further studies of the influence of geological, hydrogeological morphological and anthropogenic conditions of temperature change below the neutral layer, and their influence on the efficiency of geothermal heat pump systems.

Key words: *aquifer, groundwater, ground heat, neutral layer, heat pump, water intake.*

Постановка проблеми

В Україні останні роки спостерігається стрімке зростання впровадження в системи теплопостачання геотермальних теплових насосів, що використовують низькопотенційні джерела енергії. А використання вод верхніх водоносних горизонтів з енергетичною метою – в умовах необхідності децентралізації енергопостачання все більше становиться реальністю нашого часу.

Ефективність роботи теплонасосної системи залежить від температури на виході з конденсатора теплового насосу та вході у його випарник. Якщо температура на виході з конденсатора регулюється в залежності від навантаження та визначається комфортними умовами перебування людей, роботи техніки та технологічних процесів, то температура на вході в випарник визначається природнім джерелом відновлюваної енергії і може мати девіації які обумовлені його нестабільністю. Тому актуальною задачею є прогнозування змін параметрів відновлюваного джерела енергії з метою забезпечення необхідної температури та дебіту теплоносія на вході до теплового насосу протягом часу його роботи.

Практичне значення моделі за якою можна прогнозувати величину коливань температури ґрунту та ґрунтових вод в місті встановлення колектора теплового насосу полягає в тому, що при проектуванні даних систем можливо заздалегідь визначити ефективність теплонасосної системи в залежності від особливостей місця її розташування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи з підвищення ефективності теплових насосів проводяться як в Україні так і світі вже тривалий час. Перспективи застосування теплових насосів досліджені в роботах [1, 2, 3]. Аналіз ефективності використання теплового потенціалу довкілля та верхніх шарів Землі приведено в роботі [4, 5]. В роботах [6, 7, 8] виконана оцінку ефективності теплових насосів різних типів. Окремо треба виділити дослідження авторами яких запропоновано математичну модель та наведені розрахунки теплообміну при русі геотермального теплоносія у свердловині [9]. Також в дослідженні [10], пропонується новий підхід до вивчення стаціонарних енергетичних характеристик вертикальних геотермальні системи. Методологія для оцінки швидкості поглинання тепла ґрунту ґрунтовими теплообмінниками розглянуто в роботах [11, 12]. В даних роботах викладено математичну модель, яка дає змогу визначати температуру ґрунту $T(z, t)$ залежно від глибини $z \geq 0$ і часу $t \geq 0$ за умов, що задано зміну температури поверхні ґрунту або зовнішнього повітря з часом з урахуванням припущення, що температура ґрунту не залежить від координати (x, y) і теплофізичні властивості ґрунту не змінюються з координатами (x, y, z) з часом. З практичної точки зору науковий інтерес викликають дослідження що враховують реальні умови розміщення даних систем. Тому виникла потреба продовження проведених в [13, 14] досліджень, що зроблено у даній статті.

Формулювання мети дослідження

Підземні води – потужний тепловий фактор, що суттєво впливає на температурне поле земної кори. У зв'язку з цим у відновлюваній геотермальній енергетиці важливого значення набувають геотермічні дослідження.

До групи завдань, пов'язаних з геотермічними дослідженнями можливо віднести різноманітні завдання інженерного характеру, наприклад, прогноз зміни температури підземних вод в районі діючих водозаборів під впливом фільтрації з поверхневих водойм, або в результаті закачування в пласт води через свердловини, розрахунок продуктивності свердловин при експлуатації термальних вод та геотермальних теплонасосних систем, що використовують вертикальні теплообмінники встановлені у свердловини та ін.

Метою даної роботи є визначення ефективності роботи гідротермальної теплонасосної системи під впливом фільтрації підземних вод з поверхневих водних джерел.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відповідно до поставленої мети дослідження були вирішені такі завдання: по-перше – проведені експериментальні дослідження температури води у водоносному горизонті та у міжтрубному просторі свердловини, що входить до складу гідротермальної теплонасосної системи змонтованої у густозаселеній місцевості з великим перепадом висот де поряд, у балках, знаходяться відкриті водойми; по-друге, запропонована математична модель, яка описує процес теплопередачі у водоносному пласті, що експлуатується та розв'язана задача визначення температуру підземних вод при водозаборі гідротермальною теплонаслсною системою, що використовує свердловини розташовані паралельно руслу річки; по-третє – визначення відсоток падіння ефективність гідротермальної теплонасосної системи при нестабільних вхідних параметрах пов'язаних з перепадами температури на вході до випарника гідротермальної теплонасосної системи теплообмінний пристрій якої знаходяться під впливом фільтрації підземних вод з поверхневих водних джерел.

Експериментальна установка Інституту відновлюваної енергетики НАН України є теплообмінним пристроєм, який складається із двох свердловин (№ 1 та № 8), поєднаних трубопроводами для циркуляції підземних вод між водоносним горизонтом та будівлею Інституту де встановлено тепловий насос.

Свердловина № 1 пробурена до глибини 57 м. Свердловина № 8 пробурена на відстані 11,5 м від свердловини № 1. Глибина свердловини № 8 складає 50 м. Для обох свердловин продуктивним є Полтавський водоносний горизонт. Складається горизонт з дрібно-зернистих пісків, що залягають в інтервалі глибин 34–57 м. Статичний рівень води в свердловинах становить 40 м.

В геоморфологічному відношенні ділянка експериментальної установки розташована на території останця Київського лесового плато, який обмежений із заходу – Новосілецькою, з півдня – Хотівською і зі сходу – Феофаніївською балками.

На дні балок розташовані водотоки з озерами, що мають непостійний характер, який на пряму залежить від кількості атмосферних опадів.

Полтавський водоносний горизонт виходить на денну поверхню на відстані 100 метрів від місця розташування свердловин. А за 300 метрів від свердловин на дні балки розташоване озеро. Перепад висот між гирлом свердловини та дном балки де розташоване озеро складає 40 метрів.

Відповідно до поставленого завдання дослідження для вимірювань температури у свердловині були встановлені датчики температури (термоперетворювачі опору) ТСП-204, на глибину: 42 м, 39 м, 34 м, 29 м. (рис. 1).

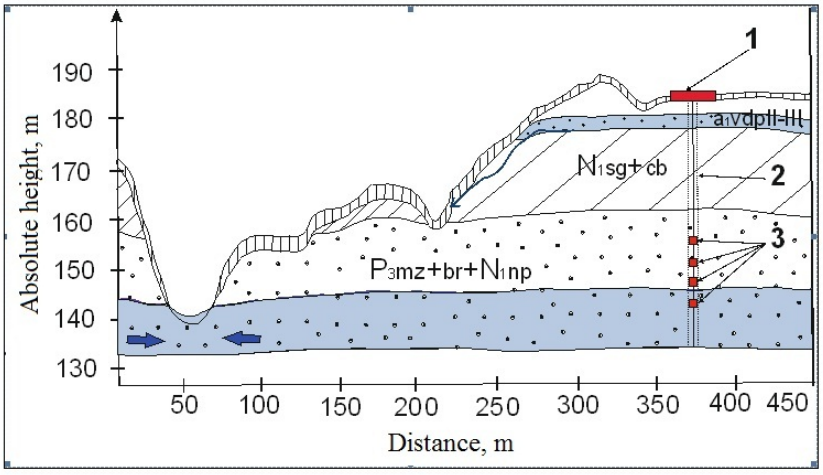


Рис. 1. Гідрогеологічний розріз території формування теплового режиму ділянки дослідження: 1 – ділянка дослідження; 2 – спостережна свердловина; 3 – датчики температури

Запроваджена в ІВЕ НАНУ автоматизована комп'ютерна система моніторингу забезпечила системність вимірювань, їх високу точність та дискретність.

Аналіз накопичених за період спостережень з жовтня 2021 року по лютий 2022 року даних температури води в свердловині, якою розкрито водоносний горизонт, виявив тенденцію їх спрямованого зменшення за цей період. Температура води в свердловині зменшилася на 2,0 °С, при цьому щоденна девіація температури складала від 0,3 °С до 0,9 °С.

Відхилення від лінійного тренда температур води в свердловині дозволяють припустити наявність річної компоненти в варіаціях цих характеристик. Прямий кореляційний зв'язок між варіаціями температур повітря і води в свердловині свідчать про вплив сезонних атмосферних змін температур на глибинах залягання водоносного горизонту.

Теоретично можна припустити, що це значення можуть бути завищені, враховуючи можливі неточності у вимірах.

Виникає питання необхідності статистичного підходу, як до інтерпретації отриманих даних, так і їх розрахунку.

Для перевірки отриманих результатів та визначення зміни значень температури та води нижче нейтрального шару температур за рахунок інфільтрації від водойми, що знаходиться поруч з водозабором було застосовано математичний апарат [15].

За припущення, що фільтраційний і тепловий потоки є одномірними, тобто натиск підземних вод, швидкість фільтрації, а відповідно температура і щільність теплового потоку та інші фільтраційні теплові елементи змінюються в залежності тільки від однієї координати x і від часу t, то щільність (інтенсивність) теплового потоку через елемент пласта mdx (m – потужність пласта), можливо виразити наступним рівнянням:

$$W = W_{\lambda} + W_{K} + W_{\varepsilon}. \tag{1}$$

Перший член у правій частині цього рівняння характеризує молекулярне, або кондуктивне, перенесення тепла, згідно із законом Фур'є прямо пропорційне коефіцієнту теплопровідності та градієнту температури:

$$W_{\lambda} = -\lambda m \frac{\partial T}{\partial x}; \tag{2}$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, ккал/м • годину • град.; – потужність пласта, м; – температура, град.

Якщо виходити з передумови про миттєве вирівнювання температури рідини, що фільтрується, і скелета породи, то коефіцієнт теплопровідності можна представити в такому вигляді:

$$\lambda = \lambda_{ж} n_0 + \lambda_{ск}(1 - n_0); \tag{3}$$

де $\lambda_ж$ і $\lambda_{ск}$ – теплопровідність відповідно рідини та скелета; n_0 – пористість породи.

Другим членом у рівнянні (1) оцінюється конвективне перенесення тепла рідиною, пов'язане з власне гідродинамічних факторами і прямо пропорційне швидкості фільтрації:

$$W_K = C_{ж} T q_x. \tag{4}$$

Тут $C_{ж} = C_{0ж}\gamma_{ж}$ – об'ємна теплоємність рідини, ккал/м^3 • град; $C_{ож}$ – питома теплоємність рідини, ккал/кг • град; $\gamma_{ж}$ – об'ємна вага, кг/м^3; $q_x = m\upsilon_x$ – складова витрат, м^2 / год; υ_x – швидкість фільтрації, м / год.

Третій член рівняння (1) визначає частину теплового потоку, обумовлену так званим дросельним ефектом або ефектом Джоуля – Томсона (тобто підвищенням температури та нагріванням пласта в результаті роботи сил тертя частинок рідини шляхом фільтрації):

$$W_{\varepsilon} = C_{ж} T_{\varepsilon} q_x \tag{5}$$

У цьому рівнянні T_{ε} – зміна температури під впливом дросельного процесу. При певних припущеннях будемо вважати, що зміна температури прямо пропорційно зміни тиску:

$$T_{\varepsilon} = -\varepsilon P, \tag{6}$$

де ε – усереднений коефіцієнт Джоуля – Томсона, м^2 град / кг; P – тиск рідини, кг/м^3.

У рівнянні (1) опущена складова теплового потоку, що виникає при нагріванні рідини внаслідок її стисливості під впливом зміни зовнішнього тиску адіабатичний нагрів). У зв'язку з надзвичайно малими значеннями температурного коефіцієнта об'єму (або об'ємного коефіцієнта температурного розширення для води) «вага» зазначеного процесу в загальному тепловому балансі водоносних пластів дуже мала; адіабатичне нагрівання води при підвищенні тиску на 100 атм становить всього 0,15 °С, тобто в 15–20 разів менше нагрівання під впливом дросельного ефекту.

Склавши вирази (2), (4), (5), матимемо наступне рівняння для щільності теплового потоку:

$$W = -\lambda m \frac{\partial T}{\partial x} + C_{ж} T q_x + \varepsilon C_{ж} T q_x. \tag{7}$$

З іншого боку, можна написати рівняння нерозривності чи балансу теплового потоку:

$$\frac{\partial W}{\partial x} = -C_{П} m \frac{\partial T}{\partial t} + \lambda_{П} \frac{\partial T_{П}}{\partial n} - \lambda_{К} \frac{\partial T_{К}}{\partial n}. \tag{8}$$

Тут ліва частина дає збільшення кількості тепла шляхом руху рідини, права – відповідні зміни кількості тепла в часі ($C_{П} m \frac{\partial T}{\partial t}$; t-час) і віддачу тепла в породи підошви і покрівлі ($\lambda_{П} \frac{\partial T_{П}}{\partial n}$ та $\lambda_{К} \frac{\partial T_{К}}{\partial n}$; n – нормаль до площин підошви і покрівлі).

Коефіцієнт $C_{п}$ перед похідною температури за часом є повною об'ємною теплоємністю пласта:

$$C_{П} = C_{0.ж} \gamma_{ж} n_0 + C_{0.ск} \gamma_{ск} (1 - n_0) \tag{9}$$

де $C_{0\cdot ск}$ – питома теплоємність скелета породи, ккал / кг • град; $\gamma_{ск}$ – його об'ємна вага, кг / м^3.

Спільне рішення рівнянь (7) та (8) призводить до наступного:

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \overline{C} \upsilon_x \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\lambda_{П}}{C_{П} m} \frac{\partial T_{П}}{\partial n} - \frac{\lambda_{К}}{C_{П} m} \frac{\partial T_{К}}{\partial n} = \frac{\partial T}{\partial \tau}. \tag{10}$$

Тут $a = \frac{\lambda}{C_{П}}$ та $\overline{C} = \frac{C_{ж}}{C_{П}}$.

Рівняння (10) є вихідним диференціальним рівнянням теплопередачі в одновимірному потоці підземних вод. Так само можна вивести рівняння для двовимірних потоків, а також для потоків з осьовою симетрією.

Розглянемо задачу визначення температури підземних вод під час дії водозабору, що має вигляд низки свердловин, розташованої паралельно руслу річки (рис. 2).

Враховуючи, що відкачка виконується в умовах квазісталого режиму фільтрації, отримаємо наступний вираз для напору H і швидкості фільтрації υ_x:

$$H = H_e - \frac{q_0}{km} x; \qquad \upsilon_x = -k \frac{\partial H}{\partial x} = \frac{q_0}{m}; \tag{11}$$

де H_e – початкова потужність водоносного пласта (до початку відкачування зі свердловини); m – середня потужність пласта в процесі відкачування.

Вираз (11) слід підставити в рівняння (10), яке в цьому разі випадку буде описувати процес теплопередачі в експлуатаційному водоносному пласті. Будемо розв'язувати це рівняння за таких умов:

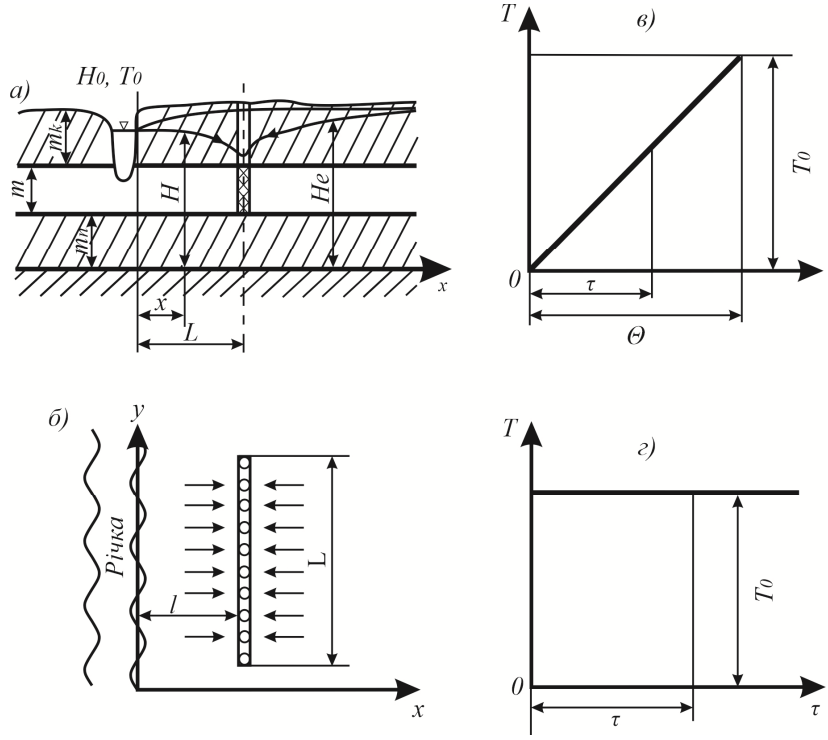


Рис. 2. Схема до задачі про зміну температури підземних вод під час дії берегового водозабору: а – розріз; б – план; в, г – графіки температури води в річці

$$t = 0;\ T = T_н; \tag{12}$$

$$t > 0;\ t = 0;\ T = \frac{T_0 - T_н}{\theta} t\ ; \tag{13}$$

де $T_0 - T_н$ – повний перепад температури на межі пласта, тобто в річці, за час θ (рис. 2, в);

$$t > 0;\ x = \infty;\ T \neq \infty; \tag{14}$$

Умовою (14) характеризується лінійна зміна температури води, що надходить у пласт із річки. У окремому випадку можна прийняти

$$T_o - T_н = const. \tag{15}$$

Для оцінки теплових втрат у підошву і покрівлю пласта приймемо спочатку наближену передумову про сталість температури в них протягом усього процесу фільтрації. Тоді нормальні похідні в рівнянні (10) можна виразити таким чином:

$$\frac{2\alpha}{C_п}(T - T_н). \tag{16}$$

Тут α – коефіцієнт теплообміну. У цьому разі розв'язок рівняння (10) за умов (12) і (13) матиме наступний вигляд:

$$T = T_н + T_0 - T_н \frac{t}{\theta} e^{\frac{Pe}{2}\sqrt{\frac{p_e^2}{4} + \frac{12x^2}{m^2}}};\quad R_л(x,t).\cdot \tag{17}$$

$$R_л(x,t) = \frac{1}{2}\left[\left(1 + \frac{\xi}{\eta}\right) e^{4\xi\eta} erfc(\xi + \eta) + \left(1 - \frac{\xi}{\eta}\right) erfc(\xi - \eta)\right]; \tag{18}$$

де $\xi = \frac{1}{2\sqrt{F_0}};\quad \eta = \sqrt{\left(\frac{P_e^2}{4} + 12\frac{x^2}{m^2}\right)F_0};\quad F_0 = \frac{at}{x^2};\quad P_e = \frac{\overline{C}\upsilon_x x}{a}.$

Якщо замість умови (14) прийняти, що на межі пласта температура піднімається стрибкоподібно до величини T_0 та згідно з умовою (15) підтримується постійною, то розв'язок відносно T(x, t) також може бути поданий загальною формулою (19), але в ній слід приймати $\frac{t}{\theta} = 1$, а функцію $R_л$- за такою залежністю:

$$R_л(x,t) = \left[e^{4\xi\eta} erfc(\xi + \eta) + erfc(\xi - \eta)\right]; \tag{19}$$

Граничні значення $R_л$ функції за (18) і (19) такі: при умові, що t=0 $R_л$=0; при t=∞ $R_л$=1. За останньої умови в разі підйому температури води в річці за лінійним законом, як випливає з рівняння (17), у пласті з часом відбувається безперервне зростання температури, а в разі стрибкоподібного підйому температури води в річці в пласті встановлюється стаціонарний розподіл температури.

Не враховуючи конвективну теплопередачу, тобто за P_e=0, замість формул (17) і (19) отримаємо:

$$R_л(x,t) = \left[e^{4\xi\eta} erfc(\xi + \eta) + erfc(\xi - \eta)\right]; \tag{20}$$

Розрахунок за цією формулою показує [15], що при підйомі температури води в річці з 8 ºС до 30 ºС через 50 діб температура підземних вод на відстані 10 м збільшується на 2,2 ºС і далі, до τ = 200 діб не змінюється (рис. 3).

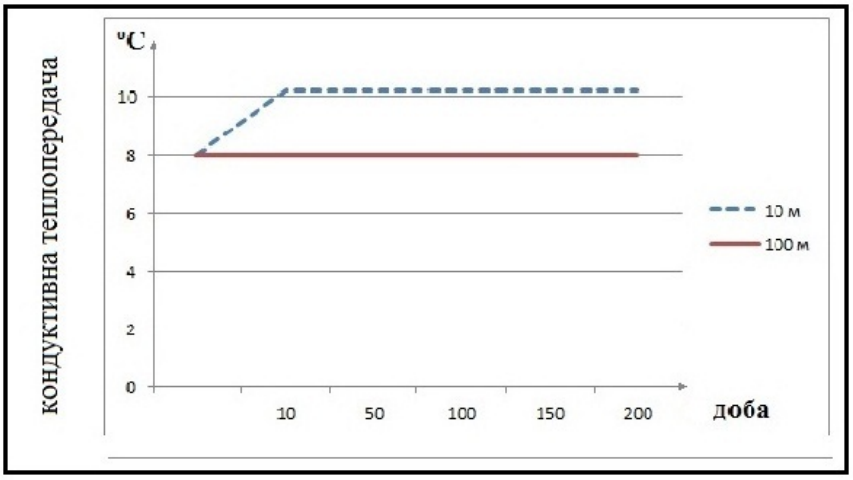


Рис. 3. Графік зміни температури підземних вод без врахування конвективної теплопередачі

Якщо ж знехтувати кондуктивною теплопровідністю в основному фільтрувальному шарі, тобто прийняти для нього λ=0 (при цьому коефіцієнт теплопровідності покрівлі та підошви λ> 0), то розв'язання задачі матиме такий вигляд:

$$T = T_н + \left(T_0 - T_н\right) e^{-\frac{12ax}{q_o Cm}}, \tag{21}$$

Результати розрахунку за цією формулою для умов розглянутого прикладу наводяться на рис. 4.

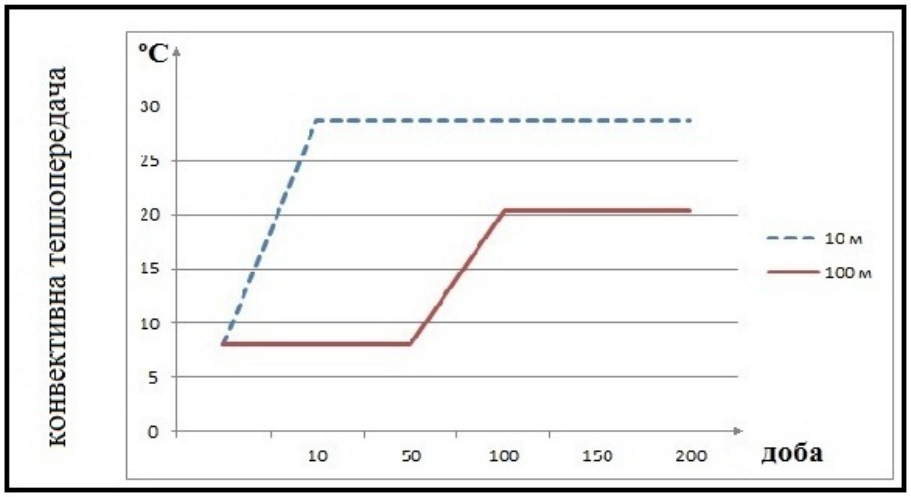


Рис. 4. Графік зміни температури підземних вод без врахування кондуктивної теплопровідності

На відстані 100 м вплив річки за 50 діб зовсім не відбувається. А після 100 діб температура води в водозаборі збільшується до 20,4 ºС, що складає 70% від максимального підйому температури річкової води.

З отриманих аналітичним шляхом даних можливо зробити висновок, що визначальним фактором у нагріванні підземних вод є фільтрація, тобто конвективна теплопередача.

Кондуктивна складова, як уже зазначалося раніше, спричиняє тільки деяке розсіювання теплового фронту. У разі, коли має місце тільки конвекція, тепловий фронт набуває різких обрисів, при цьому відбувається поршневе витіснення підземних вод нагрітими водами, що фільтруються, з річки.

Відповідно до третьої поставленої задачі дослідження було проаналізовано ефективність роботи гідротермальної теплонасосної системи при нестабільних вхідних параметрах пов'язаних з перепадами температури на вході до ГідроТС.

Для оцінки енергетичної ефективності теплонасосної установки використовується коефіцієнт трансформації *K* (перетворення теплоти), якій уявляє собою відношення кількості енергії, що генерується тепловим насосом, до кількості енергії, що витрачається на процес перенесення тепла.

Введемо коефіцієнт *k*, який визначає відсоток, на який зменшується ефективність роботи гідротермальної системи в залежності від падіння температури природного теплоносія на вході до випарника теплового насосу [16]. Цей коефіцієнт визначається за формулою:

$$k = \left(1 - \left[\frac{T_{i\,out}}{T_{i\,out} - T_{i\,in}} \times \frac{T_{s\,out} - T_{s\,in}}{T_{s\,out}}\right]\right) \times 100\%, \tag{22}$$

де $T_{i\,out}$ – температура на виході з конденсатору теплового насоса при *i-тій* температурі природного теплоносія на вході до випарника теплового насосу; $T_{s\,out}$ – температура на виході з конденсатору теплового насоса при стабільній температурі природного теплоносія на вході до випарника теплового насосу; $T_{i\,in}$ – *i-та* температура на вході у випарник теплового насоса гідротермальної теплонасосної системи; $T_{s\,in}$ – стабільна температура на вході у випарник теплового насоса гідротермальної теплонасосної системи, дорівнює 10 ºС.

На рис. 5 наведено результати розрахунку за формулою (23) відсотку падіння ефективності гідротермальної теплонасосної системи завдяки нестабільності температурного параметра природного теплоносія на вході до випарника теплового насосу. При цьому за базову (максимальну) температуру природного теплоносія на вході до теплового насосу прийнята температура 10 ºС.

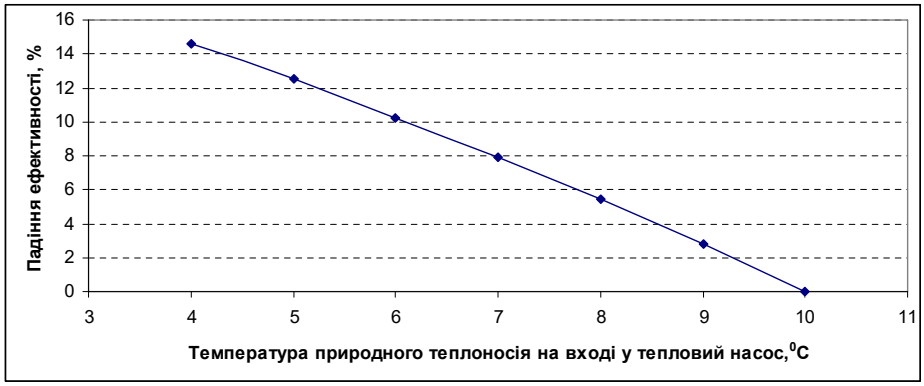


Рис. 5. Зменшення енергетичної ефективності експериментальної теплонасосної установки в залежності від падіння температури природного теплоносія

Висновки

1. Доведено, що на ділянках берегових водозаборів для гідротермальних теплонасосних систем температура води в свердловинах може суттєво змінюватися залежно від температури води в водоймі та відстані від свердловин до водойми.

2. Теоретично обґрунтовано, що основну роль в зміні температури підземних вод є фільтрація, тобто конвективна теплопередача. Кондуктивна складова спричиняє тільки деяке розсіювання теплового фронту.

3. Експериментально встановлено, що безпосередньо в районі житлового комплексу, в межах якого розташована ділянка проведення досліджень, Полтавський водоносний горизонт виходить на денну поверхню на відстані 100 метрів від місця розташування свердловин за рахунок чого цих місцях спостерігається гідравлічний зв'язок горизонту з поверхневими водоймами, що розташовані на дні балок, а живлення горизонту здійснюється безпосередньо за рахунок інфільтрації атмосферних опадів.

4. Обґрунтовано, що під час проектування гідротермальних теплонасосних установок необхідно враховувати, що на ділянках, де перепади висот рельєфу є близькими за розміром з глибиною залягання продуктивного водоносного горизонту коефіцієнт трансформації теплонасосної системи може суттєво відрізнятися від розрахункового.

5. Підтверджено, що для ефективного використання водоносного горизонту як природного акумулятора теплової енергії необхідно проведення попередніх гідрогеологічних досліджень та якісне вивчення як існуючого антропогенного навантаження так і геоморфологічних, геологічних та гідрогеологічних параметрів ділянки проведення бурових робіт.

Список використаної літератури

1. Безродний М. К. Пуховий І. І., Кутра Д. С. Теплові насоси та їх використання: навч. посіб. К. НТУУ «КПІ». 2013. 312 с.

2. Долінський А. А., Драганов Б. Х. Теплові насоси у системі теплопостачання будівель. Промислова теплотехніка. 2008. т. 30. № 6. С. 71–83.

3. Кудря С.О. Відновлювані джерела енергії. ІВЕ НАН України. Київ. 2020. 354 с.

4. Морозов Ю.П., Чалаєв Д.М., Ніколаєвська Н.В., Добровольський М.П. Оцінка ефективності використання теплового потенціалу довкілля та верхніх шарів Землі України. Відновлювана енергетика. 2019. №4(63). С. 80–88. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.4(63).80-88

5. Zhu Ke, Blum Philipp, Ferguson Grant, Balke Klaus-Dieter, Bayer Peter. The geothermal potential of urban heat islands. 2010. Environ. Res. Lett. no. 5. pp. 1-6. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/019501

6. Морозов Ю.П. та ін Енергетична ефективність використання перших від поверхні водоносних горизонтів для тепло- і хладопостачання. Ю.П. Морозов, А.А. Барило, Д.М. Чалаєв, М.П. Добровольський. Відновлювана енергетика. 2019. № 2. С. 70-78. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2(57).70-78

7. Zurian O. V. Comparison of efficiency of geothermal and hydrothermal energy systems. XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Renewable Energy Sources and Clean Tech. Varna. Bulgaria. 2019. С. 83-90. https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S17.011

8. Малкін Е.С., Кулінко Є.О. Перспективи та аспекти застосування систем теплохолодопостачання, які використовують приповерхневі шари води в якості теплового акумулятора. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2014. № 17. С. 63–69.

9. Морозов, Ю. П., Жохін, А. С. (2023). Теплообмін при русі геотермального теплоносія у свердловині. Відновлювана енергетика, 4(71), 83-89. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4(71).83-89

10. Kordas Olga, Nikiforovich Eugene. A phenomenological theory of steady-state vertical geothermal systems: A novel approach https. Energy 175 (2019) 23-35. doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.030

11. Yoon S, Lee SR, Kim MJ, Kim WJ, Kim GY, Kim K. Evaluation of stainless steel pipe performance as a ground heat exchanger in ground-source heat-pump system. Energy 2016;113:328e37. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.057

12. Stylianou I, Florides G, Tassou S, Tsiolakis E, Christodoulides P. Methodology for estimating the ground heat absorption rate of Ground Heat Exchangers. Energy 2017;127:258e70. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.070

13. Зур'ян О.В. Експериментальні дослідження теплового режиму гідротермальної теплонасосної системи. Відновлювана енергетика. 2021. № №4(67). С. 77–89. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).77-89

14. Зур'ян О.В. Врахування антропогенного впливу та геоморфологічних умов на підземну гідросферу при проектуванні гідротермальних теплонасосних систем. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. № 1(132). 2022. С. 192–202. https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.1.26

15. Бочевер Ф.М. та інші. Основи гідрогеологічних розрахунків / Ф.М. Бочевер, І.В. Гармонов, А.В. Лебедєв, В.М. Шостаков. Надра, 1969. 366 с.

16. Zurian O.V., Barilo A.A. Impact of the natural temperature regime of the upper layers of earth on efficiency of a hydrothermal heat pump system. Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2022. Vol. 31. No 3. C. 575–584. https://doi.org/10.15421/112254

References

1. Bezrodnyi M. K. Pukhovyi I. I., Kutra D. S. Teplovi nasosy ta yikh vykorystannia: navch. posib. K. NTUU "KPI". 2013. 312 s.

2. Dolinskyi A. A., Drahanov B. Kh. Teplovi nasosy u systemi teplopostachannia budivel. Promyslova teplotekhnika. 2008. t. 30. № 6. S. 71–83.

3. Kudria S.O. Vidnovliuvani dzherela enerhii. IVE NAN Ukrainy. Kyiv. 2020. 354 s.

4. Morozov Yu.P., Chalaiev D.M., Nikolaievska N.V., Dobrovolskyi M.P. Otsinka efektyvnosti vykorystannia teplovoho potentsialu dovkillia ta verkhnikh shariv Zemli Ukrainy. Vidnovliuvana enerhetyka. 2019. № 4(63). S. 80–88. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2020.4(63).80-88

5. Zhu Ke, Blum Philipp, Ferguson Grant, Balke Klaus-Dieter, Bayer Peter. The geothermal potential of urban heat islands. 2010. Environ. Res. Lett. no. 5. pp. 1–6. http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/019501

6. Morozov Yu.P. ta in Enerhetychna efektyvnist vykorystannia pershykh vid poverkhni vodonosnykh horyzontiv dlia teplo- i khladopostachannia. Yu.P. Morozov, A.A. Barylo, D.M. Chalaiev, M.P. Dobrovolskyi. Vidnovliuvana enerhetyka. 2019. № 2. S. 70–78. DOI: https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2(57).70-78

7. Zurian O. V. Comparison of efficiency of geothermal and hydrothermal energy systems. XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Renewable Energy Sources and Clean Tech. Varna. Bulgaria. 2019. С. 83–90. https://doi.org/10.5593/sgem2019/4.1/S17.011

8. Malkin E.S., Kulinko Ye.O. Perspektyvy ta aspekty zastosuvannia system teplokholodopostachannia, yaki vykorystovuiut prypoverkhnevi shary vody v yakosti teplovoho akumuliatora. Ventyliatsiia, osvitlennia ta teplohazopostachannia. 2014. №17. S. 63–69.

9. Morozov, Yu. P., Zhokhin, A. S. (2023). Teploobmin pry rusi heotermalnoho teplonosiia u sverdlovyni. Vidnovliuvana enerhetyka, 4(71), 83–89. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4(71).83-89

10. Kordas Olga, Nikiforovich Eugene. A phenomenological theory of steady-state vertical geothermal systems: A novel approach https. Energy 175 (2019) 23–35. doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.030

11. Yoon S, Lee SR, Kim MJ, Kim WJ, Kim GY, Kim K. Evaluation of stainless steel pipe performance as a ground heat exchanger in ground-source heat-pump system. Energy 2016;113:328e37. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.057

12. Stylianou I, Florides G, Tassou S, Tsiolakis E, Christodoulides P. Methodology for estimating the ground heat absorption rate of Ground Heat Exchangers. Energy 2017;127:258e70. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.070

13. Zurian O.V. Eksperymentalni doslidzhennia teplovoho rezhymu hidrotermalnoi teplonasosnoi systemy. Vidnovliuvana enerhetyka. 2021. № №4(67). S. 77–89. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).77-89

14. Zurian O.V. Vrakhuvannia antropohennoho vplyvu ta heomorfolohichnykh umov na pidzemnu hidrosferu pry proektuvanni hidrotermalnykh teplonasosnykh system. Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho. № 1(132). 2022. S. 192–202. https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.1.26

15. Bochever F.M. ta inshi. Osnovy hidroheolohichnykh rozrakhunkiv. /F.M. Bochever, I.V. Harmonov, A.V. Lebediev, V.M. Shostakov. Nadra, 1969. 366 s.

16. Zurian O.V., Barilo A.A. Impact of the natural temperature regime of the upper layers of earth on efficiency of a hydrothermal heat pump system. Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2022. Vol 31. No 3. C. 575–584. https://doi.org/10.15421/112254

УДК 621.317 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.3

Д. М. КВАШУК
кандидат економічних наук, доцент,
докторант кафедри електроенергетичних систем та технологій
Національний авіаційний університет
ORCID: 0000-0002-4591-8881

О. Є. ЛІПКОВ
студент кафедри бізнес-аналітики та цифрової економіки
Національний авіаційний університет
ORCID: 0009-0008-3507-9210

МЕТОД АВТОМАТИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НАПРУГИ

У статті розглядається проблема виявлення систематичних похибок, що виникають у перетворювачах напруги. Такі похибки можуть впливати на точність вимірювальних приладів, що, у свою чергу, є критичною складовою при забезпеченні надійної та ефективної їх роботи. Розглядаються шляхи вирішення проблеми корекції систематичних похибок, шляхом аналізу алгоритмів та методів обробки вимірювальних даних. Розкривається важливість вирішення цієї проблеми в загальній концепції вимірювань. Запропоновано класифікацію систематичних похибок, що може допомогти в розумінні їх природи та впливу на результати вимірювань. Особливу увагу приділено методу, який базується на стабілізації функції перетворення з метою зменшенні чутливості до дестабілізуючих факторів. Метод оснований на нейронній мережі, що розширює можливості діагностики та контролю роботи електродвигунів шляхом визначення обертального моменту по таким параметрам, як напруга, струм та кутова швидкість. Запропонований метод враховує нелінійність вимірювального каналу, що є критично важливим аспектом при роботі з електродвигунами. Нелінійність може виникати в результаті взаємодії різних фізичних процесів у системі. Це відкриває нові перспективи в області промислової автоматизації, оскільки точне визначення обертального моменту є критично важливим для оптимізації роботи електромеханічних систем. В процесі дослідження було з'ясовано, що застосування цього методу дозволяє не тільки прогнозувати обертальний момент, а й значно покращити якість вимірювань шляхом фільтрації вимірювального каналу. Фільтрація вимірювального каналу дозволила зменшити вплив зовнішніх факторів, таких як шуми, коливання напруги, температурні зміни та інші, що можуть спотворювати результати вимірювань.

Ключові слова: *похибка, вимірювання, обертальний момент, електродвигун, автокорекція, прилад, точність.*

D. M. KVASHUK
Ph.D. in Economics, Associate Professor,
Doctoral Student at the Department of Electrical Energy Systems
and Technologies
National Aviation University
ORCID: 0000-0002-4591-8881

O. YE. LIPKOV
Student at the Department of Business Analytics and Digital Economy
National Aviation University
ORCID: 0009-0008-3507-9210

A NEW METHOD OF AUTOMATIC CORRECTION OF SYSTEMATIC ERRORS OF VOLTAGE CONVERTERS

The article deals with the problem of detecting systematic errors arising in voltage converters. Such errors can affect the accuracy of measuring devices, which, in turn, is a critical component in ensuring their reliable and efficient operation. Ways to solve the problem of correcting systematic errors are considered by analyzing algorithms and methods of processing measurement data. The importance of solving this problem in the general concept of measurements is revealed. A classification of systematic errors is proposed, which can help in understanding their nature and impact on measurement results. Special attention is paid to the method based on the stabilization of the transformation function in order to reduce the sensitivity to destabilizing factors. The method is based on a neural network, which expands the possibilities of diagnostics and control of electric motors by determining the torque by parameters such as voltage, current and angular velocity. The proposed method takes into account the nonlinearity of the measuring channel, which is a critically important aspect when working with electric motors. Nonlinearity can arise as a result of the interaction of

various physical processes in the system. This opens up new perspectives in the field of industrial automation, as accurate determination of torque is critical for optimizing the operation of electromechanical systems. During the research, it was found that the application of this method allows not only to predict the torque, but also to significantly improve the quality of measurements by filtering the measuring channel. Filtering the measuring channel made it possible to reduce the influence of external factors, such as noise, voltage fluctuations, temperature changes and others, which can distort the measurement results.

Key words: *error, measurement, torque, electric motor, autocorrection, device, accuracy.*

Постановка проблеми

В переважна кількість сенсорів має вихідні аналогові сигнали, які піддаються процесу перетворення в цифрову форму. Однак, проблемою, з якою стикаються датчики цього типу, є нелінійність окремих характеристик та вразливість до впливу дестабілізуючих факторів. Похибка, пов'язана з не лінійністю може бути апроксимована за допомогою лінійних відрізків, скорегована на основі градуювальних таблиць, оброблена спеціальними корегуючи ми алгоритмами, тощо. Разом з тим, існує проблема корегування похибок вимірювальних величин, пов’язана з визначенням контрольних точок, які використовуються для перетворення вихідної аналогової величини. Для вирішення цих задач, зазначений діапазон розділяється на сегменти, при цьому кордони цих сегментів мають відповідати контрольним значенням, для яких теоретично відомі точні значення вихідних кодів. Це дозволяє компенсувати нелінійність перетворення та збільшити точність. Проте, вплив додаткових дестабілізуючих факторів, значною мірою ускладнює формування контрольних точок, що обумовлено, як випадковими похибками, так і особливостями роботи самих перетворювачів. Тому, зважаючи на те, що відомі теоретичні методи та моделі корегування точності вимірювальних приладів широко описують залежності багатьох перетворювачів, окремі види дестабілізуючих факторів, які недостатньо вивчені, потребують розпізнавання. Для цього потрібен експериментально-статистичний підхід, який дозволяє детально описати закономірності конкретних явищ в конкретних умовах часу. Але, для того, щоб сформувати класифікацію окремих впливів на вимірювальну систему, потрібні засоби для навчання, наприклад засоби машинного навчання, або застосовування штучних нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Методи автоматичної корекції можна розбити на три групи [1, 2, 3, 4]: методи, що коригують нульову точку характеристики перетворювача напруги при її зміщенні щодо встановленої під час градуювання – автокорекція нуля; методи, що коригують масштаб перетворення, зміна якого пов'язана із зміною кута нахилу характеристики перетворювача напруги – автокорекція швидкості нахилу зміни вихідного сигналу; методи, що виправляють вплив нелінійності характеристик перетворювача напруги – автокорекція нелінійності.

Залежно від форми подання коригувальних сигналів, можна говорити про аналогові та цифрові методи автокорекції. При використанні аналогових методів автокорекції охоплюються або окремі аналогові елементи, або повністю вся аналогова частина перетворювачів напруги. В свою чергу, до переваг аналогових методів слід віднести відносну простоту схемних рішень. Проте, складність полягає у досягненні необхідних перехідних корегувальних характеристик. Тут, особливу увагу слід приділити систематичним похибкам. Загально відома класифікація яких, має наступний вигляд [5, 6, 7] (рис. 1).

Серед них, такими що потребують найбільшої уваги можна вважати метод автокорекції швидкості нахилу зміни вихідного сигналу. Оскільки діагностувати вплив дестабілізуючих факторів на масштаб перетворення в умовах високого коефіцієнту підсилення вимірювального каналу, досить складно, необхідно визначити структуру та рівень впливу дестабілізуючих факторів з метою подальшої фільтрації. Перетворення аналогового сигналу можна представити наступним виразом:

$$\frac{dy}{dt} = k \cdot \frac{dx}{dt}, \tag{1}$$

де y – вихідний сигнал; t – час; x – швидкість нахилу; k – коефіцієнт підсилення.

Так, при збільшенні *k* збільшується і вплив дестабілізуючих факторів. Тому, для визначення похибок квантування, в умовах невизначеності, де вихідний аналоговий сигнал, наприклад, синусоїдальний, швидко змінюється (рис. 2), зробити розбивку неперервної величини на скінченну кількість інтервалів зміни вимірювальної величини Δy_n, що відповідають заданій точності, досить складно.

Для вирішення цієї проблеми необхідно визначити інші складові похибок, що може бути реалізовано шляхом машинного навчання, або із застосуванням нейронних мереж. Загально відомі класифікації похибок вимірювальних приладів не повною мірою відображають їх зміст [8, 9, 10], проте їх класифікацію можна розширити (рис. 3).

Для пошуку рішення та виключення впливу похибок вибирають апроксимуючу функцію, яка може бути адитивною, мультиплікативною, адитивно-мультиплікативною та функцією у вигляді ступеня поліному. На практиці найчастіше беруть лінійну апроксимуючу функцію виду:

$$y_a = Fa(x) \; = \; b + a - x, \tag{2}$$

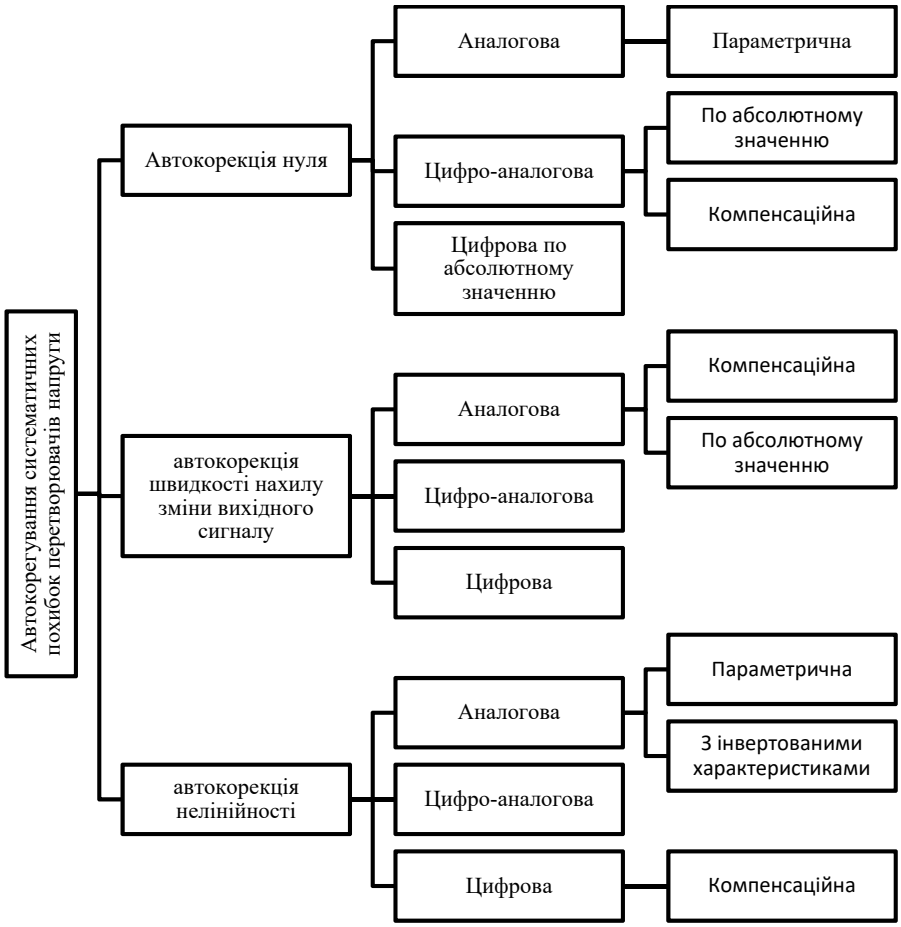


Рис. 1. Класифікація методів автокорекції систематичних похибок

Коефіцієнти a та b апроксимуючої функції визначаються на основі методу еталонних сигналів [11].

Схема реалізації яких для аналогових перетворювачів, що використовуються для корекції адитивних та мультиплікативних похибок представлена на рис. 4. Вона включає в себе вимірювальний комутатор (*K*), який підключає вимірювану величину (*x*) та еталонні величини (U_1, U_2), а також аналоговий перетворювач і обчислювальний блок (*B*).

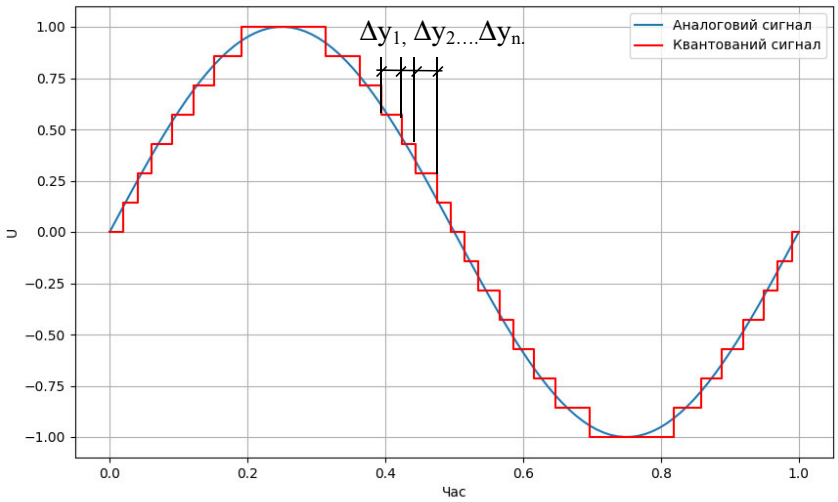


Рис. 2. Похибка квантування в умовах нелінійності вимірювального сигналу

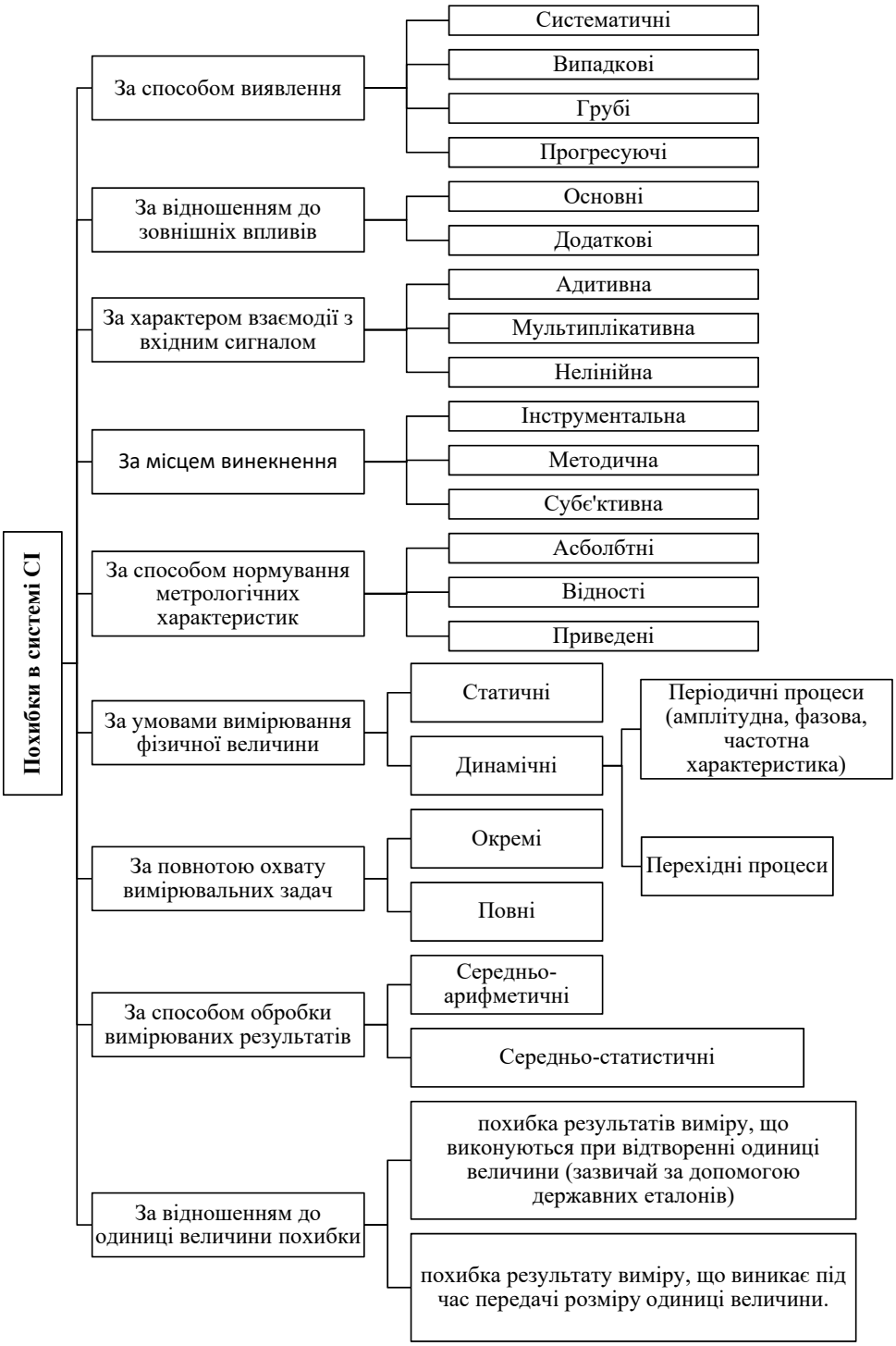


Рис. 3. Класифікація похибок вимірювальних приладів

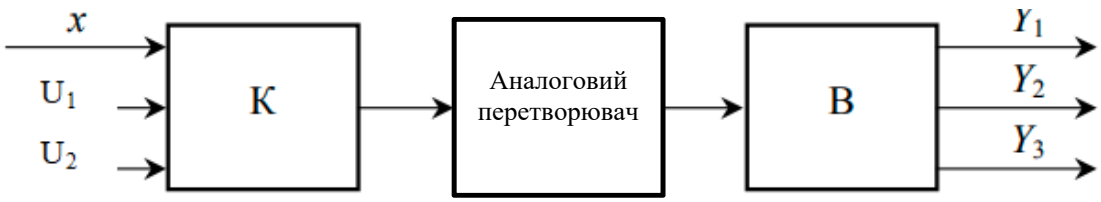


Рис. 4. Схема реалізації методу еталонних сигналів для корекції адитивної та мультиплікативної похибок аналогових перетворювачів

Реалізуючи за допомогою даної схеми три вимірювання, отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} a \cdot x + b = y_1 \\ a \cdot U_1 + b = y_2, \\ a \cdot U_2 + b = y_3 \end{cases} \quad (3)$$

де y_1, y_2, y_3 – значення вихідного коду аналогового перетворювача, при подачі на його вхід відповідно величин x, U_1, U_2. Шуканими змінними є a, b, x.

Більш досконалим, що використовує зворотний зв'язок є ітераційний алгоритм автоматичної корекції похибки (рис. 4), що побудований на основі

розглянутого адитивно-мультиплікативного алгоритму у поєднанні з методом дотичних, застосовним для вирішення нелінійних задач. За методом дотичних автоматична корекція похибок досягається шляхом зміни апроксимуючої функції двох змінних b_i та a_i. Сутність роботи ітераційного адитивно-мультиплікативного алгоритму корекції похибок аналогових перетворювачів представлена на рис. 5.

Існує багато інших алгоритмів корекції похибок [12, 13], проте значна частина з них базуються на певній моделі, або припущенні про систему вимірювання. Якщо модель неправильно відображає реальні умови, або джерела похибок, то результати корекції можуть бути неточними. Навіть найкращі алгоритми корекції не можуть усунути всі похибки вимірювання без обмежень, оскільки такі фактори, як шум, не лінійність, або недосконаліть датчиків, впливають на точність вимірювання. Тому, корекційні алгоритми можуть зменшити похибки, але не здатні до повного їх усунення.

Мета статті: вивчення систематичних похибок у перетворювачах напруги, знаходження шляхів підвищення точності вимірювань, розробка нового методу корекції за допомогою штучних нейронних мереж для підвищення точності вимірювань обертальних параметрів електродвигуна.

Викладення основного матеріалу дослідження

Штучні нейронні мережі можуть бути потенційним рішенням для вирішення багатьох проблем пов'язаних із алгоритмами корекції похибок вимірювання. Так, їх можна застосовувати для моделювання складних нелінійних залежностей між вимірювальними даними та похибкою. Вони, можуть бути корисними в адаптації до змінних умов вимірювання, а саме навчатися на основі нових даних та адаптуватися до змін в джерелах похибок, або параметрах системи. Це дає їм гнучкість і можливість враховувати динамічні зміни вимірювань. Нейронні мережі можуть автоматично вивчати оптимальні параметри корекційного алгоритму, включаючи параметри моделі та корекційні коефіцієнти. Це дозволяє їм можливість адаптуватися до різних джерел похибок і забезпечувати більш точну корекцію.

Разом з тим, це вимагає додаткових обчислювальних ресурсів та знань про їх налаштування. Крім того, враховуючи розмаїття алгоритмів і архітектур штучних нейронних мереж, важливо вибрати відповідну модель, що відповідає конкретним вимогам та особливостям проблеми корекції похибок вимірювання.

З метою апробації роботи нейронних мереж в задачах корегування статичних похибок, розглянемо практичний приклад перетворення напруги у цифровий код перетворювачем тензометричного типу обертального моменту електродвигуна, що має наступну функціональну залежність:

$$y = Q\left(V, Q_{step}\right), \quad (4)$$

де y – цифрове представлення аналогового сигналу; Q – функція квантування, яка апроксимує значення аналогового сигналу до найближчого дискретного значення; V – значення аналогового сигналу, яке підлягає перетворенню; Q_{step} – крок квантування, що визначає мінімальну зміну значення цифрового коду. При цьому у формулі не враховано ряд дестабілізуючих факторів. Тому, врахуємо наявну кількість похибок, що мають вплив на вхідні

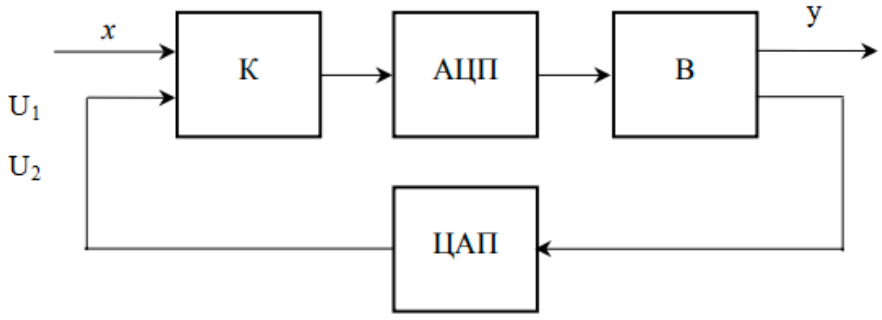


Рис. 5. Схема реалізації ітераційного алгоритму автоматичної корекції похибки аналогового перетворювача

параметри вимірювання x_i. Визначимо вихідний сигнал перетворювача y_i. Нехай мережа складається із L шарів. Кожен шар містить n_l нейронів. Функція активації для нейронів у шарі l буде позначатися як f_l. Загальна форма рівняння для нейронної мережі з L шарами та функцією активації f_l може мати наступний вигляд:

$$\hat{y} = f_L\left(\sum_{j=1}^{n_L} w_j^{(L)} f_{L-1}\left(\sum_{i=1}^{n_{L-1}} w_{j,i}^{(L-1)} f_{L-2}\left(\ldots f_1\left(\sum_{i=1}^{n_1} w_{j,i}^{(1)} x_i + b_j^{(1)}\right)\ldots\right) + b_j^{(L-1)}\right) + b_j^{(L)}\right), \tag{5}$$

де $\hat{y}$ – прогнозоване значення корегую чого сигналу, яке нейронна мережа повинна вивести на основі вхідних даних x_i та відповідних значень обертального моменту, тобто вихідного сигналу y_i; $w_{j,i}^{(L)}$ – вага, яка зв'язує вхід i нейрона з j нейроном у шарі L; $b_j^{(L)}$ – зсув (bias) для jнейрона у шарі L; f_l – функція активації для нейронів у шарі l; n_l – кількість нейронів у шарі L. Відповідно кількість похибок викликана рядом дестабілізуючих факторів має бути врахована, а систем навчена на еталонній моделі. Тоді, це рівняння виконує послідовний прохід від вхідних даних до вихідного значення, розглядаючи кожен шар нейронів окремо.

Кожен нейрон у кожному шарі приймає вхідні дані від попереднього шару, виконує лінійну комбінацію цих даних з відповідними вагами та додає зсув, а потім застосовує функцію активації до цього значення. На виході останнього шару мережі отримуємо коефіцієнт корегування загальної похибки $\hat{y}$, який може бути порівняним зі значенням обертального моменту y_i, тобто фактично вихідним значенням.

Функція втрат (середньоквадратична помилка) може бути представлена наступним виразом:

$$L = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_{\text{pred}} - y_{\text{true}})^2, \tag{6}$$

де L – значення функції втрат, y_{pred} – передбачене значення похибки, y_{true} – вихідне значення перетворювача, N – кількість елементів в навчальному наборі.

З метою проведення тестування методу автокорекції похибки аналогового перетворювача, були проведені експерименти на вимірювальному стенду, що дозволили визначити параметри складових систематичної похибки на прикладі вимірювального перетворювача обертального моменту тензометричного типу. В результаті було отримано дані для навчання нейронної мережі. Розроблено програмний код, який проводить симуляцію роботи вимірювального приладу. Так, на отриманих даних (рис. 6), а саме: струму; напруги; кутової швидкості; обертального моменту, було здійснено навчання нейронної мережі, що дозволило провести ряд експериментів з урахуванням змодельованих дестабілізуючих факторів, зокрема вібрації та нелінійності вимірювального каналу.

Порівняння навчальної вибірки отриманих даних та даних отриманих експериментальним шляхом, дозволило отримати точність запропонованої моделі, а застосування згладжуючого фільтру, дозволило реалізувати корекцію систематичної похибки (рис. 7).

Висновки

Проблема виявлення систематичних похибок, що виникають у перетворювачах напруги, обумовлена неідеальністю самих перетворювачів та зовнішніми факторами, такими як шум, не лінійність, або зміни у параметрах системи. Систематичні похибки можуть призводити до неточних вимірювань та спотворення результатів. Для підвищення точності вимірювань необхідно скоригувати систематичні похибки за допомогою відповідних методів та алгоритмів корекції.

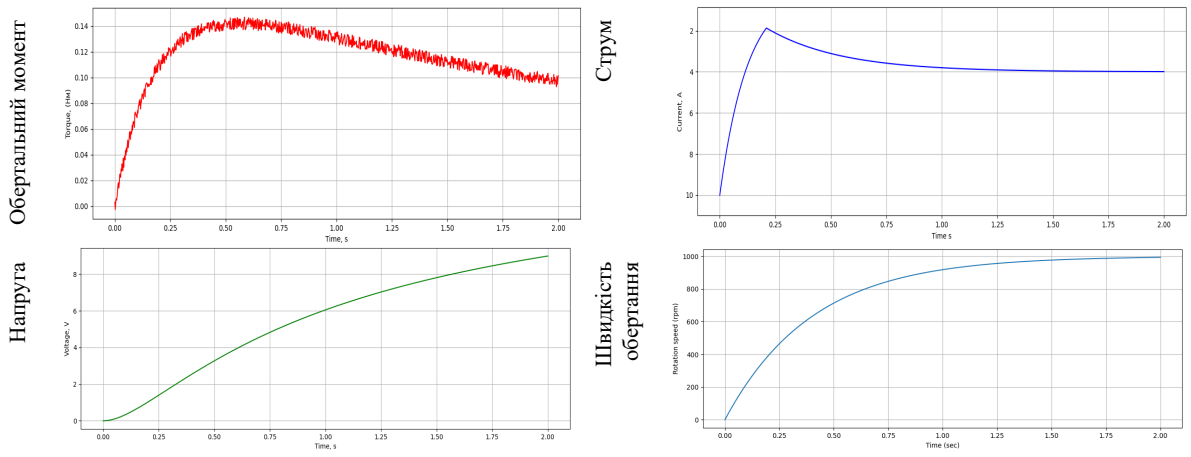


Рис. 6. Дані отримані з вимірювального стенду

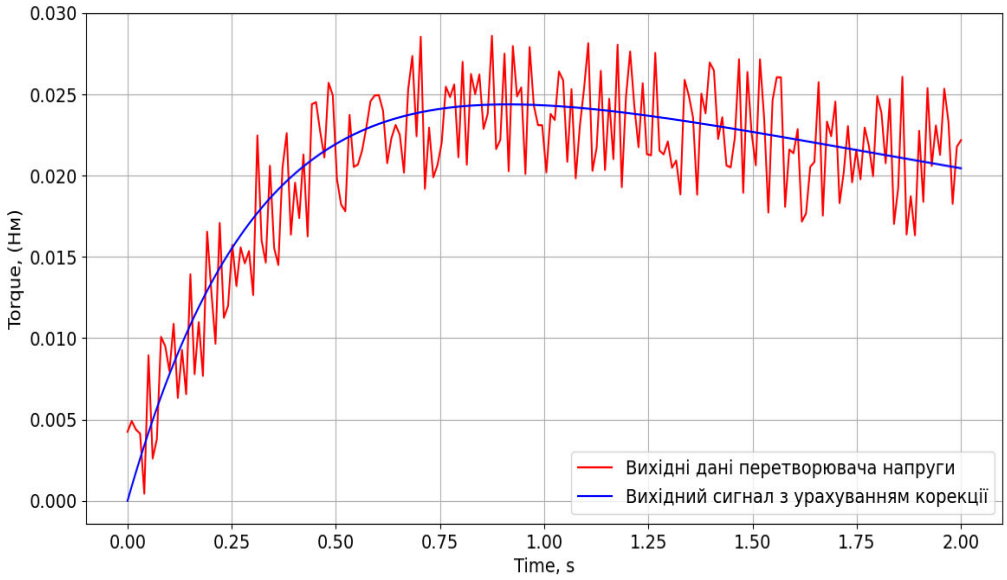


Рис. 7. Порівняння вихідного сигналу перетворювача та скоригованого сигналу з урахуванням корекції на основі нейронної мережі

В результаті дослідження шляхів підвищення точності вимірювань систематичних похибок у перетворювачах напруги визначено, що важливим аспектом є використання методу корекції на основі стабілізації функції перетворення, корекції функції перетворення та визначення оцінки дійсного значення вхідного сигналу.

Застосування штучних нейронних мереж для стабілізації функції перетворення виявилося досить ефективним. Цей підхід дозволив підвищити точність вимірювань обертальних параметрів електродвигуна та зменшити вплив систематичних похибок у перетворювачах напруги.

Список використаної літератури

1. Скрипник, Ю., Юрчик, Г., & Водотовка, В. (2002). Алгоритмічний метод автокорекції та контролю систематичних похибок термоелектричних вимірювальних каналів. Вісник Національного університету "Львівська політехніка", (450: Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології), 199–205.

2. Юрчик, Г. (2014). Структурно-алгоритмічний метод автокалібрування термоелектричних вимірювальних каналів температури в умовах їх експлуатації. Вісник Національного університету Львівська політехніка. Комп’ютерні науки та інформаційні технології, (800), 205–211.

3. Bromberg, É. M. (1971). Autocorrecting tensometric weighing systems. Measurement Techniques, 14(5), 691–693.

4. Gibson, J. E., & Sridhar, R. (1963). A new dual-input describing function and an application to the stability of forced nonlinear systems. IEEE Transactions on Applications and Industry, 82(66), 65–70.

5. Ночвай, В. М., & Петрук, В. Г. (2008). Дослідження систематичних похибок вимірювання потоку випромінювання твердих частинок. Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки», (4 (47)), 43–48.

6. Євтух, П. С., Куземко, Н. А., & Бабюк, С. М. (2010). Структура алгоритмів автоматичної компенсації систематичних похибок масштабуючих вимірювальних перетворювачів.

7. Кондратов, В. Т. (2001). Основи теорії автоматичної корекції систематичних похибок вимірювання фізичних величин при нестабільній і нелінійній функції перетворення датчика: дис. д-ра техн. наук: 05.11. 15 і 05.11. 01/ Кондратов Владислав Тимофійович.

8. Ковтонюк, І. Ю., & Фостенко, К. В. (2017). Застосування регресійного аналізу для знаходження та усунення змінних систематичних похибок (Doctoral dissertation, Видавництво «Молодий вчений»).

9. Воловик, А. Ю., Осадчук, О. В., Червак, О. П., & Шутило, М. А. (2017). Оптимальне оцінювання систематичних похибок при виконанні комплексних спостережень. Вісник Хмельницького національного університету. № 4 (251): 214–218.

10. Кондрашов, С. І., Григоренко, І. В., & Глоба, С. М. (2016). Методи додаткових вимірювань за корекції систематичних похибок ЗВТ. Метрологія та прилади, (1), 22–26.

11. Боднер В. А., Алферов А. В. Измерительные приборы: Учебник для вузов: В 2 т. М.: Изд-во стандартов, 1986.

12. W. Kester. ADC Architectures I: The Flash Converter. Analog Devices, MT-020 Tutorial. www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-020.pdf

13. W. Kester. ADC Architectures II: Successive Approximation ADC. Analog Devices, MT-021 Tutorial. www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-021.pdf.

References

1. Skrypnyk, Y., Yurchyk, H., & Vodotovka, V. (2002). Alhorytmichnyi metod avtokorektsii ta kontroliu systematychnykh pokhybok termoelektrychnykh vymiriuvalnykh kanaliv [Algorithmic method of autocorrection and control of systematic errors in thermoelectric measurement channels]. Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”, 450: Kompyuterna inzheneriya ta informatsiyni tekhnolohiyi, pp. 199–205.

2. Yurchyk, H. (2014). Strukturno-alhorytmichnyi metod avtokalibruvannia termoelektrychnykh vymiriuvalnykh kanaliv temperatury v umovakh yikh ekspluatatsii [Structural-algorithmic method of autocollimation of thermoelectric measuring channels of temperature in conditions of their operation]. Visnyk Natsionalnoho universytetu Lvivska politekhnika. Kompyuterni nauky ta informatsiyni tekhnolohiyi, 800, pp. 205–211.

3. Bromberg, É. M. (1971). Autocorrecting tensometric weighing systems. Measurement Techniques, 14(5), pp. 691–693.

4. Gibson, J. E., & Sridhar, R. (1963). A new dual-input describing function and an application to the stability of forced nonlinear systems. IEEE Transactions on Applications and Industry, 82(66), pp. 65–70.

5. Nochvai, V. M., & Petruk, V. H. (2008). Doslidzhennia systematychnykh pokhybok vymiriuvannia potoku vyprominiuvannia tverdykh chastynok [Investigation of systematic errors in the measurement of solid particle radiation flux]. Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriia" Tekhnichni nauky", 4(47), pp. 43–48.

6. Yevtukh, P. S., Kuzemko, N. A., & Babiuk, S. M. (2010). Struktura alhorytmiv avtomatychnoi kompensatsii systematychnykh pokhybok mashtabuiuchykh vymiriuvalnykh peretvoriuvachiv [Structure of algorithms for automatic compensation of systematic errors of scaling measuring transducers].

7. Kondratov, V. T. (2001). Osnovy teorii avtomatychnoi korektsii systematychnykh pokhybok vymiriuvannia fizychnykh velychyn pry nestabilnii i neliniinii funktsii peretvorennia datchyka [Foundations of the theory of automatic correction of systematic errors in the measurement of physical quantities in the case of unstable and nonlinear sensor conversion function].

8. Kovtoniuk, I. Y., & Fostenko, K. V. (2017). Zastosuvannia rehresiinoho analizu dlia znakhodzhennia ta usunennia zminnykh systematychnykh pokhybok [Application of regression analysis for finding and eliminating variable systematic errors]. Molodyi vchenyi.

9. Volovyk, A. Y., Osadchuk, O. V., Chervak, O. P., & Shutylo, M. A. (2017). Optymalne otsiniuvannia systematychnykh pokhybok pry vykonanni kompleksnykh sposterezhen [Optimal estimation of systematic errors in complex observations]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 4(251), pp. 214–218.

10. Kondrashov, S. I., Hryhorenko, I. V., & Hloba, S. M. (2016). Metody dodatkovykh vymiriuvan za korektsii systematychnykh pokhybok ZVT [Methods of additional measurements for the correction of systematic errors of ZVT]. Metroloriia ta prylady, 1, pp. 22–26.

11. Bodner, V. A., & Alferov, A. V. (1986). Izmeritelnye pribory [Measuring instruments]. Moscow: Izd-vo standartov.

12. Kester, W. ADC Architectures I: The Flash Converter. Analog Devices, MT-020 Tutorial. Retrieved from www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-020.pdf

13. Kester, W. ADC Architectures II: Successive Approximation ADC. Analog Devices, MT-021 Tutorial. Retrieved from www.analog.com/static/imported-files/tutorials/MT-021.pdf

УДК 681.5.015.23:681.5.015.24 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.4

В. О. КОНДРАТЕЦЬ
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматизації виробничих процесів
Центральноукраїнський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1411-168X

А. М. МАЦУЙ
доктор технічних наук, професор,
доцент кафедри автоматизації виробничих процесів
Центральноукраїнський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-5544-0175

О. М. СЕРБУЛ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автоматизації виробничих процесів
Центральноукраїнський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-1836-5529

Р. В. ТИХИЙ
студент кафедри автоматизації виробничих процесів
Центральноукраїнський національний технічний університет
ORCID: 0009-0005-3062-6666

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КУЛЬОВОГО МЛИНА ЯК КЕРОВАНОГО ОБ'ЄКТА В ПРОЦЕСІ РУДОПІДГОТОВКИ

Внаслідок недостатньо ефективного перемішування матеріалу в початковій частині барабана кульового млина подрібнююче середовище втрачає ефективність роботи, що приводить до перевитрати електричної енергії, куль і футерівки. Дослідженням даного процесу займався ряд авторів в Україні і за кордоном, починаючи з середини 70-х років минулого століття. Запропоновані моделі досліджень, критерій перемішування у вигляді імовірнісного коефіцієнта, який може змінюватися в межах 0…1. Однак нині задачі перемішування матеріалу в кульових млинах до кінця не вирішені. Відсутня загальна оцінка пульсацій матеріалу в барабані, не оцінено стан матеріалу на початковій ділянці і не запропоновано підходів до його покращення. Зрозуміло, що вихід з даної ситуації можливо знайти в удосконаленні кульового млина шляхом покращення його характеристик. Дослідження виконані в межах реалізації теми «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах», яка входить до наукової тематики Центральноукраїнського національного технічного університету. З погляду на це тема статті є актуальною. Метою даної роботи є зменшення перевитрат електроенергії, куль і футерівки в процесі подрібнення сировини покращенням характеристик кульового млина удосконаленням завантаження руди, пісків спірального класифікатора та води на основі оцінювання пульсацій матеріалу на початковій ділянці барабана. В процесі досліджень використано метод порівняння, аналізу, методи теорії кульових млинів, теорії автоматичного керування, теорії імовірностей, математичної статистики, теорії випадкових процесів. За допомогою комп'ютерної обробки масиву даних за спеціальною програмою отримані області зміни коливальних параметрів на вході кульового млина по твердому і воді, при яких відносні відхилення маси матеріалу в агрегаті не перевищують ±3,0%, що гарантує нормальний хід технологічного процесу. Встановлено, що як по твердому, так і по воді самими небезпечними є коливання з занадто малою частотою і значними амплітудами. Важливою є проблема перемішування матеріалу в початковій частині барабана кульового млина, оскільки тут низька ефективність осереднення. Найбільш доцільним є шлях, спрямований на покращення умов перемішування ліквідацією існуючих недоліків. По-перше, перед входом руди в млин її необхідно змочити частиною потоку води, а піски перед входом в завитковий живильник максимально розрідити другою частиною потоку води. Третю частину потоку води в млин необхідно розбризкати в широкій зоні входження руди в технологічний агрегат. Такі операції забезпечують ефективне перемішування і подрібнення матеріалу вже в початковій ділянці барабана млина. Збурюючі впливи по потоку руди не порушують технологічний режим кульового млина.

Ключові слова: *кульовий млин, подрібнення руди, покращення характеристик, перемішування матеріалу, початкова ділянка, коливання маси.*

V. O. KONDRATETS
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Automation of Production Processes
Central Ukrainian National Technical University
ORCID: 0000-0002-1411-168X

A. M. MATSUI
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Associate Professor at the Department of Production Process Automation
Central Ukrainian National Technical University
ORCID: 0000-0001-5544-0175

O. M. SERBUL
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Production Process Automation
Central Ukrainian National Technical University
ORCID: 0000-0003-1836-5529

R. V. TIKHYI
Student at the Department of Automation of Production Processes
Central Ukrainian National Technical University
ORCID: 0009-0005-3062-6666

IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE BALL MILL AS A CONTROLLED OBJECT IN THE ORE DRESSING PROCESS

Due to insufficient mixing of the material in the initial part of the ball mill drum, the grinding media loses efficiency, resulting in a waste of electrical energy, balls and liner. This process has been investigated by a number of authors in Ukraine and abroad since the mid-1970s. Research models, mixing criterion in the form of probability coefficient, which can vary within 0...1, have been proposed. However, at present the problems of material mixing in ball mills have not been fully solved. There is no general assessment of material pulsation in the drum, the condition of the material in the initial section has not been evaluated and no approaches for improvement have been suggested. It is clear that the way out of this situation can be found in improving the ball mill by improving its performance. The research was carried out as part of the implementation of the topic «Optimisation of ball mill productivity for ore and finished product with minimum energy and material overruns», which is part of the scientific theme of the Central-Ukrainian National Technical University. From this point of view the topic of the article is actual. The aim of this work is to reduce the overuse of energy, balls and liners in the raw material grinding process by improving the performance of the ball mill by improving the loading of ore, spiral classifier sands and water, based on the assessment of material pulsation in the initial section of the drum. In the process of research, methods of comparison, analysis, ball mill theory, automatic control theory, probability theory, mathematical statistics, and random process theory were used. By means of computer processing of the data array using a special programme, areas of variation of the vibrational parameters at the ball mill inlet for solids and water, at which the relative mass deviations of the material in the unit do not exceed ±3.0%, are obtained, which guarantees the normal course of the technological process. It has been found that for both solids and water, oscillations with too low a frequency and large amplitudes are the most dangerous. The problem of mixing the material in the initial part of the ball mill drum is important, because here the efficiency of averaging is low. The most sensible way is to improve the mixing conditions by eliminating the existing disadvantages. Firstly, before the ore enters the mill it should be wetted with part of the water flow, and the sands before entering the coil feeder should be thinned as much as possible with a second part of the water flow. A third of the water flow into the mill has to be sprayed over a wide area where the ore enters the process unit. Such operations ensure efficient mixing and grinding of the material already in the initial section of the mill drum. Exciting influences along the ore flow do not disturb the process flow of the ball mill.

Key words: *ball mill, ore crushing, performance improvement, material mixing, initial section, mass fluctuations.*

Постановка проблеми

Україна відноситься до країн з розвинутою залізорудною промисловістю та чорною металургією. Інтенсивне видобування залізних руд впродовж тривалого часу привело до зменшення в них вмісту корисного компоненту. Тому все більше отримують сировини для чорної металургії з бідних залізних руд шляхом їх збагачення. В Україні діє сім найбільш потужних у світі комбінатів по видобуванню та переробці бідних залізних руд з отриманням якісних концентратів. Частина залізорудних концентратів споживається вітчизняною чорною металургією, інша частина направляється на експорт. На світовому ринку вітчизняні залізорудні концентрати поступаються аналогічній продукції в наслідок їх більшої собівартості вироблення. Це зв'язано з рядом причин, основними з яких

є перевитрачання електроенергії, куль і футерівки на подрібнення руди, особливо в першій стадії рудопідготовки. Аналіз показав, що вплинути на це можливо удосконаленням технологічного обладнання та систем автоматичного керування даними процесами. Оскільки дана стаття спрямована на покращення характеристик технологічного обладнання (об'єктів керування), то її тема є актуальною. Робота виконана в межах дослідження за темами: «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (0115U003942) та «Оптимізація параметрів завиткового живильника кульового млина пульпою як керованого об'єкта в рудопідготовці за двостадійним циклом» (0123U102951), які є складовими плану наукової тематики Центральноукраїнського національного технічного університету.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Відомо, що в кульових млинах в основному подрібнюється більш крупний матеріал при високих вмістах твердого. Для цього тверде в пульпі повинно бути добре осередненим. Лише за таких умов відбувається ефективне подрібнення більш крупних часток руди. Якщо тверде в зоні удару кулі сильно сконцентровано, сила удару зменшується. У випадку недостатньої концентрації твердого в зоні удару здебільшого руйнуються кулі і футерівка. Тому матеріал в барабані кульового млина необхідно добре перемішувати, досягаючи якісного осереднення. Ефективному осередненню матеріалу в барабані сприяють як рівномірність подачі руди, води і пісків у млин, так і спеціальні заходи, наприклад встановлення осереднюючих пристроїв. Оскільки кульовий млин добре перемішує матеріал, то спеціальні пристрої перед ним не встановлюють. Застосування інших прийомів осереднення матеріалу в кульових млинах також не досліджувалося. Тому ефективність подрібнення руди в наслідок впливу таких причин знижувалась.

Для потреб технологічних процесів збагачення розроблялися способи змішування матеріалів у циклах подрібнення в цілому і окремо в кульових млинах. Осереднення матеріалу безпосередньо в кульових млинах досліджують В.А. Аршинський, Д.Ф. Келсел, А.Дж. Лінч, Е.В. Прокоф'єв, А.Ю. Троп. Вони розглядають кульовий млин як агрегат, на виході якого отримують перемішаний продукт. Відомо, що осереднений в результаті перемішування продукт ефективно подрібнюється, включаючи в активну роботу практично всю довжину барабана млина. В той же час задача перемішування матеріалу вздовж барабана млина ніким не розглядалася, хоч є достатньо важливою. Її важливість доводиться і в роботі [1].

Детально розглядалися і динамічні характеристики перемішувачів з рециклом, куди входить кульовий млин і спіральний класифікатор. Доведено, що при збільшенні циркулюючого навантаження і транспортного запізнювання ефективність роботи перемішувача зростає. В роботі [2] І.Г. Грінман, розглядаючи схему перемішування, яка відповідає циклу подрібнення, також стверджує, що амплітуда випадкових коливань на вході млина суттєво зменшується з ростом циркулюючого навантаження. Він одночасно відмічає, що перемішування всередині об'єму барабана млина, яким ми нехтували, приводить до згладжування коливань, періоди яких менше власного часу технологічного агрегату.

При завантаженні кульового млина рівномірне перемішування матеріалу не досягається. Такий стан відповідає певній довжині барабана кульового млина. Ефективність подрібнення погіршується ще й в наслідок того, що в початковій частині барабана знаходяться кулі малих розмірів. Тому важливою є проблема перемішування матеріалу саме в початковій частині барабана кульового млина, а не в точці розвантаження.

Кульовий млин можливо розглядати як змішувач, в якому відбувається руйнування частинок. Уайтен прийняв допущення, що кульовий млин можливо подати однією ділянкою перемішування, що суттєво спрощує розрахунки [3], однак не дає відповіді на стан початкової ділянки технологічного агрегату. Якщо час перебування твердої фази дорівнює часу перебування води в барабані млина, то він веде себе як ефективний перемішувач [4]. Це відбувається при значних густинах пульпи, які відповідають показнику, встановленому при експлуатації кульових млинів. Автор роботи [3] пропонує подрібнювальний агрегат розглядати як такий, що складається з ряду поперечних ділянок, в кожній з яких міститься однакова кількість матеріалу. При такому поданні матеріал, що міститься в кінцевій ділянці, виявляється еквівалентним за складом продукту млина. Введене авторами Е.Ф. Прокоф'євим, А.Е. Тропом, В.М. Аршинським поняття імовірнісного коефіцієнта $R_П$, який може змінюватись в межах 0…1, зв'язує густину пульпи в розвантаженні млина з густиною пульпи в його барабані. Це дозволяє розширити можливості дослідження перемішування матеріалу вздовж барабана млина, однак їх ніхто не виконував.

Отже, нині задачі перемішування матеріалу в кульових млинах до кінця не вирішені. Відсутня загальна оцінка пульсацій матеріалу в барабані, не оцінено стан матеріалу на початковій ділянці і не запропоновано підходів до його покращення.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є зменшення перевитрачання електроенергії, куль і футерівки в процесі подрібнення сировини покращенням характеристик кульового млина удосконаленням завантаження руди, пісків спірального класифікатора та води на основі оцінювання пульсацій матеріалу на початковій ділянці барабана.

Викладення основного матеріалу дослідження

Дослідженням кульового млина як керованого об'єкта по каналу розрідження пульпи знайдена його математична модель. Вона дозволяє отримати перехідні та частотні характеристики кульового млина. При автоматичному

регулюванні завантаження млина рудою та розрідження пульпи в ньому на вході технологічного агрегату будуть створюватися керуючі впливи за витратами руди або води. Тому важливим стає дослідження фільтруючих властивостей кульового млина при проходженні таких впливів.

Фільтруючі можливості кульового млина досліджувалися за його амплітудними частотними характеристиками стосовно технологічного агрегату МШЦ при зміні витрати вихідної руди від 220 т/год до 260 т/год, а циркулюючого навантаження в межах 100…200%. Встановлено, що при малих колових частотах амплітудна частотна характеристика залежить від витрати вихідної руди, величини циркулюючого навантаження. При колових частотах, більших 0,015 $с^{-1}$, керований об'єкт пригнічує коливання і режим його роботи (витрату руди) можливо не враховувати.

Коливальні процеси на вході кульового млина приводять до відносних коливань маси в об'єкті

$$\Delta_M,\% = \frac{M_З}{M_П}100\%, \qquad (1)$$

де $M_З$, $M_П$ – відповідно змінне та постійне значення маси матеріалу в кульовому млині.

Коливання маси матеріалу в кульовому млині будуть залежати від частоти і амплітуди коливань на вході. Параметр Δ_M (1) буде функцією двох змінних. З використанням спеціальної програми на персональному комп'ютері отримані просторові діаграми відносного коливання маси матеріалу в кульовому млині від амплітуди і частоти впливів на його вході по руді і воді. З них встановлено, що як по твердому, так і по воді самими небезпечними є коливання з занадто малою частотою і значними амплітудами. За допомогою комп'ютерної обробки масиву даних за спеціальною програмою отримані області зміни коливальних параметрів на вході кульового млина по твердому і воді, при яких відносні відхилення маси матеріалу в агрегаті не перевищують 3,0%, що гарантує нормальний хід технологічного процесу. Області зміни коливальних параметрів приведені на рис. 1. Якщо частоти і амплітуди коливань на вході кульового млина по руді і воді не будуть виходити за межі вказаних областей, то відхилення маси і розрідження пульпи в технологічному агрегаті будуть знаходитись в допустимих межах. Границі знайдених областей зміни параметрів на вході кульового млина повинні слугувати обмеженнями при реалізації автоматичного керування.

Розглянемо роботу кульового млина з точки зору пригнічення коливань матеріалу, які виникають у його барабані. Це в основному стосується живлення млина на вході, руху піскового матеріалу з спірального класифікатора та роботи завиткового живильника.

У кульовому млині перш за все подрібненню підлягають лише крупні частинки пульпи. Оскільки на вхід кульового млина однозначно надходять вихідна дроблена руда, циркулюючі піски класифікатора та вода, цей матеріал необхідно осереднити перемішуванням. Враховуючи, що кульові млини є ідеальним перемішувачами з одночасним подрібненням, попередні агрегати такого призначення перед ними не встановлюють. В той же час доведено, що при завантаженні кульового млина рівномірне перемішування матеріалу не досягається. Такий стан відповідає певній довжині барабана млина. Не осереднений на цій ділянці барабана матеріал відрізняється тим, що в ньому існують зони, де крупні частинки руди сконцентровані надмірно (перевантаження) і де вони сконцентровані значно менше (недовантаження). Такий стан не відповідає номінальному завантаженню руди. Імовірність виникнення зон з номінальною концентрацією крупних частинок майже виключається. Це означає, що кулі працюють не ефективно, оскільки при великій концентрації зменшується сила удару, а при малій вони співударяються практично з футерівкою і сусідніми кулями, марно руйнуючи одне одного. При цьому збільшуються і відносні коливання матеріалу, значно виходячи за межі ±3,0%. Ефективність подрібнення погіршується ще й в наслідок того, що в початковій частині барабана знаходяться кулі малих розмірів. Тому важливою є проблема

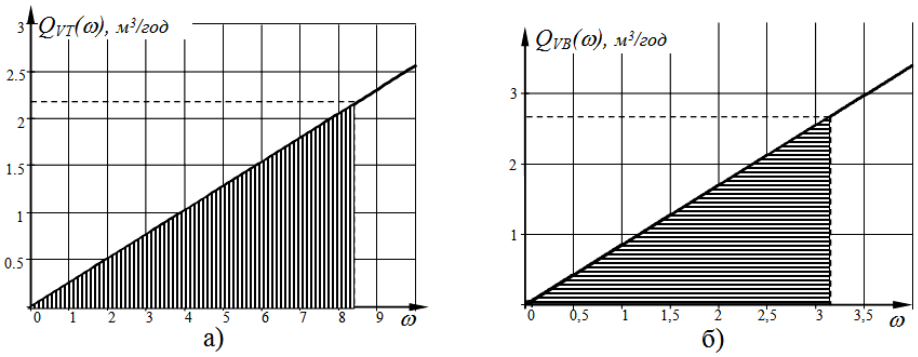


Рис. 1. Області зміни коливальних параметрів на вході кульового млина по руді (а) та воді (б), при яких відношення зміни маси матеріалу в агрегаті не перевищує 3,0%

перемішування матеріалу саме в початковій частині барабана кульового млина, а не в точці його розвантаження. Це вимагає дослідження процесу перемішування матеріалу в кульовому млині з метою його удосконалення.

Кульовий млин можливо розглядати як змішувач, в якому здійснюється руйнування частинок. Перемішування матеріалу відбувається в основному за рахунок обертання барабана та поздовжнього руху пульпи, викликаного різницею в рівнях завантаження і розвантаження та динамічного тиску потоку, що падає на її поверхню. Додаткове перемішування пульпи здійснюється при обертанні барабана, оскільки її частина захоплюється кулями і транспортується на верхню відмітку. При цьому створюється спадний потік матеріалу, який повертається разом з падаючими кулями у вихідний об'єм пульпи, здійснюючи таким чином її замкнений рух. Такий рух приводить до того, що частина пульпи переміщується по спіралеподібній кривій до розвантажувального кінця. Інтенсивне перемішування пульпи у кульовому млині разом з подрібненням твердого приводить до ефективного осереднення вмісту різних частинок руди в одиниці об'єму матеріалу не в розвантаженні технологічного агрегату, а значно раніше – на початкових ділянках руху складної суміші від завантажувальної горловини.

Густина пульпи у розвантаженні млина зв'язана з густиною пульпи в його барабані через імовірнісний коефіцієнт RП, який знаходиться в межах 0…1. Перше граничне теоретичне значення RП=0 відповідає повному розшаруванню твердої та рідкої фаз пульпи перед розвантаженням, а друге – RП=1 – ідеальному перемішуванню. Якщо RП=1, кульовий млин веде себе як ефективний перемішувач [4]. Це відбувається при значних густинах пульпи, що відповідає співвідношенню тверде/рідке близько 81…82%. Оскільки у виробничих умовах кульові млини експлуатують при високих вмістах твердого, що робить пульпу достатньо в'язкою, то вони є ідеальними перемішувачами. В них при розвантаженні матеріал добре осереднений і пульпа має рівномірно розподілені частинки твердого різних розмірів у її об'ємі.

Початкова ділянка барабана кульового млина має свої особливості, які полягають у тому, що піски в технологічний агрегат входять зі зв'язаною водою, яка від них не відділяється. Крім того, на вхід млина подається суха дроблена руда і вода. Промоделюємо процес перемішування матеріалу в першій ділянці кульового млина при QP=50 кг/с (180 т/г), циркулюючому навантаженні 50; 100 і 150%, густині пульпи в млині 2200 кг/м^3, густині твердого 3300 кг/м^3 і незмінній вологості пісків 12%.

В результаті моделювання встановлено наступне. В залежності від умов перемішування час перебування води в першій зоні може змінюватись від найменшого значення до часу перебування в ній твердої фази. Імовірнісний коефіцієнт RП має достатньо низьке значення, що підкреслює низьку ефективність перемішування матеріалу на початковій ділянці барабана млина. Низька ефективність перемішування буде і на сусідніх ділянках, оскільки з першої вода витісняється суцільним потоком, який погано розповсюджується у масиві твердого. Коефіцієнт RП прийме значення, що дорівнює 1, лише десь під кінець довжини барабана млина. Це означає, що більш-менш ефективна робота куль в наслідок вирівнювання і розрідженості, і концентрації крупного твердого буде забезпечуватись після половини довжини барабана кульового млина.

Аналіз показує, що імовірнісний коефіцієнт RП в якості критерію оцінювання перемішування матеріалу в кульовому млині відображає лише один бік процесу – утримання сумішшю води. Однак видно, що при RП=1 матеріал може бути зовсім не осередненим за концентрацією крупної фракції. Тому для оцінки осереднення матеріалу при перемішуванні необхідний інший критерій. Давно використовують критерій, що полягає в урівноваженні моментів опору руху кожної лопаті механізму, який перемішує матеріал. Широке розповсюдження отримав критерій, що полягає в досягненні однорідної суміші матеріалів. Однак вказані критерії стосовно кульового млина прямо використати не можливо. Найбільш доцільним буде шлях, спрямований на покращення умов перемішування. При цьому стоїть перша задача затримання води в початковій ділянці барабана кульового млина, тобто вирівнювання часу перебування в ній твердого і води, та друга задача, що полягає безпосередньо в перемішуванні того ж матеріалу до забезпечення найкращої однорідності в первинній ланці процесу.

Потоки руди і води в кульовий млин відрізняються певною нестабільністю. Вихідна руда на конвеєрній стрічці вимірюється вагами з базовою площадкою довжиною один метр. В наслідок нерівномірності завантаження конвеєрної стрічки та випадкового характеру розташування матеріалу показання вагів є випадковою функцією часу. Випадковою функцією часу може бути і витрата води в кульовий млин в наслідок коливання тиску в магістралі. Зважаючи на достатньо високі частоти цих коливань і порівняно невеликі амплітуди зміни ці збурюючі впливи не порушують технологічний режим кульового млина, що видно з рис. 1.

Розв'язання вказаних двох задач дозволить стрімко знизити коливальність матеріалу в барабані, підвищити ефективність роботи куль в початковій та найближчих до неї ділянок барабана. Це забезпечить підвищення продуктивності кульового млина, якості подрібнення та неперевитрачання електричної енергії, куль і футерівки.

В процесі розв'язання поставлених задач найбільш ефективним є шлях усунення недоліків, які мають базові умови перемішування матеріалу в млині. Перший основний недолік – це створення обводнених зон в початковій ділянці та витіснення води у сусідню ділянку барабана млина. Відмічені недоліки можливо ліквідувати зв'язуванням води з твердим матеріалом на вході в першу ділянку або до неї. Зв'язана з твердим вода не може бути витісненою в сусідню ділянку. На процес цього зв'язку сильно впливає поверхня твердого. Змочене тверде

стає рухливим, оскільки ефективно діє змащення і взаємне переміщення частинок стає набагато легшим. У такому стані тверде відразу включається в перемішування і ефективно осереднюється вже в першій ділянці барабана, не впливаючи негативно на сусідні ділянки. Посилити ефект перемішування в першій ділянці, крім того, можливо за допомогою крупних куль, які необхідно вводити на вхід млина, компенсуючи зношені молольні тіла та футерівку.

Показник вологості продуктів збагачення вміщує гравітаційну, капілярну, плівкову та гігроскопічну вологу. Гігроскопічна волога зв'язана з продуктом. У даному випадку діє так звана вільна (зовнішня) волога – це плівкова, капілярна і гравітаційна. Плівкова волога утримується на поверхні твердих частинок руди у вигляді плівок молекулярними силами зчеплення між молекулами твердого і води. Капілярна волога заповнює частково або повністю пори – капіляри, які утворилися в просторі між окремими частинками продукту збагачення. Вода тут утримується під впливом сил поверхневого натягу увігнутих водних менісків в капілярах. Кількість вологи, що утримується в капілярах, залежить від пористості масиву продукту збагачення. Гравітаційна волога заповнює некапілярні проміжки між частинками маси продукту збагачення. Ця волога не піддана впливу молекулярних капілярних сил і рухається між частинками твердого під дією сил тяжіння. Утримання води матеріалом в значній мірі визначається вологоутримуючою здатністю продуктів збагачення. Вона в основному залежить від гранулометричного складу і змочуваності поверхні твердого. Гранулометричний склад твердого обумовлює пористість і розвиток поверхні маси частинок. Чим дрібніші частинки твердого, тим більше створюється капілярів, в яких утримується волога. Тому найбільш проблематичною є початкова ділянка барабана млина, де крупність продукту найбільша. Високі густини пульпи в млинах сприяють створенню розгалуженої системи капілярів. Змочуваність характеризує молекулярну взаємодію води з поверхнею частинок і визначає можливість утримувати капілярну вологу. Руди певного родовища володіють конкретним значенням цього показника. Крім того, рухома пульпа може утримувати значну кількість води без розшарування.

Піски класифікатора містять певну кількість вологи. Для забезпечення руху пульпи у пісковий жолоб додають додаткову кількість води. Такий потік пульпи легко проходить через завитковий живильник і поступає в кульовий млин. Руда надходить у кульовий млин сухою, окремо подається вода. Ці два потоки необхідно частково об'єднати. Враховуючи, що плівкова волога залежить від поверхні твердого, а поверхні частинок утворюють капіляри, пропорційно поверхні вихідної руди перед завантаженням у кульовий млин необхідно подати частину загального потоку води. Вона створить плівкову, капілярну і гравітаційну вологу, яка надійно буде утримуватись потоком вихідної руди. Другу частину загального потоку води слід додати до пісків класифікатора перед входженням їх у приймальний пристрій завиткового живильника. Розріджені до максимально можливого рівня піски добре будуть контактувати з крупним продуктом вихідного живлення, легко пропускати крупні і дрібні шматки руди у своє середовище. Залишкову частину загального потоку води, яка повинна забезпечити задане розрідження пульпи, необхідно подати в центральну частину барабана млина, але розбризкуючи її в широкій зоні завантаження вихідної руди. Такі операції забезпечують ефективне перемішування і подрібнення матеріалу вже в початковій ділянці барабана млина.

Висновки

Таким чином, знайдені умови невиходу коливальних процесів матеріалу в барабані кульового млина за межі ±3,0% при дії збурюючих впливів з різною частотою та амплітудою по руді і воді. Встановлено, що при завантаженні кульового млина вихідною рудою, пісками механічного односпірального класифікатора та водою значна початкова частина барабана майже до його середини містить не осереднений матеріал, подрібнення якого здійснюється при перевитратах електроенергії, куль і футерівки. Попереднє змочення вихідної руди частиною води, максимально можливе розрідження пісків перед завантаженням та розбризкування залишкової води в зоні завантаження сильно покращують умови подрібнення. Показано, що для досягнення ефективного осереднення матеріалу в барабані кульового млина є шлях, спрямований на покращення умов перемішування. Зважаючи на достатньо високі частоти коливань при подачі руди в млин і порівняно невеликі амплітуди зміни маси твердого ці збурюючі впливи суттєво не порушують технологічний режим роботи подрібнюючого агрегату.

Перспективою подальших досліджень є перевірка впливу завиткового живильника на коливальність матеріалу в барабані кульового млина при завантаженні піскового продукту механічного односпірального класифікатора.

Список використаної літератури

1. Кондратець В.О., Карчевська М.О. Моделювання розподілу крупного твердого з метою ідентифікації завантаження кульових млинів. *«Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту»*: Міжн. наук. конф. (Євпаторія, 18–22 трав. 2009 р.). Євпаторія. 2009. Т. 1. С. 68–70.

2. Грінман І.Г. Автоматизація процесів збагачення руд кольорових металів. Київ: Наукова Думка, 1964. 212 с.

3. Lynch A.J. Mineral Crushing and Grinding Circuits. Developments in Mineral Processing. Paris: Elsevier, 1977. 354 p.

4. Kellsall D.F.A. Study of breakage in a small countinuons opencircult wet ball mill. Canad Mining J. 1965. № 10. p. 25–29.

References

1. Kondratecj V.O., Karchevsjka M.O. (2009) Modeljuvannja rozpodilu krupnogho tverdogho z metoju identyfikaciji zavantazhennja kuljovykh mlyniv. [Modeling the distribution of coarse solids to identify ball mill loading]. *"Intelektualjni systemy pryjnjattja rishenj ta problemy obchysljuvaljnogho intelektu"*: Mizhn. nauk. konf. (Jevpatorija, 18–22 trav. 2009 r.). Jevpatorija, T. 1, pp. 68–70. [in Ukrainian].

2. Ghrinman I.Gh. (1964) Avtomatyzacija procesiv zbaghachennja rud koljorovykh metaliv [Automation of enrichment processes for non-ferrous metal ores]. Kyiv: Naukova Dumka, 212 s. [in Ukrainian].

3. Lynch A.J. (1977) Mineral Crushing and Grinding Circuits. Developments in Mineral Processing. Paris: Elsevier, 354 p.

4. Kellsall D.F.A. (1965) Study of breakage in a small countinuons opencircult wet ball mill. Canad Mining J, no. 10, pp. 25–29.

УДК 656.13, 338.2 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.5

П. В. ЛУБ'ЯНИЙ
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-2668-5063

О. А. ВОЙТОВИЧ
кандидат технічних наук, доцент,
в.о. декана факультету інженерії та транспорту
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0510-4362

І. О. КУЗЬМЕНКО
керівник регіонального структурного підрозділу
ТОВ «УкрЗолото», м. Київ
ORCID: 0009-0004-6878-7310

РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНИХ ВНУТРІШНІХ ВОДНИХ ШЛЯХІВ

У статті досліджується питання падіння об'ємів перевезень і занепаду внутрішніх водних перевезень в Україні. Для більшості країн світу внутрішній водний транспорт є найдешевшим та найекологічнішим видом транспорту, придатним для перевезення значних обсягів продукції, в основному сировини. Водночас, основними стримуючими чинниками зростання ринку вантажних річкових перевезень в Україні є: висока вартість підвезення до річки та перевалки (first/last mile problem), неконкурентна ціна річкових перевезень в порівнянні із залізницею, високі капітальні витрати на придбання або будівництво флоту, мала потенційна кількість рейсів та низька швидкість «обертання» суден через інфраструктурні обмеження – відсутність гарантованих глибин, ризик аварій на шлюзах тощо. Переважна більшість річкових портів заснована за радянських часів. Нерозвиненість інфраструктури, неефективне регулювання ринку внутрішніх вантажних перевезень знижує інвестиційну привабливість річкової галузі. На даний час ресурсний потенціал в середньому використовують на 25–30%.

Відновлення Дніпра – це більше, ніж просто повернення вантажів на річку. Це – відновлення однієї із найбільших річок Європи. Це – повернення Дніпру символу України як сильної і потужної держави. Відновлення Дніпра – це повернення України у сім'ю річкових європейських держав. Це – історичний і економічний флешбек із ретроспективою у майбутнє.

Свого часу за радянських часів по Дніпру перевозили 50 млн т вантажів. В 2016–2019 роках – перевозилось 19 млн т. Теоретично потужність річок українського басейну сягає 30–40 млн т. Це цифра до якої можемо йти, бо так можливо зняти суттєве навантаження з сухопутних доріг

Руйнування дамби та обміління Каховського водосховища зробило проблематичним судноплавство на Дніпрі. Для його відновлення має бути чітка економічна політика, якою має бути Україна після війни, і, вже виходячи з цього, треба вибудувати схему подальшого економічного відновлення регіону який постраждав. Якщо зосереджуватися на промисловому потенціалі цього регіону це одна історія, якщо мова йтиме про сільське господарство — то інша, якщо зосередимося на рекреаційному потенціалі — то це взагалі зовсім інша стратегія.

Україна, підписавши у 2014 році Угоду про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, взяла на себе низку зобов'язань щодо розвитку внутрішнього водного транспорту, зокрема, щодо розробки у співробітництві з ЄС стратегії розвитку річкового транспорту на основі національної транспортної політики, включення річкового транспорту в систему мультимодальних перевезень та мережу пріоритетних транспортних маршрутів з огляду на підтримку впровадження державної політики щодо розвитку України як транзитної держави, імплементації до національного законодавства норм європейського права в галузі внутрішнього водного транспорту.

Прийняття Закону «Про внутрішній водний транспорт» запізнилося більш, ніж на 20 років. Через відсутність чітких правил, вантажопотік на внутрішніх водних шляхах України впав з 60 млн т до 5 млн т, водні шляхи спорожніли, руйнується інфраструктура, зменшуються глибини, виникають труднощі з непрозорими зборами та платежами, занепадає судноплавна галузь в цілому. Це все втрати для нашої економіки.

Ключові слова: *об'єм перевезень, Дніпро, судноплавство, інфраструктура, внутрішніх водних перевезень.*

P. V. LUBYANY
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Transport Systems and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-2668-5063

O. A. VOITOVYCH
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Acting Dean of the Faculty of Engineering and Transport
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-0510-4362

I. O. KUZMENKO
Head of the Regional Structural Division
UkrZoloto LLC, Kyiv
ORCID: 0009-0004-6878-7310

DEVELOPMENT OF NATIONAL INLAND WATERWAYS

The article examines the issue of the drop in transportation volumes and the decline of inland water transportation in Ukraine. For most countries of the world, inland water transport is the cheapest and most environmentally friendly form of transport, suitable for transporting large volumes of products, mainly raw materials. At the same time, the main restraining factors of the growth of the river freight transport market in Ukraine are: the high cost of transportation to the river and transshipment (first/last mile problem), the non-competitive price of river transport compared to the railway, high capital costs for the acquisition or construction of the fleet, a small potential number flights and low «rotation» speed of vessels due to infrastructural limitations – lack of guaranteed depths, risk of accidents at locks, etc. The vast majority of river ports were founded in Soviet times. Underdevelopment of the infrastructure, inefficient regulation of the domestic cargo transportation market reduces the investment attractiveness of the river industry. Currently, the resource potential is used on average by 25–30%.

Restoring the Dnipro is more than just returning cargo to the river. This is the restoration of one of the largest rivers in Europe. This is the return of the Dnipro to the symbol of Ukraine as a strong and powerful state. The restoration of the Dnipro is the return of Ukraine to the family of river European states. This is a historical and economic flashback with a retrospective to the future.

At one time, during Soviet times, 50 million tons of cargo were transported along the Dnipro. In 2016–2019, 19 million tons were transported. Theoretically, the capacity of the rivers of the Ukrainian basin reaches 30–40 million tons. This is a figure we can go to, because it is possible to remove a significant load from land roads

The destruction of the dam and the shallowing of the Kakhovsky Reservoir made navigation on the Dnipro problematic. In order to restore it, there must be a clear economic policy, which should be Ukraine after the war, and based on this, a scheme for further economic restoration of the affected region must be drawn up. If we focus on the industrial potential of this region, it is one story, if it is about agriculture, then another, if we focus on the recreational potential, then it is a completely different strategy.

Having signed the Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union in 2014, Ukraine assumed a number of obligations regarding the development of inland water transport, in particular, regarding the development of a strategy for the development of river transport based on the national transport policy in cooperation with the EU, the inclusion of river transport in the system of multimodal transportation and the network of priority transport routes in view of supporting the implementation of the state policy on the development of Ukraine as a transit state, the implementation of the norms of European law in the field of inland water transport into the national legislation.

Adoption of the Law «On Inland Water Transport» was delayed by more than 20 years. Due to the lack of clear rules, the cargo flow on the inland waterways of Ukraine fell from 60 million tons to 5 million tons, the waterways are empty, the infrastructure is crumbling, the depths are decreasing, there are difficulties with non-transparent fees and payments, and the shipping industry as a whole is in decline. These are all losses for our economy.

Key words: *volumes of transport, Dnipro, shipping, infrastructure, inland water transport.*

Постановка проблеми

Водний транспорт в Європі відіграє дуже важливе значення як у внутрішніх, так і в експортно-імпортних вантажних перевезеннях Євросоюзу. Більше 90% зовнішньої торгівлі Євросоюзу і близько 43% внутрішньої торгівлі відбувається з використанням морського транспорту. Вантажні перевезення внутрішніми водними шляхами становлять 12% від усього обсягу перевезень внутрішнім транспортом. Протяжність каналів та річок у Європі, які з'єднують сотні міст та районів промислової концентрації та забезпечують надійне обслуговування вантажоперевезень і пасажирів, перевищує 35 000 км. Практично всі держави мають вихід до моря чи розташовані уздовж судноплавних рік. Двадцять із 27 держав-членів Євросоюзу мають власні внутрішні водні шляхи, 12 з яких мають об'єднані водні мережі.

Для України, як і для більшості країн світу внутрішній водний транспорт є найдешевшим та найекологічнішим видом транспорту, придатним для перевезення значних обсягів продукції, в основному сировини [1]. Водночас, основними стримуючими чинниками зростання ринку вантажних річкових перевезень в Україні є: висока вартість підвезення до річки та перевалки (first/last mile problem), неконкурентна ціна річкових перевезень в порівнянні із залізницею, високі капітальні витрати на придбання або будівництво флоту, мала потенційна кількість рейсів та низька швидкість «обертання» суден через інфраструктурні обмеження – відсутність гарантованих глибин, ризик аварій на шлюзах тощо.

Наразі інфраструктура вантажних перевезень річковим транспортом потерпає від хронічного недофінансування, насамперед 6 шлюзів на р. Дніпро. Через відсутність днопоглиблення довжина суднохідних шляхів починаючи з 1990 р. зменшилась в 2,5 рази та становить наразі біля 1,6 тис. км (замість 4 тис. км). Інфраструктура річкових причалів (вокзалів) не відповідає сучасним міжнародним технічним характеристикам та стандартам і використовується лише на 5–10% від своєї пропускної спроможності.

Переважна більшість річкових портів заснована за радянських часів. Нерозвиненість інфраструктури, неефективне регулювання ринку внутрішніх вантажних перевезень знижує інвестиційну привабливість річкової галузі. На даний час ресурсний потенціал в середньому використовують на 25–30% [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питання сучасного стану та перспектив розвитку ринку перевезень водним транспортом України активно вивчали такі вітчизняні науковці, як: Блудова Т., Боняр С., Гаценко Л., Головко С., Євтушевська О., Клюєва Є., Коба В., Коба О., Котлубай О., Кудрицька Н., Мельник О., Михайличенко К., Муравський А., Ницевич А., Новікова А., Шульмейстер В. тощо, а також іноземні дослідники: Secchi C., Bodewig K., Grosch M., Peijs K., Cox P., Balazs P., Brinkhorst L.

Вивчення й аналіз наявних наукових джерел дає можливість стверджувати, що нині поза увагою вчених є питання щодо впливу розвитку інфраструктури річкового транспорту України на економічну безпеку держави та визначення першочергових завдань щодо подолання ризиків та загроз її забезпеченню в транспортній сфері.

Це питання розглядалось робочою групою «Відновлення та розбудова інфраструктури» Національної ради з відновлення України від наслідків війни в липні 2022 р. Але в цій програмі навидь не розглядається питання судноплавства в Дніпровському, Південнобугському і Дністровському басейнах. Розглядається тільки Дунайський басейн, а це не можна віднести до внутрішніх перевезень. І на даний час ще не розглядались питання подальшої долі Каховського водосховища, після знищення окупантами Каховської ГЕС.

Формулювання мети дослідження

У загальному розумінні внутрішній водний транспорт – це галузь транспорту, до якої належать судна, підприємства, установи та організації, що здійснюють та забезпечують перевезення річковими водними шляхами вантажів, пасажирів, багажу і пошти та надають інші послуги з використанням річкових суден та суден змішаного плавання, а також малі судна та бази для їх стоянки на річкових водних шляхах.

Порівняно з іншими видами транспорту внутрішньоводний характеризується надійністю у здійсненні перевезень і має запас невикористаних можливостей. Внутрішньоводний транспорт сьогодні є конкурентоспроможною альтернативою залізничного та автомобільного транспорту в Європі. Такі перевезення надійні, економічні, безшумні та не завдають шкоди довкіллю. Морський транспорт та перевезення по внутрішніх водних шляхах – найважливіша складова взаємодоповнюючої транспортної системи. Вони надають можливість використати вузькі проходи між Францією та Іспанією у Піренеях або між Італією та рештою території Європи в Альпах, так само як між Францією та Великою Британією і між Німеччиною та Польщею.

Україна має досить високий судноплавний потенціал річок, довжина водних шляхів, придатних для експлуатації, складає близько 6,2 тис. км. Основними судноплавними шляхами залишаються р. Дніпро – 1,205 тис. км та його протоки (р. Десна – 520 км і р. Прип'ять – 60 км), р. Дунай – 160 км та частково р. Південний Буг – 155 км). На р. Дніпро знаходилося (до початку повномасштабних бойових дій) шість послідовних водосховищ: Каховське (яке на даний час відсутнє), Запорізьке, Дніпродзержинське, Кременчуцьке, Канівське і Київське. За останні роки внутрішні водні шляхи українських річок за показником гарантованих глибин неповністю відповідають вимогам щодо безпеки судноплавства. Водне сполучення у верхній течії р. Дніпро та р. Прип'ять, рух по р. Десна практично припинилися, що пов'язано з обмілінням згаданих річок в цьому районі.

Україна, підписавши у 2014 році Угоду про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони (далі – Угода про асоціацію з ЄС) [3], взяла на себе низку зобов'язань щодо розвитку внутрішнього водного транспорту, зокрема, щодо розробки у співробітництві з ЄС стратегії розвитку річкового транспорту на основі національної транспортної політики, включення річкового транспорту в систему мультимодальних перевезень та мережу пріоритетних транспортних маршрутів з огляду на підтримку впровадження державної політики щодо розвитку України як транзитної держави, імплементації до національного законодавства норм європейського права в галузі внутрішнього водного транспорту. Зокрема, Угодою про асоціацію з ЄС передбачена імплементація Україною наступних директив ЄС:

– з питань функціонування ринку перевезень – Директива Ради № 96/75/ЄС від 19.11.1996 р. про системи фрахтування та ціноутворення на національному та міжнародному внутрішньому водному транспорті Співтовариства стосується практики надавання права на перевезення на підставі системи вільного ціноутворення і принципу вільного укладення договорів перевезення;

– з питань доступу до ринку перевезень та професії – Директива Ради № 87/540/ЄЕС від 09.11.1987 р. про доступ до перевезення товарів водними шляхами для національного та іноземного транспорту і взаємне визнання дипломів, сертифікатів і інших офіційних посвідчень кваліфікаційного рівні для провадження такої діяльності, Директива Ради № 96/50/ЄС від 23.07.1996 р. про гармонізацію умов отримання національних свідоцтв капітанів для перевезення пасажирів та вантажів внутрішніми водними шляхами у межах Співтовариства;

– з питань безпеки перевезень – Директива 2006/87/ЕС від 12.12.2006 р. (зі змінами), що встановлює технічні вимоги до суден внутрішніх водних шляхів, включаючи стандарти будівництва та обладнання; Директива № 2008/68/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 24.09.2008 р. про внутрішні перевезення небезпечних вантажів, яка фактично поширює три міжнародні угоди щодо перевезення небезпечних вантажів на внутрішні перевезення;

– з питань надання річкових інформаційних послуг – Директива № 2005/44/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 07.09.2005 р. про гармонізовані річкові інформаційні послуги (РІП) на внутрішніх водних шляхах Співтовариства стосується запровадження річкової інформаційної служби, яка спрямована на забезпечення інформації навігаційного та транспортного характеру для суден внутрішніх водних шляхів (ВВШ) з метою забезпечення безпеки судноплавства.

На виконання Угоди про асоціацію з ЄС Кабінетом Міністрів України у 2014–2015 роках затверджено плани імплементації вищезазначених директив та регламентів ЄС, а Міністерством інфраструктури України затверджено дорожні карти по всіх транспортних секторах, включаючи внутрішній водний транспорт.

Індикаторами цього загрозливого стану ВВШ України є те, що за останні роки загальні обсяги перевезень вантажів річковим транспортом критично зменшилися у 5,4 разів, вантажопереробка в річкових портах за цей період скоротилась у 4,5 рази. У той час, коли у Європі внутрішній водний транспорт забезпечує найнижчу собівартість вантажних перевезень у перерахунку на 1 умовну тонну вантажу, завдаючи при цьому найменшого впливу на екологічний стан довкілля, а показник його енергоефективності у 10 разів перевищує автомобільні перевезення та у 5 разів – залізничні, в Україні відбувається скорочення вітчизняного річкового флоту, його технічне старіння, критично погіршується стан інфраструктури, зокрема, гідротехнічних споруд. Наявна інфраструктура річкових причалів (вокзалів) не відповідає сучасним міжнародним технічним характеристикам та стандартам і використовується лише на 5–10% від своєї пропускної спроможності. Переважна більшість річкових портів заснована за радянських часів. Відсутність законодавчої бази з питань судноплавства на внутрішніх водних шляхах, коштів для державного фінансування розвитку інфраструктури та недостатня зацікавленість приватних інвесторів брати участь у її розбудові створили загрозу економічній безпеці держави у транспортній сфері.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для виправлення ситуації, що склалася Верховна Рада 3 грудня 2020 р. в другому читанні ухвалила закон № 1054-IX «Про внутрішній водний транспорт», який регулює усі сфери відносин у цій галузі. Документ підтримало 276 народних депутатів. Цей Закон визначає правові, економічні та організаційні засади діяльності внутрішнього водного транспорту.

Законом врегульовані питання державного регулювання у сфері внутрішнього водного транспорту, функціонування та розвитку внутрішнього водного транспорту, його інфраструктури, перевезення вантажів та пасажирів, судноплавства на внутрішніх водних шляхах та його безпеки, майна, що затонуло на внутрішніх водних шляхах, відповідальності судновласників за порушення законодавства про внутрішній водний транспорт тощо.

Ключова новація закону – він відкриває внутрішні водні шляхи для суден під іноземним прапором, що створить здорову конкуренцію на ринку перевезень та сприятливо вплине на зниження ставок. Тобто, на річці не буде монополії одного перевізника, який диктує свої умови всім іншим учасникам ринку.

Прийняття Закону «Про внутрішній водний транспорт» запізнилося більш, ніж на 20 років. Через відсутність чітких правил, вантажопотік на внутрішніх водних шляхах України впав з 60 млн тонн до 5 млн тонн, водні шляхи спорожніли, руйнується інфраструктура, зменшуються глибини, виникають труднощі з непрозорими зборами та платежами, занепадає судноплавна галузь в цілому. Це все втрати для нашої економіки.

Але він вже потребує коригування, з урахуванням війни. Також виникло питання відновлювати чи ні Каховську дамбу і водосховище. На даний час є прихильники і відновлення дамби і ті які пропонує залишити, як було до будівництва ГЕС.

Відновлення Дніпра – це більше, ніж просто повернення вантажів на річку. Це – відновлення однієї із найбільших річок Європи. Це – повернення Дніпру символу України як сильної і потужної держави. Відновлення Дніпра – це повернення України у сім'ю річкових європейських держав. Це – історичний і економічний флешбек із ретроспективою у майбутнє.

Свого часу за радянських часів по Дніпру перевозили 50 млн т вантажів. В 2016–2019 роках – перевозилось 19 млн т. Теоретично потужність річок українського басейну сягає 30–40 млн тонн. Це цифра до якої можемо йти, бо так можливо зняти суттєве навантаження з сухопутних доріг

Руйнування дамби та обміління Каховського водосховища зробило проблематичним судноплавство на Дніпрі. Для його відновлення має бути чітка економічна політика, якою має бути Україна після війни, і, вже виходячи з цього, треба вибудувати схему подальшого економічного відновлення регіону який постраждав. Якщо зосереджуватися на промисловому потенціалі цього регіону це одна історія, якщо мова йтиме про сільське господарство – то інша, якщо зосередимося на рекреаційному потенціалі – то це взагалі зовсім інша стратегія.

Висновки

Проведене дослідження дає змогу виділити основні результати та сформулювати висновки по відновленню і модернізацію інфраструктури внутрішнього водного транспорту:

– відновлення зруйнованих російськими терористичними військами першочергових об'єктів, необхідних для нормального функціонування морського та внутрішнього водного транспорту;

– усунення лімітуючих ділянок на річці Дніпро;

– відновлення та модернізація шлюзового господарства на річці Дніпро, особливо побудова Каховського шлюзу з розширеними характеристиками;

– створення ефективного механізму залучення приватних інвестицій у фінансування робіт з ремонту, модернізації, реконструкції або будівництва об'єктів портової інфраструктури та об'єктів інфраструктури внутрішнього водного транспорту;

– внесення змін у законодавство з метою реалізації інфраструктурних проектів, відновлення зруйнованої інфраструктури та планів розвитку в морських та річкових портах України;

– модернізація Річкової інформаційної служби, створення інформаційної системи автоматизованого обліку перевезень внутрішніми водними шляхами та баз даних Адміністрації судноплавства;

– покращення транспортного сполучення морських портів та річкових портів (терміналів) на території України;

– для відновлення, або не відновлення Каховського водосховища потрібно треба вибудувати схему подальшого економічного відновлення регіону нижнього Дніпра.

Список використаної літератури

1. Зелена книга «Вантажні перевезення внутрішніми водними шляхами», серпень, 2017. Звіт, підготовлений Офісом ефективного регулювання. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.brdo.com.ua.

2. Розвиток річкового транспорту у контексті реалізації Євроінтеграційних планів України. Аналітична записка /К.М. Михайличенко, О.Ю. Ємельянова, Є.В. Бєлашов. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.niss.gov.ua/articles/1763. № 12. С. 49–53.

3. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони// Міжнародний документ від 27.06.2014 р. (редакція від 30.11.2015 р.). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/984_011/page

4. Управління розвитком транспортної інфраструктури в системі економічної безпеки держави. дис. … доктора економічних наук/ Шемаєв В. В. Київ, Національний інститут стратегічних досліджень, 2018, 484 с.

5. Закон «Про внутрішній водний транспорт» від 03.12.2020 № 1054-IX (Редакція станом на 31.03.2023) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua›

References

1. Zelena knyha «Vantazhni perevezennya vnutrishnimy vodnymy shlyakhamy» [Green Book «Cargo transportation by inland waterways»], serpen, 2017. Zvit, pidhotovlenyy Ofisom efektyvnoho rehulyuvannya. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: www.brdo.com.ua. [in Ukrainian].

2. Rozvytok richkovoho transportu u konteksti realizatsiyi Yevrointehratsiynykh planiv Ukrayiny» [Development of river transport in the context of implementation of Ukraine's European integration plans]. Analitychna zapyska /K.M. Mykhaylychenko, O.YU. Yemel′yanova, YE.V. Byelashov. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://www.niss.gov.ua/articles/1763. № 12. S. 49–53. [in Ukrainian].

3. Uhoda pro asotsiatsiyu mizh Ukrayinoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys′kym Soyuzom, Yevropeys′kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony [Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand] // Mizhnarodnyy dokument vid 27.06.2014r. (redaktsiya vid 30.11.2015 r.). [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/984_011/page [in Ukrainian].

4. Upravlinnya rozvytkom transportnoyi infrastruktury v systemi ekonomichnoyi bezpeky derzhavy [Management of transport infrastructure development in the system of economic security of the state], dys. … doktora ekonomichnykh nauk/ Shemayev V. V. Kyyiv, Natsional′nyy instytut stratehichnykh doslidzhen′, 2018, 484 s. [in Ukrainian].

5. Zakon «Pro vnutrishniy vodnyy transport» [Law «On Inland Water Transport»] vid 03.12.2020 № 1054-IX (Redaktsiya stanom na 31.03.2023) [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: https://zakon.rada.gov.ua [in Ukrainian].

УДК 620.621.793 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.6

С. О. ЛУЗАН
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри «Зварювання»
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
ORCID: 0000-0002-4808-0017

П. А. СИТНИКОВ
аспірант кафедри «Зварювання»
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
ORCID: 0000-0001-6656-0180

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ, НАПИЛЕНИХ КОМПОЗИЦІЙНИМ МАТЕРІАЛОМ, ОДЕРЖАНИМ З ВИКОРИСТАННЯМ СВС-ПРОЦЕСУ

Досліджено структуру та властивості плазмових напилених покриттів на основі самофлюсівного сплаву системи Ni-Cr-B-Si марки ПГ-10Н-01, модифікованого матеріалом, одержаним з використанням самопоширюваного високотемпературного синтезу (СВС-процес). В якості вихідних компонентів модифікуючого композиційного матеріалу використано порошки титану Ti, технічного вуглецю С, алюмінієвої пудри Al, оксидів кремнію SiO_2 та алюмінію Al_2O_3, оксиду залізу Fe_2O_3 та термореагуючого порошку ПТ-НА-01. Механічну активацію шихти проведено у кульовому млині КМ-1 протягом 15 хв, при 130 об/хв та співвідношенні як 1 до 40 маси шихти до маси тіл подрібнення. Ініціювання СВС-процесу здійснено теплотою розжареної ніхромової спіралі діаметром 0,8 мм, в середовищі аргону Ar. Процес плазмового напилення виконано на установці мікроплазмового напилення МПН-004, при струмі 45 А, напрузі 30 В, з дистанцією 100 мм на зразки зі сталі 65Г товщиною 3 мм. В якості плазмоутворюючого та захисного газу використовувався аргон Ar, з витратами 70 л/год та 280 л/год. При виконанні роботи за допомогою методів металографічного аналізу та електронної мікроскопії досліджено мікроструктуру напилених покриттів, проведено їх рентгенофазовий аналіз, а також визначено мікротвердість та зносостійкість. Встановлено, що в результаті плазмового напилення композиційного матеріалу формується покриття які мають щільну та багатофазну структуру. Склад покриття ПГ-10Н-01 включає твердий розчин нікелю γ-Ni з боридом нікелю Ni_3B. При додаванні модифікуючого композиційного матеріалу, поряд з γ-Ni з боридом нікелю Ni_3B в покритті виявлені дибориди TiB_2 та карбіди TiC титану, а також карбіди кремнію SiC, які призводить до збільшення мікротвердості покриття та його більш високої зносостійкості у процесі абразивного зносу. Розроблений композиційний матеріал рекомендовано для зміцнення поверхонь деталей машин, які експлуатуються в умовах абразивного середовища.

Ключові слова: *ресурс, деталі машин, СВС-процес, шихта, композиційний матеріал, плазмове напилення, покриття, структура, фазовий склад, мікротвердість, зносостійкість, карбід.*

S. O. LUZAN
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head at the Department of Welding
National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-4808-0017

P. A. SYTNYKOV
Postgraduate Student at the Department of Welding
National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0001-6656-0180

STRUCTURE AND PROPERTIES OF PLASMA COATINGS WHEN SPUTTERED WITH A COMPOSITE MATERIAL OBTAINED USING THE SHS PROCESS

The structure and properties of plasma-sputtered coatings based on a self-fluxing alloy of the Ni-Cr-B-Si system of PG-10N-01 grade modified with a material obtained by the self-propagating high-temperature synthesis (SHS process) were investigated. Powders of titanium (Ti), carbon black (C), aluminium powder (Al), silicon dioxide (SiO_2) and

aluminium oxide (Al_2O_3), iron oxide (Fe_2O_3) and PT-NA-01 thermosetting powder were used as the primary components of the modifying composite material. The mechanical activation of the charge was performed in the KM-1 ball mill for 15 minutes, at 130 rpm and a ratio 1:40 of the charge weight to the grinding media weight. The SHS process was initiated by the heat of a red-hot nichrome helix of diameter 0.8 mm in an argon (Ar) medium. The plasma sputtering process was carried out on the MPN-004 microplasma-based sputtering system, at a current of 45 A, voltage 30 B, with a distance of 100 mm on a 65G steel sample of thickness 3 mm. Argon (Ar) was used as a plasma-forming and shielding gas, with a flow rate of 70 l/h and 280 l/h, respectively. In the course of the work, the microstructure of the sputter-deposited coatings was studied using metallographic analysis and electron microscopy, their X-ray phase analysis was carried out, and their microhardness and wear resistance were determined. It was found that plasma sputtering of the composite material resulted in the formation of coatings with a dense and multiphase structure. The composition of the PG-10N-01 coating includes a solid solution of γ-Ni with nickel boride (Ni_3B). With the addition of a modifying composite material, along with γ-Ni with nickel boride (Ni_3B), titanium carbide (TiC) and diboride (TiB_2), as well as silicon carbide (SiC), were found in the coating, which led to an increase in the microhardness of the coating and its higher wear resistance in the process of abrasive wear. The developed composite material is recommended for strengthening the surfaces of machine parts that are used in abrasive environments.

Key words: *resource, machine parts, SHS process, charge, composite material, plasma spraying, coating, structure, phase composition, microhardness, wear resistance, carbide.*

Постановка проблеми

Одним з перспективних методів підвищення ресурсу деталей сільськогосподарських машин, які працюють в умовах абразивного середовища, є метод плазмового напилення покриттів композиційними матеріалами [1, 2]. Починаючи з 50-х років минулого сторіччя, традиційним методом отримання композиційних матеріалів залишалася порошкова металургія, проте в останні роки поряд з нею набув розвитку принципово новий метод – самопоширюваний високотемпературний синтез (СВС-процес) [3–7]. Фізична суть СВС-процесу полягає у локальному ініціюванні екзотермічних реакцій між вихідними реагентами, що дозволяє генерувати значну кількість тепла для поширення фронту фізико-хімічних перетворень, здатного утворювати матеріали прогнозованого хімічного та фазового складу [3, 8].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Плазмово-дуговий метод напилення застосовують для нанесення захисних, зміцнюючих та інших видів покриттів з порошків металів, оксидів, карбідів, нітридів, інших тугоплавких з'єднань, а також композиційних матеріалів та сумішей порошків різного виду [9]. Пріоритетним напрямом є дослідження властивостей плазмових покриттів, напилених керамічними порошками з додаванням нанопорошків. Так, в роботах [10, 11] наведено результати експериментальних досліджень зносостійкості та корозійної стійкості плазмово-напилених покриттів на основі самофлюсівного сплаву ПГ-СР2 шляхом модифікування нанодисперсними сполуками оксиду алюмінію Al_2O_3 та оксиду титану TiO_2. В якості вихідних матеріалів використані два дослідні склади: самофлюсівний порошок ПГ-СР2 (матричний матеріал), в який додано у концентраціях від 0,5 до 5,0 % нанодисперсний оксид алюмінію Al_2O_3 фракцією 50–60 нм та керамічний порошок оксиду алюмінію Al_2O_3 гамма-фази фракцією 40–63 мкм в який додано у концентраціях від 0,5 до 1,5 % нанодисперсний оксид титану TiO_2 фракцією 50–60 нм. Для змішування та механо-хімічної активації шихт використано кульовий млин моделі *XQM-2*. Напилення покриттів здійснено спеціальним плазмотроном [12] при струмі 80–90 А, напрузі 35–50 В, продуктивністю до 4 кг/год з загальною витратою плазмоутворюючого та транспортуючого газу (аргону Ar) 5 л/хв. Результати досліджень показали, що оптимальний вміст нанодисперсного оксиду алюмінію Al_2O_3 в складі самофлюсівного сплаву ПГ-СР2 складає 0,2 %. Через це мікротвердість покриття збільшується на 25–40 %, а його зносостійкість підвищується в 2,5–3,0 рази. Оптимальний вміст нанодисперсного оксиду титану TiO_2 в суміші з оксидом алюмінію Al_2O_3 гамма-фази складає 1,5 %, при цьому корозійна стійкість покриття підвищується у 2,8 рази, а його мікротвердість збільшується на 25–30 %.

Оригінальними науковими дослідженнями плазмового покриття з композиційного матеріалу ZrB_2–SiC–AlN встановлено вплив складу і швидкості плазмового струменя на структуру та фазовий склад покриттів, а також здійснено дослідження їх стійкості до термоциклічного нагрівання [13]. Так, при нагріванні полум'ям кисневопропан-бутаної суміші покриття товщиною 400 мкм зберігає свої захисні властивості при 15 термоциклах. Поверхневий шар покриття після цього складається з матриці на основі Al_2SiO_5 з субмікронними включеннями ZrO_2. Використання таких покриттів рекомендовано для виробів та вузлів авіакосмічної техніки.

В роботі [14] досліджено структуру та аморфізуючі властивості композиційних детонаційних покриттів на основі Fe-Mo-Ni-Cr-B–сплаву. В якості дослідних порошків використанні сплави Fe-Mo-Ni-Cr-B+ZrB_2, Fe-Mo-Ni-Cr-B+(Ti, Cr)C, Fe-Mo-Ni-Cr-B+$FeTiO_3$. Дослідні композиції сумішей отримували методом механічного легування. За результатами проведених досліджень встановлено, що нанесені детонаційним напиленням покриття мали щільну ламелярну багатофазну структуру. Мікротвердість покриттів складає: Fe-Mo-Ni-Cr-B – 4855±1023 МПа, Fe-Mo-Ni-Cr-B+ZrB_2 – 3830±570 МПа, Fe-Mo-Ni-Cr-B+(Ti, Cr)C – 4450±700 МПа,

Fe-Mo-Ni-Cr-B+$FeTiO_3$ – 3750±620 МПа. Електрохімічні випробування покриттів показали, що їх корозійна стійкість залежить від pH-розчину. Отримані покриття товщиною 500 мкм були досліджені в розчинах 3 %-му NaCl та 5 %-му NaOH. Зносостійкість детонаційних покриттів Fe-Mo-Ni-Cr-B+ZrB_2, Fe-Mo-Ni-Cr-B+(Ti, Cr)C, Fe-Mo-Ni-Cr-B+$FeTiO_3$ в умовах зношування по незакріплених абразивних частинках SiO_2 та B_4C по відношенню до еталону «сталь 30ХГСА» складала 2,6–3,3 рази в середовищі SiO_2 та 1,9–2,9 рази – в середовищі B_4C. Найбільш високу зносостійкість у 2,7–3,0 рази було досягнуто на покритті типу Fe-Mo-Ni-Cr-B+(Ti, Cr)C, яке має мікротвердість 4450±700 МПа.

Перспективним напрямом досліджень є розробка композиційних матеріалів, одержаних з використанням СВС-процесу.

Формулювання мети дослідження

Дослідження структури та властивостей плазмових покриттів композиційним матеріалом, одержаними з використанням СВС-процесу.

Методика проведення досліджень

В якості вихідного матеріалу для напилення використовували композиційний матеріал, одержаний з використанням самопоширюваного високотемпературного синтезу (СВС-процесу). Розробку композиційного матеріалу здійснювали у два етапи. На першому етапі для одержання модифікуючого композиційного матеріалу (МКМ) були використанні порошки титану Ті марки ПТМ-1, технічного вуглецю С марки П-803, оксидів кремнію SiO_2 та алюмінію Al_2O_3, які було додано у вигляді вогнетривкої глини марки ПГОСА-0. З метою підсилення термічного ефекту реакції до вихідної шихти були додані алюміній Al у вигляді пудри марки ПАП-1, оксид заліза Fe_2O_3 та термореагуючий порошок марки ПТ-НА-01. Гранулометричний розмір вихідних порошків не перевищував 100 мкм. Співвідношення вихідних компонентів шихти було еквімолярним, щоб під час подальшого проходження СВС-процесу відбувся синтез карбідів титану TiC та кремнію SiC стехіометричного складу.

Змішування та механічну активація шихти здійснювали у кульовому млині моделі КМ-1 (рис. 1), протягом 15 хв, при 130 об/хв та співвідношенні 1 : 40 маси шихти до маси тіл подрібнення (сталевих куль діаметром 6 мм). Після механічної активації максимальний розмір частинок шихти не перевищував 40 мкм [15].

До обробленої шихти було додано 10 % клею «Metylan», після чого спресовано зразок циліндричної форми діаметром 16 мм та висотою 20 мм. Одержаний зразок просушували протягом 72 годин при температурі + 25 °С.

Ініціювання СВС-процесу зразка здійснювали нагрітою ніхромовою спіраллю діаметром 0,8 мм (рис. 2, а) з використанням спеціально розробленого пристрою [16]. СВС-процес проводили у середовищі аргону Ar з чистотою 98 %.

На другому етапі одержаний у вигляді спіку МКМ дробили до порошкоподібного стану, після чого в кількості від 10 до 30 % МКМ додавали до матеріалу матриці – самофлюсівного сплаву системи Ni-Cr-B-Si марки ПГ-10Н-01 та проводили механічну активацію протягом 15 хв.

Нанесення плазмових покриттів здійснювали з використанням установки мікроплазмового напилення МПН-004 в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Параметри процесу напилення: сила струму I = 45 А, напруга U = 30 В, витрата плазмоутворюючого газу $Q_{пл}$ = 70 л/год, витрата захисного газу $Q_{зг}$ = 280 л/год, дистанція напилення L = 100 мм. Напилення проводили на зразки зі сталі 65Г товщиною 3 мм. Попередньо зразки

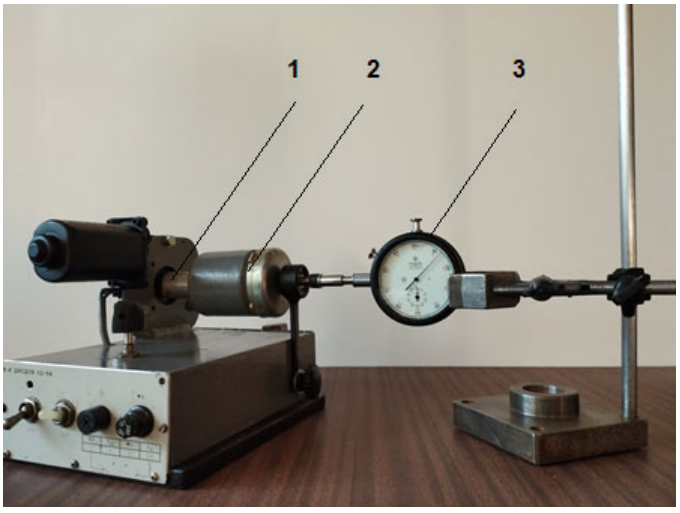
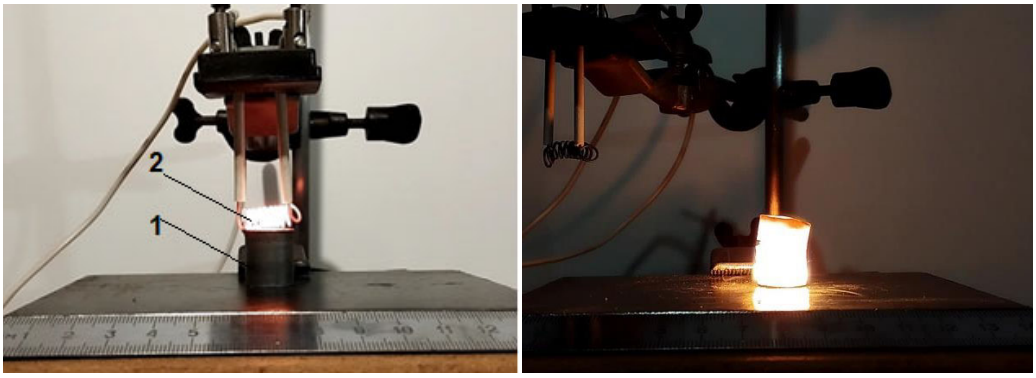


Рис. 1. Кульовий млин моделі КМ-1 для механічної активації шихти: 1 – привід барабану; 2 – сталевий барабан; 3 – тахометр



а) б)

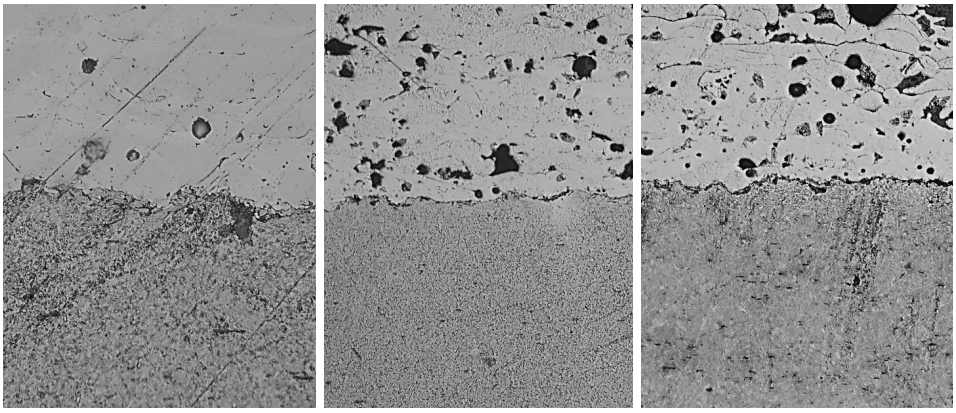
Рис. 2. Отримання спіку із застосуванням СВС-процесу: 1 – зразок з шихти; 2 – ніхромова спіраль; а – попередній підігрів зразка; б – одержаний спік

піддавали струміно-абразивній обробці та здійснювали ультразвукове очищення поверхні ізопропіловим спиртом протягом 15 хв. На поверхні зразків були напилені покриття товщиною від 250 до 300 мкм.

Для дослідження мікроструктури та фазового складу покриттів були використані методи металографічного аналізу (мікроскоп Neophot-32, оснащений приставкою для цифрової зйомки), електронної мікроскопії (скануючий електронний мікроскоп Tescan Mira 3LMU з встановленим енергодисперсійним спектрометром Oxford X-max) та рентгеноструктурного аналізу (рентгенівський дифрактометр Rigaku Ultima-IV). Травлення зразків здійснювалося у 4 %-му розчині азотної кислоти HNO_3 в етиловому спирті. Для вимірювання мікротвердості напилених покриттів використовували мікротвердомір ПМТ-3 з навантаженням 0,1 кг на алмазну піраміду. При дослідженні зносостійкості покриттів використовувалася машина тертя Х4-Б та зразки циліндричної форми діаметром 4 мм і висотою 15 мм, які зношувалися своїм торцем по поверхні абразивної шкурки, закріпленої на торці диску, який обертався. Діаметр диску складав 200 мм, шлях тертя зразку становив 20 м. Зразок, який досліджувався, притискався до абразивної шкурки при навантаженні 1 кг. Знос зразку відбувався по новій поверхні шкурки, для чого він отримував радіальне переміщення. При дослідженнях для кожного зразку використовувалася нова шліфувальна шкурка з абразивним зерном на основі електрокорунду розміром 150 мкм. Оцінка відносної зносостійкості напилених покриттів композиційного матеріалу проводилася у порівнянні з величиною зносу покриття напиленого матричним матеріалом ПГ-10Н-01. Величина зносу напиленого покриття визначалася ваговим методом із застосуванням аналітичних ваг ВЛР-200.

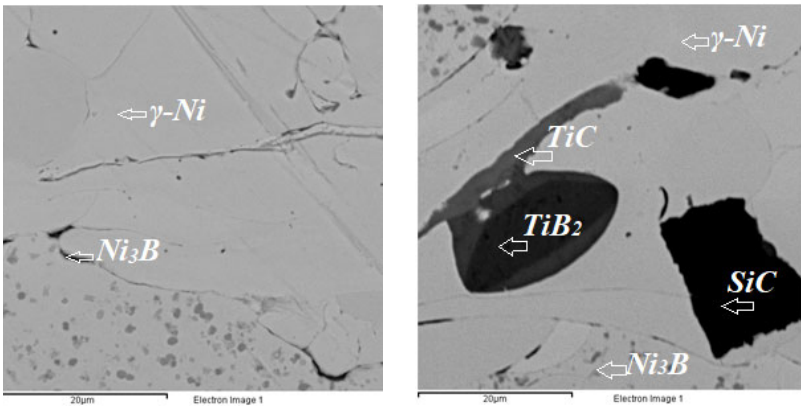
Викладення основного матеріалу дослідження

При напиленні як сплаву ПГ-10Н-01 (рис. 3, а), так і композиційного матеріалу (КМ) формується щільні, однорідні по товщинні покриття. Мікроструктурою КМ є матричний матеріал із самофлюсівного сплаву ПГ-10Н-01 в якому рівномірно розташовані тверді включення різного розміру, причому зі збільшенням в КМ вмісту МКМ їх кількість відповідно збільшується (рис. 3, б та в).



а) б) в)

Рис. 3. Мікроструктура напилених покриттів: а – ПГ-10Н-01; б – КМ (10 % МКМ – 90 % ПГ-10Н-01); в – КМ (20 % МКМ – 70 % ПГ-10Н-01) (х 400)



а) б)

Рис. 4. Мікроструктура та фазовий склад напилених покриттів: а – ПГ-10Н-01; б – КМ (10 % МКМ – 90 % ПГ-10Н-01)

Для визначення хімічного складу включень були проведені дослідження з використанням скануючої електронної мікроскопії та енергодиперсійного аналізу. Дослідженнями встановлено, що основу напиленого покриття ПГ-10Н-01 складає γ-твердий розчин нікелю (γ-Ni) та боридна фаза Ni_3B (рис. 4, а). В шарі КМ складу 10 % МКМ + 90 % ПГ-10Н-01, крім основних фаз γ-Ni та Ni_3B виявлені включення карбідів титану TiC та кремнію SiC, а також диборид титану TiB_2 (рис. 4, б). Наявність фаз γ-Ni, Ni_3B, TiC, SiC, TiB_2 підтвердив рентгенофазовий аналіз.

Мікротвердість напилених покриттів, заміряна у напрямі від поверхні напиленого покриття до поверхні основи, представлена на рис. 5.

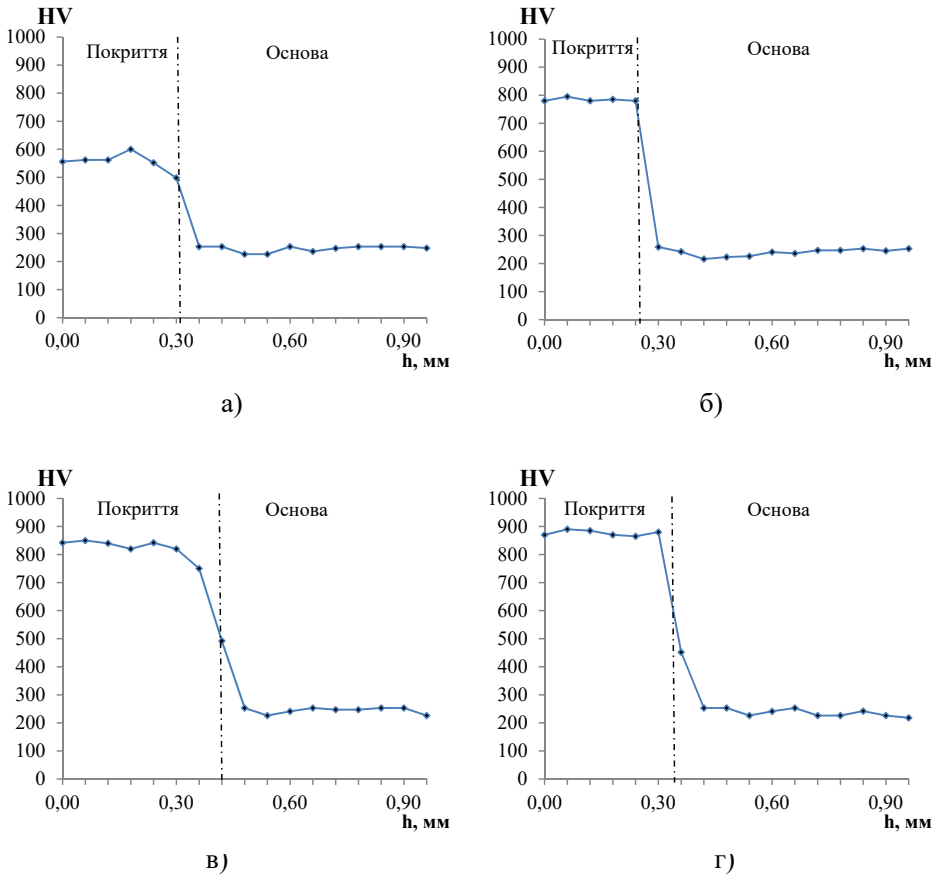


Рис. 5. Зміна мікротвердості (HV) напилених покриттів у напрямку від поверхні покриття до поверхні основи: а – ПГ-10Н-01; б – КМ (10 % МКМ – 90 % ПГ-10Н-01); в – КМ (20 % МКМ – 80 % ПГ-10Н-01); г – КМ (30 % МКМ – 70 % ПГ-10Н-01)

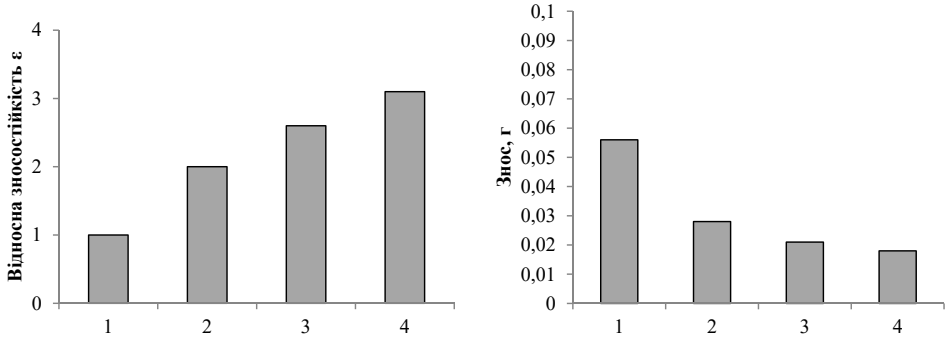
На основі результатів вимірювань мікротвердості (рис. 5) виявлено, що середня мікротвердість напиленого покриття КМ (10 % МКМ + 90 % ПГ-10Н-01) становить 780 HV, покриття КМ (20 % МКМ + 80 % ПГ-10Н-01) – 835 HV та покриття КМ (30 % МКМ + 70 % ПГ-10Н-01) – 880 HV, що перевищує середню мікротвердість напиленого покриття сплаву ПГ-10Н-01, яка дорівнює 555 HV. Стабільний характер розподілу мікротвердості в напилених покриттях КМ свідчить про рівномірне розповсюдження карбідів та диборидів.

Результати досліджень зносостійкості напилених покриттів представлено на рис. 6.

На підставі аналізу результатів вимірювань зносостійкості покриттів встановлено, що напилені покриття КМ мають більш високу абразивну стійкість у порівняні з самофлюсівним сплавом ПГ-10Н-01. Це пояснюється тим, що в структурі напиленого покриття, поряд з твердим розчином нікелю γ-Ni та боридом нікелю Ni_3B присутні карбіди титану TiC, карбіди кремнію SiC, а також дибориди титану TiB_2. При збільшенні в КМ вмісту МКМ кількість цих карбідів та боридів збільшується, відповідно чому відбувається підвищення зносостійкості покриття в процесі абразивного зношування (рис. 7).

Морфологія поверхонь тертя (рис. 8) збігається з результатами випробувань на зносостійкість. Так, поверхня тертя напиленого покриття ПГ-10Н-01 має риски глибиною до 14 мкм (рис. 8, а), поверхня тертя КМ (10 % МКМ + 90 % ПГ-10Н-01) має риски глибиною до 7 мкм (рис. 8, б), причому зі збільшенням в КМ кількості МКМ їх глибина зменшується (рис. 8, в, г).

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що покриття КМ мають структуру на основі нікелевої матриці (γ-Ni) в якій, поряд з боридом нікелю Ni_3B, рівномірно розподілені карбіди титану TiC, кремнію SiC та дибориди титану TiB_2. Наявність карбідів та диборидів в структурі збільшує мікротвердість покриття, через що зростає його зносостійкість.



а) б)

Рис. 6. Зносостійкість напилених покриттів в процесі абразивного зношування: а) відносна зносостійкість; б) знос напилених покриттів; 1 – ПГ-10Н-01; 2 – КМ (10 % МКМ – 90 % ПГ-10Н-01); 3 – КМ (20 % МКМ – 80 % ПГ-10Н-01); 4 – КМ (30 % МКМ – 70 % ПГ-10Н-01)

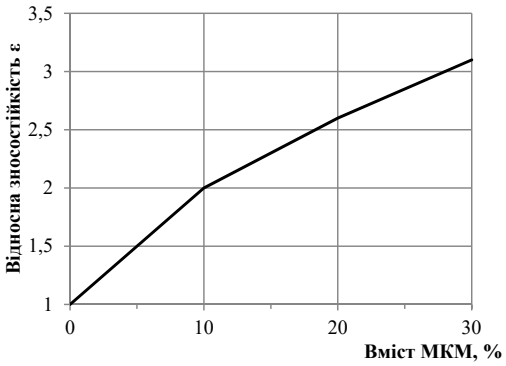
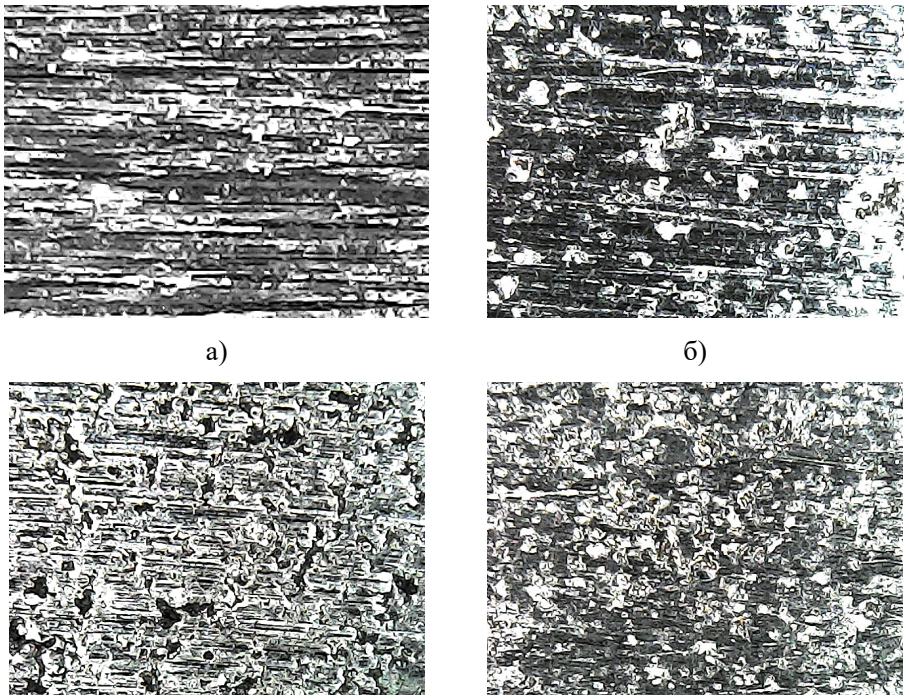


Рис. 7. Відносна зносостійкість покриттів КМ в залежності від вмісту МКМ



а) б)

в) г)

Рис. 8. Морфологія поверхонь тертя: а – ПГ-10Н-01, б – КМ (10 % МКМ – 90 % ПГ-10Н-01), в – КМ (20 % МКМ – 80 % ПГ-10Н-01), г – КМ (30 % МКМ – 70 % ПГ-10Н-01) (х 400)

Висновки

Покриття, нанесені плазмовим напиленням композиційного матеріалу складу 10–30 % МКМ + 90–70 % ПГ-10Н-01, містять в структурі тверді включення у вигляді карбідів титану TiC та кремнію SiC, а також диборидів титану TiB_2. Мікротвердість покриття КМ (10 % МКМ + 90 % ПГ-10Н-01) становить 780 HV, КМ (20 % МКМ + 80 % ПГ-10Н-01) – 835 HV, КМ (30 % МКМ + 70 % ПГ-10Н-01) – 880 HV, що перевищує мікротвердість покриття матричного сплаву ПГ-10Н-01.

Дослідженнями встановлено, що в процесі абразивного зношування зносостійкість покриття КМ (10 % МКМ + 90 % ПГ-10Н-01) у 2 рази, КМ (20 % МКМ + 80 % ПГ-10Н-01) у 2,6 разів, а КМ (30 % МКМ + 90 % ПГ-10Н-01) у 3,1 рази є вищою у порівнянні із зносостійкістю покриття зі сплаву ПГ-10Н-01.

Розроблений композиційний матеріал, одержаний з використанням СВС-процесу, можна рекомендувати для підвищення ресурсу деталей сільськогосподарських машин, які працюють в умовах абразивного середовища.

Список використаної літератури

1. Наука про матеріали: Досягнення та перспективи / редкол. Л.М. Лобанов (голова) та ін. Київ : НАН України, Академперіодика, 2018. Т. 1. 652 с.

2. Коржик В.М., Рябоволик Ю.В., Шевченко В.Ю., Демянов О.І. Трибологічні характеристики електродугових покриттів для відновлювання деталей сільськогосподарських машин та обладнання. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк. 2011. № 32. С. 185–190.

3. Kharatyan S.L., Merzhanov A.G. Coupled SHS reactions as a useful tool for synthesis of materials: an overview. *International Journal of SHS.* 2012. № 21. P. 59–73. DOI: https://doi.org/10.3103/S1061386212010074

4. Merzhanov A.G., Borovinskaya I.P. Historical retrospective of SHS: an autoreview. *International Journal of SHS*. 2008. № 4. P. 242–265. DOI: https://doi.org/10.3103/S1061386208040079

5. Tavadze G.F., Shteinberg A.S. Production of advanced materials by methods of self-propagating high-temperature synthesis. Tbilisi : Meridian, 2011. 206 p.

6. Тавадзе Г.Ф. Про розвиток напряму самопоширюваного високотемпературного синтезу. Доповідь з нагоди вручення Золотої медалі ім. В.І. Вернадського НАН України. *Вісник НАН України*. 2017. № 5. С. 46–51.

7. Лузан С.О., Ситников П.А. Ретроспективний аналіз формування та розвитку самопоширюваного високотемпературного синтезу. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2022. № 4 (135). С. 88–96. DOI: https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.4.12

8. Лузан С.О., Ситников П.А. Самопоширюваний високотемпературний синтез: стан, проблеми та перспективи розвитку. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2022. № 6. Т. 33 (72). С. 17–23. DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/04

9. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Інженерія поверхні: підручник. Київ, Наукова думка. 2007. 553 с.

10. Смирнов І.В., Чорний А.В., Фурман В.К., Долгов Н.А. Вплив домішок нанодисперсних сполук оксидів на зносо- та корозійну стійкість плазмово-напилених покриттів. *Проблеми тертя та зношування*. 2017. № 1 (74). С. 14–22.

11. Фурман В.К., Чорний А.В., Смирнов І.В. Дослідження впливу домішок нанопорошки оксиду алюмінію на зносостійкість плазмових покриттів. *Проблеми трибології*. 2016. № 1. С. 100–104.

12. Пристрій для плазмового – дугового напилення покриттів: пат. 54496 Україна, МПК (2009) B23K 10/00. № 54496; заявл. 20.05.2010; опубл. 10.11.2010, бюл. № 21. 6 с.

13. Borisov Yu.S., Borisova A.L., Grishchenko A.P., Vigilanskaya N.V., Kolomiitsev M.V., Vasilkovskaya M.A. Structure and phase composition of ZrB_2-SiC-AlN plasma coatings on the surface of C/C-SiC composite materials. *Automatic Welding*, 2019. № 5. P. 25–35. DOI: https://doi.org/10.15407/as2019.05.03

14. Борисов Ю.С., Борисова А.Л., Цимбаліста Т.В., Кільдій А.І., Янцевич К.В., Іпатова З.Г. Отримання і властивості детонатоційних покриттів на основі аморфізованого сплаву FeMoNiCrB з введенням зміцнюючих фаз. *Автоматичне зварювання*. 2021. № 12. С. 38–45. DOI: https://doi.org/10.37434/as 2021.12.05

15. Лузан С.О., Ситников П.А. Дослідження впливу параметрів механічної активації шихти Ti–C–Al–SiO_2–Al_2O_3–Fe_2O_3–ПТ-НА-01 на тривалість синтезу композиційного матеріалу, що модифікує. *Вісник Харківського автомобільно-дорожнього університету.* 2023. № 100. С. 42–47. DOI: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.42

16. Luzan S.O., Sytnykov P.A. Device for initiating the SHS process. Materials VI International scientific and practical conference. “Science and innovation of modern world”, London, 23–25 February 2023. London. P. 237–239.

References

1. Lobanov L.M. (Eds.). Science of materials: achievements and perspectives. NAS of Ukraine. Kyiv: Akademperiodyka, 2018. Vol. 1. 652 p.

2. Korzhik V.M., Ryabovolyk Yu.V., Shevchenko V.Yu., Demyanov O.I. Tribological characteristics of electric arc coatings for restoration of parts of agricultural machines and equipment. *Interuniversity collection “Scientific Notes”*. Lutsk. 2011. № 32. P. 185–190.

3. Kharatyan S.L., Merzhanov A.G. Coupled SHS reactions as a useful tool for synthesis of materials: an overview. *International Journal of SHS.* 2012. № 21. P. 59–73. DOI: https://doi.org/10.3103/S1061386212010074

4. Merzhanov A.G., Borovinskaya I.P. Historical retrospective of SHS: an autoreview. *International Journal of SHS*. 2008. № 4. P. 242–265. DOI: https://doi.org/10.3103/S1061386208040079

5. Tavadze G.F., Shteinberg A.S. Production of advanced materials by methods of self-propagating high-temperature synthesis. Tbilisi : Meridian, 2011. 206 p.

6. Tavadze G.F. On the development of the direction of self-propagating high-temperature synthesis. Report on the occasion of the presentation of the Gold Medal named after V.I. Vernadskyi National Academy of Sciences of Ukraine. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2017. № 5. P. 46–51.

7. Luzan, S.O., Sytnykov, P.A. Retrospective analysis of the formation and development of self-propagating high-temperature synthesis. *Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky National University of Kremenchug.* № 4 (135), 2022. P. 88–96. DOI: https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.4.12

8. Luzan, S.O., Sytnykov, P.A. Self-propagating high-temperature synthesis: status, problems and development prospects. *Scientific notes of Tavrida National V.I. Vernadskyi University Series: Technical Sciences.* Vol. 33 (72). № 6. 2022. P. 17–23. DOI: https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/04

9. Yushenko K.A., Borisov Yu.S., Kuznecov V.D., Korzh V.M. Surface engineering: textbook. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 2007. 553 p.

10. Smirnov I.V., Chornyi A.V., Furman V.K., Dolgov N.A. The effect of admixtures of nanodispersed compounds of oxides on the wear and corrosion resistance of plasma-sprayed coatings. *Friction and wear problems*. 2017. № 1 (74). P. 14–22.

11. Furman V.K., Chornyi A.V., Smirnov I.V. Study of the influence of aluminum oxide nanopowder admixtures on the wear resistance of plasma coatings. *Problems of tribology*. 2016. № 1. P. 100–104.

12. Device for plasma-arc spraying of coatings: pat. 54496 Ukraine, IPC (2009) B23K 10/00. No. 54496; statement 05/20/2010; published 10.11.2010, Bull. № 21. 6 p.

13. Borisov Yu.S., Borisova A.L., Grishchenko A.P., Vigilanskaya N.V., Kolomiitsev M.V., Vasilkovskaya M.A. Structure and phase composition of ZrB_2-SiC-AlN plasma coatings on the surface of C/C-SiC composite materials. *Automatic Welding*, 2019. № 5. P. 25–35. DOI: https://doi.org/10.15407/as2019.05.03

14. Borisov Yu.S., Borisova A.L., Tsymbalista T.V., Kildiy A.I., Yantsevich K.V., Ipatova Z.G. Preparation and properties of detonation coatings on amorphized FeMoNiCrB alloys with introduction of strengthening phases. *Automatic welding*. 2021. № 12. P. 38–45. DOI: https://doi.org/10.37434/as 2021.12.05

15. Luzan, S.O., Sytnykov, P.A. Study of the influence of the parameters of mechanical activation of the Ti–C–Al–SiO_2–Al_2O_3–Fe_2O_3–PT-NA-01 charge stock on the duration of the synthesis of the modifying composites. *Bulletin of the Kharkiv Automobile and Road University.* 2023, № 100. P. 42–47. DOI: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.42

16. Luzan S.O., Sytnykov P.A. Device for initiating the SHS process. Materials VI International scientific and practical conference. “Science and innovation of modern world”, London, 23–25 February 2023. London. P. 237–239.

УДК 656.5:656.63 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.7

О. М. МЕЛЬНИК
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри судноводіння і морської безпеки
Одеський національний морський університет
ORCID: 0000-0001-9228-8459

УПРАВЛІННЯ ПОДІЯМИ ТА ІНЦИДЕНТАМИ В ПРАКТИЦІ БЕЗПЕКО-ОРІЄНТОВАНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНА

Стаття присвячена дослідженню процесу управління подіями та інцидентами на борту судна, що є важливим аспектом забезпечення безпеки та ефективності його експлуатації в процесі морського перевезення. Моніторинг стану безпеки суднових операцій та функціонування систем є фундаментальним елементом в процесі управління подіями. У даній роботі визначено поняття управління подіями та інцидентами, яке охоплює процес виявлення, відстеження, аналізу та вирішення таких подій, які відбуваються протягом рутинної експлуатації судна. Також значна увага приділяється дослідженню причин, що призвели до виникнення подій. Ці аспекти виступають як ключові фактори управління подіями. Зазначено, що існують три основних типи подій – інформаційні, предупреджувальні та випадки відхилення, кожен з яких вимагає відповідних дій та реагування. В статті також описано важливі складові процесу управління подіями та інцидентами на борту судна, такі як виявлення, класифікація та оцінка, реагування та залучення експертної групи щодо управління ними. Аналіз подій і їх причин є цінним інструментом для вдосконалення процесу управління подіями та запобігання інцидентам у майбутньому. Ці результати є корисними для фахівців з безпеки судноплавства, операторів суден та судновласників, оскільки надають можливість ефективно керувати системою безпеки подіями та інцидентами на судні. Вони слугують важливим джерелом інформації для вдосконалення безпекових процедур та прийняття обґрунтованих рішень щодо забезпечення безпеки на морських суднах.

Ключові слова: *управління безпекою, судноплавство, морське перевезення, системи судна, виявлення інцидентів, заходи безпеки, запобігання небезпекам, експлуатація судна.*

O. M. MELNYK
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Navigation and Maritime Safety
Odesa National Maritime University
ORCID: 0000-0001-9228-8459

EVENT AND INCIDENT MANAGEMENT IN THE PRACTICE OF SAFE SHIP OPERATION

The article is devoted to the study of the process of managing events and incidents on board a ship, which is an important aspect of ensuring the safety and efficiency of its operation in the course of maritime transportation. This paper defines the concept of event and incident management, which covers the detection, tracking, analysis and resolution of events and incidents that occur during the routine operation of a ship. Monitoring the safety status of ship operations and systems is a fundamental element in the event management process. Considerable attention is also paid to investigating the causes that led to the occurrence of events. These aspects act as key factors in event management. It is noted that there are three main types of events – informational, warning and deviation cases, each of which requires appropriate actions and responses. The article also describes important aspects of event management on board a ship, such as event detection, classification and assessment, response and involvement of an incident management team. The analysis of events and their causes is a valuable tool for improving the event management process and preventing similar incidents in the future. These results are useful for maritime safety professionals, ship operators and shipowners as they provide an opportunity to effectively manage the safety system of events and incidents on board. They serve as an important source of information for improving safety procedures and making informed decisions on maritime safety.

Key words: *safety management, shipping, maritime transportation, ship systems, incident detection, security measures, incident prevention, ship operation.*

Постановка проблеми

Управління подіями та інцидентами на суднах має суттєве значення в процесі забезпечення безпеки та ефективності їх експлуатації. Однак існують деякі виклики та проблеми, які потребують уваги і розгляду. Недостатня своєчасна ідентифікація подій та інцидентів, відсутність стандартизованого підходу до управління, недостатня координація між різними сторонами, недостатня підготовка та навички персоналу, а також обмежена доступність технологічних рішень є лише деякими з проблем, які можуть бути розглянуті. Враховуючи ці аспекти, необхідно активно працювати над вдосконаленням управління подіями та інцидентами на морському транспорті для забезпечення найвищого рівня безпеки та нормального функціонування суден.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідженню проблем забезпечення безпеки експлуатації суден та процесам управління подіями та інцидентами на морському транспорті присвячені численні наукові праці. Так у [1] розглядаються методи управління подіями та інцидентами на морському транспорті з акцентом на технології інформаційного обміну. Автори досліджують процес безпечної експлуатації суден, методи та технології, які допомагають ефективно керувати інцидентами. У статті [2] проводиться порівняльний аналіз інцидентів, пов'язаних з суднами-танкерами, та їх вплив на навколишнє середовище, досліджуються наслідки таких інцидентів та надається інформацію про їх взаємозв'язок з довкіллям. У роботі [3] проводиться аналіз ризику виникнення зіткнень під час маневрування. Автори використовують інтеграцію аналізу дерева відмов з байєсовською мережею для оцінки ризику таких інцидентів. У статті [4] представлений проект розробки системи звітності про інциденти на морі з назвою ForeSea, описується процес розробки системи та її функції з метою поліпшення безпеки на морі та ефективного управління інцидентами. Наукова праця [5] зосереджується на ідентифікації небезпек, які впливають на оперативну безпеку судна на внутрішніх водних шляхах у дельті річки Вісли, вивчаються фактори, які можуть призвести до інцидентів та небезпек, і пропонують заходи для забезпечення безпеки судноплавства в даній області. У [6] проводиться дослідження моделі прогнозування аварій та інцидентів при експлуатації круїзних суден на основі машинного навчання, де також розглядається застосування машинного навчання для виявлення ризиків та прогнозування можливих інцидентів у сфері круїзного судноплавства. Стаття [7] пропонує новий підхід до запобігання інцидентам з питань безпеки процесів шляхом інтеграції та підсилення бар'єрів безпеки процесів та рамок операційного вдосконалення у виробничих сегментах нафтогазової промисловості.

Усі вказані дослідження зосереджуються на різних аспектах управління подіями та інцидентами на морському транспорті, включаючи технології обміну інформацією, аналіз ризиків, розробку систем звітності та використання машинного навчання з метою забезпечення безпеки мореплавства і демонструє що ця тема є актуальною і важливою для забезпечення безпеки на морі. **Мета статті** полягає в сприянні поліпшенню безпеки експлуатації суден та підвищенню ефективності суднових операцій шляхом розробки рекомендацій щодо використання систем управління подіями та інцидентами на морському транспорті.

Викладення основного матеріалу дослідження

Аналіз негативних подій та інцидентів, що сталися на суднах, потребує розгляду з метою встановлення їх наслідків для безпеки як самого судна, середовища так і галузі морського транспорту загалом. Огляд різних типів негативних подій на суднах, включаючи аварії, пожежі, забруднення довкілля, крадіжки та піратство, що мали серйозний вплив на безпеку мореплавання та екологію допомагає з'ясувати причини таких подій, включаючи вплив людського фактору, технічні несправності, погодні умови та недостатню дотримання міжнародних норм і стандартів з метою вдосконалення систем безпеки та моніторингу для запобігання подібним інцидентам у майбутньому. Адже загрози для життя і здоров'я членів екіпажу, пасажирів, екологічні катастрофи, економічні збитки та забруднення морського середовища в довгостроковій перспективі здатні зменшити довіру до морського транспорту як ключовому у міжнародній торгівлі.

Управління подіями та інцидентами визначається як «процес, який відстежує всі події, що відбуваються в структурі об'єкта, в даному випадку морського судна. Це може розглядатися на етапі життєвого циклу будь-яких суднових операцій на рівні рейсу та відповідати за визначення проблем та змін, що відбуваються на судні, як очікуваних, так і несподіваних. Мета практики моніторингу та управління подіями полягає в тому, щоб «систематично спостерігати за станом судна та його системами (навігаційною, технічною, вантажною тощо) а також їх компонентами, реєструвати та повідомляти про окремі зміни у їх стані, визначені як події.

Практика управління подіями та інцидентами підкреслює важливість дослідження таких подій і визначення їх причин для підвищення безаварійної роботи флоту судноплавних компаній. Цей процес служить ефективним інструментом для управління безпекою на суднах. Шляхом аналізу самої події та її причин, судноплавна компанія може здійснювати ефективне управління ризиками та приймати обґрунтовані рішення для запобігання подібним ситуаціям у майбутньому. Такі дослідження стають цінним інструментом для вдосконалення системи управління безпекою, визначення слабких місць та прийняття відповідних заходів для покращення безпекових процедур.

Управління подіями та інцидентами на борту сучасного судна відіграє важливу роль в процесі забезпечення безпеки та ефективності його експлуатації. Події та інциденти, що виникають, можуть мати різну природу та рівень небезпеки, тому важливо визначити і застосувати відповідні методи управління для ефективного вирішення таких проблем. Наступні аспекти процесу управління представлені у табл. 1.

Процес управління подіями та інцидентами на борту судна ґрунтується на дотриманні стандартів та нормативних вимог, а також на досвіді та знаннях членів екіпажу. Це дозволяє ефективно реагувати на проблеми, що виникають, і мінімізувати ризики для безпеки судна, екіпажу та навколишнього середовища.

Перш ніж розглядати переваги інструменту управління подіями, необхідно спочатку пояснити, що означає «подія» в управлінні. Подія – це, по суті, будь-яка зміна (відмова) в роботі або в стані обладнання, механізму, приладу, функціональний збій в працездатності будь-якого елементу в системах судна, підсистемах під час рутинних

Таблиця 1

Аспекти процесу управління подіями та інцидентами

Етап	Перелік дії
Виявлення інцидентів	Важливим етапом є виявлення інцидентів, які можуть бути виявлені через різні системи моніторингу, датчики та спостереження безпосередньо з боку членів екіпажу. Оперативне виявлення інцидентів дозволяє негайно вживати заходів для їх усунення та запобігання негативним наслідкам.
Оцінка та класифікація інцидентів	Після виявлення інциденту проводиться його оцінка та класифікація. Оцінка включає визначення природи та серйозності інциденту, а також його потенційного впливу на безпеку та операційну діяльність судна. Класифікація дозволяє визначити пріоритети у реагуванні та вибір відповідних стратегій управління.
Реагування на інциденти	У разі виникнення інциденту потрібне негайне реагування з боку екіпажу. Реагування може включати застосування аварійних процедур, активацію систем автоматичного керування, комунікацію з береговим центром керування та координацію дій між членами екіпажу.
Управління наслідками інцидентів	Після того, як інцидент був виправлений, потрібне управління його наслідками. Це може включати розслідування причин та обставин інциденту, оцінку можливих пошкоджень судна або вантажу, вжиття заходів для запобігання повторному виникненню таких інцидентів, а також інформування судновласника та зацікавлених сторін.
Навчання та тренування екіпажу	Щоб екіпаж був готовий ефективно реагувати на інциденти, необхідно проводити регулярні навчання та тренування, які допоможуть їм опанувати навички управління інцидентами та правильно застосовувати процедури в критичних ситуаціях.

суднових операцій тощо. Ці зміни не обов'язково є негативними, адже іноді подія просто несе інформативний характер (сповіщення).

Візьмемо, наприклад, систему автоматичного управління рухом судна. Подія відбувається, коли стан системи змінюється внаслідок погіршення погодних умов. Події можуть повідомити про нормальну роботу судна в цілому, так само вони можуть повідомити про відхилення у роботі систем судна.

У зв'язку з цим можна виділити три основні типи подій:

1. Інформація. Ці події дозволяють дізнатися про те що дещо змінилося, але при цьому жодних дій не потрібно вживати. Як і в наведеному вище прикладі, автоматичне управління курсом судна (система оповіщення спрацювала належним чином і немає необхідності виконувати будь-які дії).
2. Попередження. Це більш серйозний тип події і може фактично вимагати будь-яких дій. Наприклад, втрата (скидання) заданого курсу судном в автоматичному режимі або загроза зіткнення з потенційно небезпечною ціллю через перетин ліміту охоронної зони, тому видається попередження, щоб члени вахтової команди містку знали, що може знадобиться ручне втручання в процес керування. Тому якщо не буде вжито жодних дій, то поточна ситуація призведе до інциденту. У подібних ситуаціях запобіжні події можуть допомогти запобігти інцидентам.
3. Відхилення. Ця подія вказує на виникнення серйозних проблем або неполадок. Вона вимагає негайного реагування, розслідування та прийняття необхідних заходів для вирішення ситуації. У всіх випадках, де виникають відхилення, заходи з управління інцидентами або подіями мають бути активовані, включаючи участь членів екіпажу та вахтових офіцерів. Вони виконують ключову роль у виявленні, вирішенні та документуванні відхилень, для забезпечення безпеки функціонування судна.

Управління інцидентами сприяє досягненню поставлених цілей забезпечення нормативного рівня безпеки шляхом покращення ідентифікації можливостей та загроз, а також ефективного розподілу ресурсів для обробки ризиків. Цей процес охоплює управління життєвим циклом всіх інцидентів з метою мінімізації їх впливу на

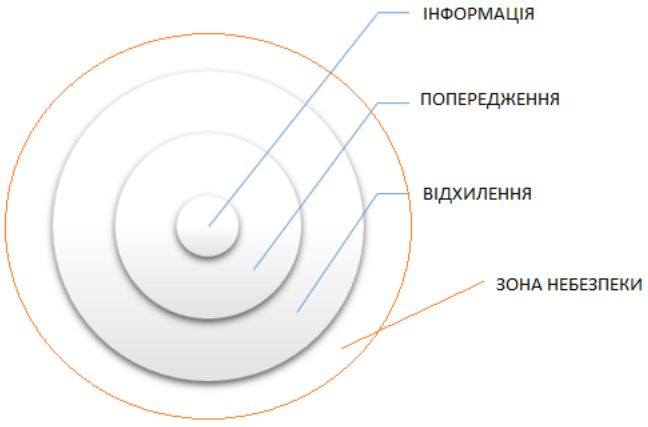


Рис. 1. Основні типи подій

процес забезпечення безпеки і швидкого відновлення нормального функціонування безпекових заходів. В цьому сенсі управління інцидентами допомагає підвищити ефективність забезпечення безпеки шляхом усунення виниклих або потенційних збоїв та відмов у системах судна або помилкових дій з боку екіпажу. Це досягається шляхом інтеграції різних інформаційних систем і використання засобів автоматизації для проведення моніторингу, інспекції та оглядів.

У процесі управління безпекою на морському транспорті реалізуються керуючі впливи, які спрямовані на управління подіями та інцидентами. Існують два типи подій, які можуть призвести до виникнення інциденту:

Активний збій, який може мати негайні наслідки на процес функціонування судна або впливає на природні або техногенні фактори, що можуть спричинити аварію. Ці події відбуваються в момент часу і можуть мати відразу помітний вплив. Такі події можуть бути запланованими або стихійними, а їх наслідки можуть виявлятися протягом тривалого часу. Зазвичай вони пов'язані з іншими спровокованими подіями, які в результаті можуть призвести до аварії.

Приховані збої, які виникають внаслідок рішень, які приймаються оператором (членом екіпажу). Негативні наслідки цих подій можуть бути непомітними протягом тривалого періоду часу і стати очевидними лише тоді, коли вони поєднуються з провокуючими факторами, які порушують роботу будь-яких систем судна. Рішення, прийняті оператором, можуть зробити події більш ймовірними. Фактична небезпечна дія, яка призводить до аварії, може бути помічена екіпажом, але наступні збої можуть залишатися непоміченими.

Управління цими типами подій вимагає негайного втручання, розслідування з боку членів екіпажу, вахтових офіцерів, експертів або представників офісу компанії судновласника які займаються проблемами безпеки (рис. 2).

Усі інциденти є подіями, оскільки вони сигналізують про негативні зміни у загальному стані судна, проте не всі події є інцидентами. Деякі зміни, які створюють події, цілком нормальні та очікувані.

Події сигналізують про те, наскільки ефективно працюють всі системи в структурі судна, а управління подіями дає можливість зменшити кількість інцидентів, виділити проблеми в їх роботі та оцінити ступінь ефективності суднових операцій. Маючи повну картину загального стану судна, можливості з управління проблемами та постійного вдосконалення значно підвищуються.

Рутинні операції судна, як і події відбуваються цілодобово це природа діяльності судна. Будь то вхід до порту, вантажні операції, бункерування, морський перехід діяльність ніколи не зупиняється, оскільки власне і сам процес управління подіями тому розуміючи важливість подій та інцидентів та управління ними можна розглянути переваги, які інструмент управління подіями може принести судноплавної компанії (рис. 3).

1. Поліпшення часу реакції та виявлення інцидентів. Використовуючи інструмент управління подіями, можна покращити виявлення інцидентів та час реакції. Якщо в процесі експлуатації судна члени екіпажу повідомляють про збої в роботі механізмів і систем керівного персоналу, а ті у свою чергу у відповідні служби компанії цей інструмент є дуже ефективним. Залежно від типу інциденту, замість інформації від капітана в службу судновласника, попередження про подію надходить до того, як хтось із членів екіпажу помітить збій або порушення функціонування системи. За допомогою інструменту управління подіями повідомляються необхідні фахівці та окремі особи про початок діагностики та дії з дозволу інциденту. Якщо ця подія «відхилення», додатковий бонус, що покращує час виявлення та реакції, означає, що ви також скорочуєте час простою системи, що вийшла з ладу. І якщо ця запобіжна подія, то в такому разі існує можливість взагалі уникнути відхилення.

2. Можливості автоматизації процесів. За допомогою інструмента керування подіями можна створювати робочі процеси для всього життєвого циклу подій. Це означає те, коли ініціюється подія, інструмент може автоматично повідомляти профільних фахівців вирішувати/закривати подію після її завершення. Події також можуть автоматично перетворюватися на оповіщення або інциденти, які прискорюють процес реєстрації. Переміщення такого роду завдань в автоматизований робочий процес не лише прискорить, але й забезпечить послідовність та точність обробки подій.

Рис. 2. Загальний цикл інциденту

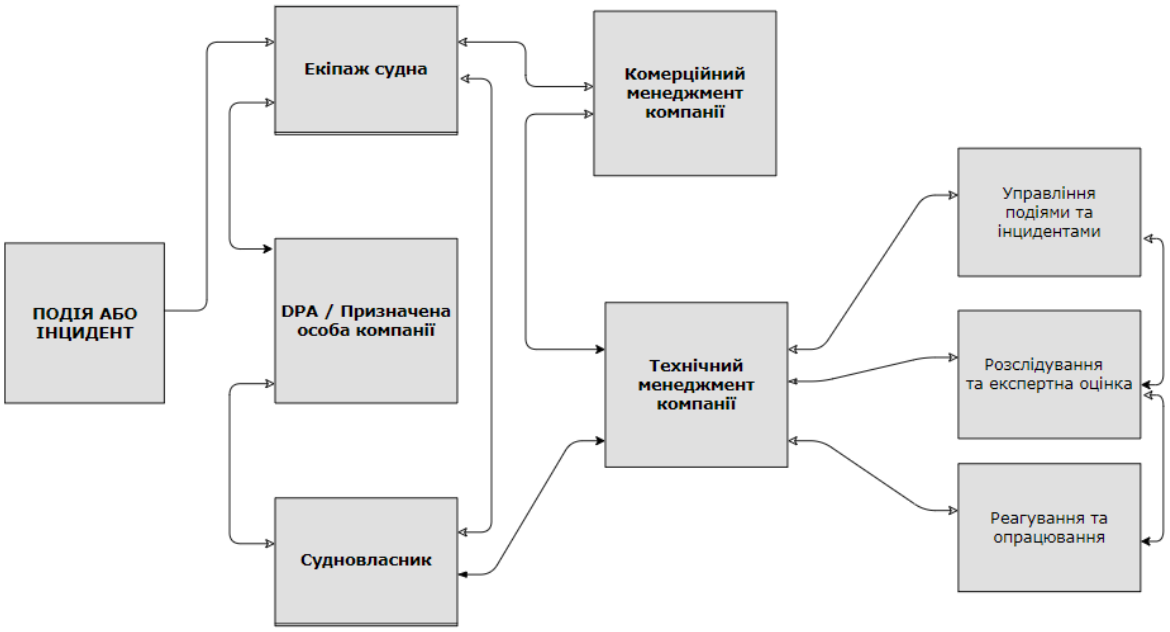


Рис. 3. Схема процесу управління подіями та інцидентами

3. Ефективність прийняття рішень та дій за рахунок автоматичного надсилання звітів. Звіти можуть використовуватися для виділення проблемних областей (попередження або попередження про відхилення, що повторюються) і, отже, допомагають судноплавній компанії в зусиллях з удосконалення підтримки виконання процесів на борту. Інструмент керування подіями вже надає готові звіти, якими може скористатися судноплавна компанія. У такому разі можна налаштувати звіти, що створюються, а також автоматизувати їх розсилку у режимі інформування власного флоту.

4. Підвищення ефективності суднових операцій. Інструмент управління подіями надає більш повне уявлення про поточний стан експлуатаційного стану судна, його систем, що дозволяє вести моніторинг за процесами та операціями на борту з метою визначення можливих проблем. Підвищена прозорість дозволяє здійснювати не тільки проактивні виправлення, але й довгострокові інвестиції у запобігання інцидентам та скорочення часу простою судна, а також робити більш простим та швидким аналіз основних причин інцидентів.

5. Економія експлуатаційних витрат. У процесі будь-яких інвестицій виникає питання, наскільки ефективно застосування інструменту управління подіями для економії коштів судноплавної компанії в довгостроковій перспективі. Необхідно враховувати, що інструмент управління подіями дає такі можливості:

– Поліпшується виявлення та час реакції на позаштатні ситуації;
– Скорочується час простою судна (вихід з фрахту та пов’язаних з цим витрат);
– Автоматизуються процеси експлуатації судна;
– Ідентифікуються проблемні області для моніторингу;
– Проактивно вирішуються проблеми, що виникають.

Економія експлуатаційних витрат та необхідні розрахунки із середньострокового обслуговування судна стають переконливими. Крім того, витрати на підтримку експлуатаційного стану також будуть знижені, оскільки середовище стає більш керованим і спроститься робота з постійного його вдосконалення.

Реалізація процесу управління інцидентами може стикатися з деякими складнощами з боку екіпажу та судновласника. Деякі з цих труднощів це чітке закріплення ролей тому що одним із ключових аспектів ефективного управління інцидентами – це визначення відповідальності для всіх залучених сторін. Однак, у децидентів, які залучаються до вирішення позаштатних ситуацій, можуть виникати труднощі з адекватною оцінкою, діями або оперативною реакцією на інцидент, особливо якщо ролі не були чітко визначені або якщо не було достатньо підготовки. Управління інцидентами передбачає збір і аналіз даних з різних джерел. Це можуть бути журнали у різних форматах, що ускладнює процес обробки і кореляції подій, де за необхідне може бути перегляд та аналіз таких джерел, а також здійснення їх кореляції для побудови повного уявлення про ситуації. Багато судновласників мають обмежені ресурси, що також може становити проблему. Це можуть бути кадрові ресурси, технологічні можливості або інфраструктура. Вирішення питань з кадровими ресурсами може бути досягнуто за допомогою автоматизації процесів, однак без необхідної інфраструктури важко забезпечити ефективне управління інцидентами. Компенсацію обмеженості ресурсів можна шукати за допомогою різних організаційних заходів, таких як оптимізація робочих процесів чи співпраця зі зовнішніми постачальниками послуг.

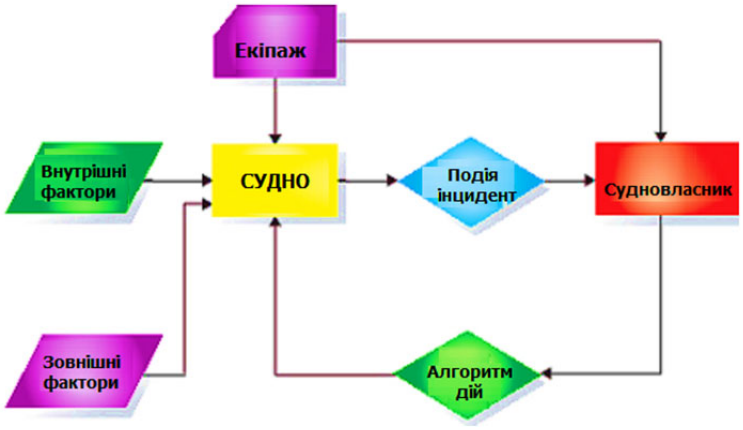


Рис. 4. Схема реагування на події з боку судновласника

Рис. 5. Цикл управління подіями та інцидентами

Ці труднощі можуть бути подолані шляхом впровадження чіткого плану управління інцидентами, підготовки персоналу компанії, використання спеціалізованого програмного забезпечення та забезпечення належної комунікації та співпраці між екіпажем та судновласником.

Одним із дієвих шляхів, як зазначено, є автоматизація процесу управління інцидентами. Враховуючи кількість систем, можливих інцидентів і ризиків, отримується безліч параметрів, які необхідно відстежувати, тому потрібен централізований моніторинг, який зможе визначати інциденти, що складаються зі штатних подій. Іншими словами, автоматизується процес управління інцидентами який є складовою комплексної безпеки судноплавної компанії.

У загальному вигляді управління фізичними інцидентами на морському транспорті включає зусилля по боротьбі з актами незаконного втручання та надзвичайними ситуаціями, що виникли внаслідок деструктивного впливу природних та техногенних факторів, а також з прямими і непрямими наслідками надзвичайної ситуації. Схема управління визначає діяльність організації з виявлення, аналізу та усунення небезпек для запобігання повторному виникненню в майбутньому. Це процес обмеження потенційних збоїв, викликаних такою подією, з обов'язковим поверненням до штатного режиму. Система управління інцидентами – це сукупність обладнання, сил безпеки, персоналу, процедур та засобів, що працюють в єдиній організаційній структурі, призначеній для допомоги в управлінні ресурсами під час інцидентів.

Необхідність виявлення та аналізу накопичених прихованих подій та інцидентів у системі забезпеченні комплексної безпеки судна, сприяє тому, що аварія яка була більш імовірною, зрештою не сталася та дозволяє застосувати ефективніші заходи щодо покращення безпеки та зниження ймовірності повторення таких події.

Висновки

Управління подіями та інцидентами відіграє ключову роль у забезпеченні оптимального рівня безпеки та оперативного реагування на існуючі проблеми. Цей процес включає активне виявлення, вирішення та контроль за

інцидентами, а також застосування різноманітних технологій і систем для забезпечення безпеки. Процес управління інцидентами передбачає відповідь на події, розслідування їх причин, вжиття необхідних заходів та втручання для вирішення поточних проблем. Для досягнення ефективного управління застосовуються інформаційні системи, засоби автоматизації та експертні групи. Коригування недоліків і потенційних проблем у системах на судні сприяє поліпшенню безпеки та неперервному функціонуванню судна. Це невід'ємна складова безпеки судноплавства, яка сприяє запобіганню подібних інцидентів у майбутньому та забезпечує безпеку на борту морських суден.

Список використаної літератури

1. Melnyk O., Volianska Y., Onishchenko O., Onyshchenko S., Bondar A., Golovan A., Cheredarchuk N., Honcharuk I., Obnyavko T. (2023). Marine Incidents Management and Information Exchange Technologies in the Process of Safe Ship Operation. IJCSNS, 23(1), 64–70. DOI: 10.22937/IJCSNS.2023.23.1.9

2. Tromiadis, Ramona & Stanca, Costel. (2013). Comparative Analysis of Tanker Ships Incidents and their Environment Impacts. Advanced Materials Research. 837. 775–779. 10.4028/www.scientific.net/AMR.837.775.

3. Sokukcu, Mustafa & Sakar, Cenk. (2022). Risk analysis of collision accidents during underway STS berthing maneuver through integrating fault tree analysis (FTA) into Bayesian network (BN). Applied Ocean Research. 126. 103290. 10.1016/j.apor.2022.103290.

4. Ahlman, Tryggve & Palmén, Christina & Hüffmeier, Johannes & Jakobsen, Björn & Raggl, Karl-Johan. (2020). Incident-reporting system ForeSea Subject: Final Project Report Incident-reporting system ForeSea. Development of a Maritime safety system. Final Report.

5. Jerzyło, Patrycja & Wawrzyńska, Aleksandra. (2018). Hazard identification of factors affecting the operational safety of the ship on inland waterways in the Vistula delta. WUT Journal of Transportation Engineering. 121. 115–124. 10.5604/01.3001.0014.4572.

6. Su, Zhaoqian & Cui-lin, Wu & Xiao, Yingjie & He, Hongdi. (2022). Study on the prediction model of accidents and incidents of cruise ship operation based on machine learning. Ocean Engineering. 260. 111954. 10.1016/j.oceaneng.2022.111954.

7. Tayab, Muhammad & Awan, Zubair & Shah, Vishal & Saif, Abdulla & Hameli, Fatima. (2022). A Novel Approach to Prevent Process Safety Incidents by Integrating & Strengthening Process Safety Barriers & Operational Excellence Frameworks in Upstream & Downstream Segments of Oil & Gas Operations. 10.2118/210971-MS.

References

1. Melnyk O., Volianska Y., Onishchenko O., Onyshchenko S., Bondar A., Golovan A., Cheredarchuk N., Honcharuk I., Obnyavko T. (2023). Marine Incidents Management and Information Exchange Technologies in the Process of Safe Ship Operation. IJCSNS, 23(1), 64-70. DOI: 10.22937/IJCSNS.2023.23.1.9

2. Tromiadis, Ramona & Stanca, Costel. (2013). Comparative Analysis of Tanker Ships Incidents and their Environment Impacts. Advanced Materials Research. 837. 775–779. 10.4028/www.scientific.net/AMR.837.775.

3. Sokukcu, Mustafa & Sakar, Cenk. (2022). Risk analysis of collision accidents during underway STS berthing maneuver through integrating fault tree analysis (FTA) into Bayesian network (BN). Applied Ocean Research. 126. 103290. 10.1016/j.apor.2022.103290.

4. Ahlman, Tryggve & Palmén, Christina & Hüffmeier, Johannes & Jakobsen, Björn & Raggl, Karl-Johan. (2020). Incident-reporting system ForeSea Subject: Final Project Report Incident-reporting system ForeSea. Development of a Maritime safety system. Final Report.

5. Jerzyło, Patrycja & Wawrzyńska, Aleksandra. (2018). Hazard identification of factors affecting the operational safety of the ship on inland waterways in the Vistula delta. WUT Journal of Transportation Engineering. 121. 115–124. 10.5604/01.3001.0014.4572.

6. Su, Zhaoqian & Cui-lin, Wu & Xiao, Yingjie & He, Hongdi. (2022). Study on the prediction model of accidents and incidents of cruise ship operation based on machine learning. Ocean Engineering. 260. 111954. 10.1016/j.oceaneng.2022.111954.

7. Tayab, Muhammad & Awan, Zubair & Shah, Vishal & Saif, Abdulla & Hameli, Fatima. (2022). A Novel Approach to Prevent Process Safety Incidents by Integrating & Strengthening Process Safety Barriers & Operational Excellence Frameworks in Upstream & Downstream Segments of Oil & Gas Operations. 10.2118/210971-MS.

УДК 514.18 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.8

А. В. НЕСВІДОМІН
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну
Національний університет біоресурсів і природокористування України

С. Ф. ПИЛИПАКА
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0002-1496-4615

ФОРМОУТВОРЕННЯ СФЕРИЧНИХ ЕПІЦИКЛОЇД ПРИ ОБКОЧУВАННІ РУХОМОГО КОНУСА ПО НЕРУХОМОМУ

Багато плоских кривих мають сферичні аналоги. Їх об'єднують однакові способи утворення. Одним із таких прикладів є утворення поверхні евольвентного зубчастого зачеплення. Для циліндричної передачі утворення поверхні зубця відбувається слідом прямолінійної твірної циліндра, який котиться по площині. Ортогональним перерізом такої поверхні є евольвента кола. Для конічної передачі утворення поверхні зубця відбувається слідом прямолінійної твірної конуса, який теж котиться по площині. При такому коченні вершина конуса є нерухомою, а його основа – коло – утворює множину плоских перерізів сфери з центром у вершині конуса. При коченні конуса його основа всіма своїми точками лежить на сфері, отже нерухома точка кола опише сферичну криву – аналог евольвенти кола на площині. Цю криву можна отримати як результат перетину сфери із конічною поверхнею, яку утворює прямолінійна пряма конуса, що котиться по площині. Таким чином, утворення плоскої і сферичної евольвент подібне, при чому в одному випадку по площині котиться циліндр, а у другому – конус.

Існує також сферичний еліпс, утворення якого подібне до утворення еліпса на площині. В обох випадках це є множина точок, сума відстаней від яких до двох фіксованих точок є величина стала. Відмінність полягає в тому, що в одному випадку відстані вимірюються відрізками прямих, а в іншому – дугами кіл, радіус яких дорівнює радіусу сфери. За аналогією можна побудувати сферичні аналоги циклоїди, гіпо- і епіциклоїди. Епіциклоїда утворюється слідом нерухомої точки рухомого кола при його зовнішньому перекочуванні по нерухомому колу. Відповідно для утворення сферичного аналогу епіциклоїди потрібно розглядати зовнішнє перекочування рухомого конуса по нерухомому. В статті здійснено аналітичний опис такого перекочування, який ґрунтується на тому, що основи конусів, які є колами, розташовані на поверхні сфери. За аналогією кочення кіл одне по одному у площині реалізовано кочення кіл одне по одному на поверхні сфери. Отримано параметричні рівняння сферичної епіциклоїди при такому перекочуванні. В частковому випадку, коли нерухомий конус має кут при вершині, рівний 180°, тобто перетворюється у площину, сферичною кривою є аналог циклоїди на площині. Здійснено візуалізацію отриманих результатів засобами комп'ютерної графіки.

Ключові слова: *сферичні аналоги, конус, зовнішнє кочення, сферичні циклоїда, епіциклоїда, параметричні 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 Sciences of Ukraine

S. F. PYLYPAKA
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Descriptive Geometry,
Computer Graphics and Design
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
ORCID: 0000-0002-1496-4615

THE FORMATION OF SPHERICAL EPICYCLOIDS WHEN THE MOVING CONE IS ROLLED ON A NON-MOVING CONE

Many plane curves have spherical analog. They are united by the same methods of formation. One such example is the formation of an involute toothed surface. For a cylindrical transmission, the formation of the tooth surface occurs following a rectilinear generating cylinder that rolls along the plane. The orthogonal section of such surface is the

involute of a circle. For a bevel transmission, the formation of the tooth surface occurs following a rectilinear generating cone, which also rolls along the plane. With such rolling, the top of the cone is stationary, and its base – a circle – forms a set of plane sections of the sphere with the center at the top of the cone. When rolling a cone, its base lies on the sphere with all its points, so a fixed point of the circle describes a spherical curve – an analogue of the involute of a circle on a plane. This curve can be obtained as a result of the intersection of a sphere with a conical surface, which is formed by a straight line of a cone rolling on a plane. Thus, the formation of a flat and spherical involute is similar, and in one case, a cylinder rolls along the plane, and in the other, a cone.

There is also a spherical ellipse, the formation of which is similar to the formation of an ellipse on a plane. In both cases, it is a set of points, the sum of the distances from which to two fixed points is a constant value. The difference is that in one case the distances are measured by segments of straight lines, and in the other by arcs of circles, the radius of which is equal to the radius of the sphere. By analogy, spherical analogues of cycloids, hypo- and epicycloids can be constructed. An epicycloid is formed by the trail of a fixed point of a moving circle during its outward rolling along a fixed circle. Accordingly, for the formation of a spherical analogue of an epicycloid, it is necessary to consider the external rolling of a moving cone on a stationary one. The article provides an analytical description of such rolling, which is based on the fact that the bases of cones, which are circles, are located on the surface of a sphere. By analogy with the rolling of circles one by one in a plane, the rolling of circles one by one on the surface of a sphere is realized. The parametric equations of the spherical epicycloid with such rolling were obtained. In the partial case, when a fixed cone has an angle at the top equal to 180°, i.e. it turns into a plane, the spherical curve is the analogue of the cycloid on the plane. The obtained results were visualized using computer graphics.

Key words: *spherical analogues, cone, external rolling, spherical cycloid, epicycloid, parametric equations.*

Постановка проблеми

На сферичні криві та їх зв'язок із плоскими кривими за способом утворення звернули увагу вчені-механіки. В.В. Добровольський такий зв'язок використовував для встановлення зв'язків між плоскими і сферичними механізмами. Швейцарець за походженням Л.І. Фусс увів у наукову термінологію назву «сферичний еліпс» і досліджував його властивості. В їх працях розглядалися сферичні аналоги деяких плоских фігур – трикутника, паралелограма, чотирикутника. За основу побудови цих фігур приймалося положення, згідно якого аналогом прямої на площині вважалося велике коло на сфері, тобто коло з радіусом, рівним радіусу сфери. Така аналогія між плоскими і сферичними фігурами сприяла дослідженню і розробці сферичних механізмів. Зважаючи на це дослідження сферичних аналогів відомих плоских кривих є подальшим внеском в розвиток сферичних механізмів, що і зумовлює актуальність знаходження способів формоутворення сферичних епіциклоїд.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У сферичних механізмів точки всіх ланок описують траєкторії на сфері із спільним центром в точці перетину осей пар, що обертаються. Прикладом служить зубчаста конічна передача. Інший приклад – просторовий мальтійський механізм (сферичний). Із сучасних праць, в яких розглядається дослідження сферичних механізмів, можна навести працю [1]. Відображення рисунків на сферичні куполи є поширеною задачею при проектуванні культових споруд. В працях [2–4] пропонується цю задачу розв'язувати за допомогою нанесення на сферу ізометричних сіток, які найбільшою мірою відображають квадратні сітки площини. Праця [5] присвячена конструюванню конічних аксоїдів з допомогою сфери, які можуть бути основою для проектування зубчастих конічних зачеплень із змінним передавальним числом. Важливим також є відшукання сферичних кривих, які описуються у функції довжини власної дуги. Цій темі присвячені праці [6, 7].

Формулювання мети досліджень

З допомогою аналітичного опису зовнішнього кочення рухомого конуса по нерухомому вивести параметричні рівняння сферичної епіциклоїди.

Викладення основного матеріалу досліджень

Якщо два конуси сумістити вздовж спільної прямолінійної твірної так, щоб їх вершини збігалися, то основи цих конусів, якими є кола, будуть розташовані на поверхні сфери (рис. 1).

Будемо вважати конус із вертикальною віссю нерухомим, а із похилою – рухомим. Для подальших викладок скористаємося параметричними рівняннями сфери одиничного радіуса, які мають вигляд:

$$X = \sin\varepsilon\cos\gamma; \qquad Y = \sin\varepsilon\sin\gamma; \qquad \cos\varepsilon, \tag{1}$$

де ε, γ – криволінійні координати (незалежні змінні сфери), якими є кути, що задають величину меридіана і паралелі відповідно.

При $\varepsilon=const$ на поверхні сфери буде описане коло з центром на осі OZ. Повернемо його навколо осі OY на кут φ. Після цього параметричні рівняння повернутого кола запишуться:

$$\begin{aligned} x &= \cos\varepsilon\cos\varphi - \sin\varepsilon\cos\gamma\sin\varphi; \\ y &= \sin\varepsilon\sin\gamma; \\ z &= \cos\varepsilon\sin\varphi + \sin\varepsilon\cos\gamma\cos\varphi. \end{aligned} \tag{2}$$

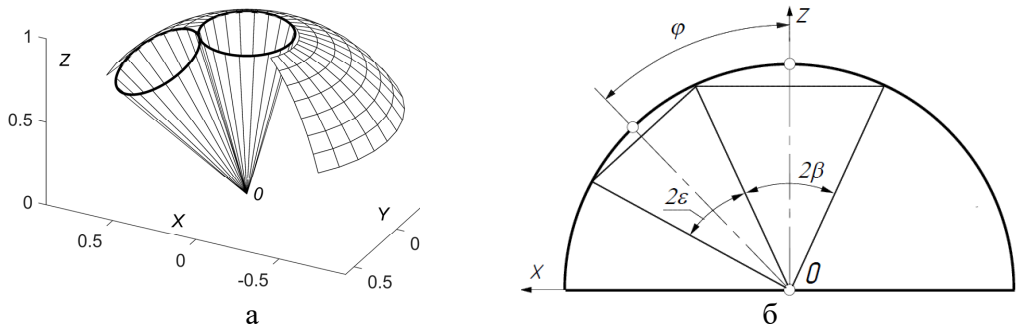


**Рис. 1. Графічні ілюстрації до кочення рухомого конуса по вертикальному нерухомому:
а – конуси із суміщеними вершинами і фрагментом сфери в аксонометрії;
б – фронтальна проекція конусів із позначенням кутів**

Отримане коло буде основою конуса із кутом 2ε при вершині (рис. 1, б). Здійснимо обкочування цього конуса навколо конуса із вертикальною віссю і кутом 2β при вершині. Із рис. 1, б видно, що $\varphi=\varepsilon+\beta$. При такому обкочуванні утвориться множина кіл, центр яких буде рухатися по паралелі на сфері. Цю множину кіл ми отримаємо обертанням похилого кола навколо осі OZ. Здійснимо поворот кола (2) навколо осі OZ на кут ψ:

$$\begin{aligned} x &= \left(\cos\varepsilon\cos\varphi - \sin\varepsilon\cos\gamma\sin\varphi\right)\cos\psi - \sin\varepsilon\sin\gamma\sin\psi; \\ y &= \left(\cos\varepsilon\cos\varphi - \sin\varepsilon\cos\gamma\sin\varphi\right)\sin\psi + \sin\varepsilon\sin\gamma\cos\psi; \\ z &= \cos\varepsilon\sin\varphi + \sin\varepsilon\cos\gamma\cos\varphi. \end{aligned} \tag{3}$$

Надаючи кутові ψ конкретних значень із певним інтервалом, ми отримаємо множину кіл. Їх можна вважати положенням основи рухомого конуса в певний момент часу при його обкочуванні по нерухомому конусі. Символічне позначення координат в рівняннях (2) і (3) виконане строчними літерами, а у рівнянні (1) – прописними. Це зроблено для того, щоб було легко відрізняти рівняння поверхні (1) від рівнянь (2) і (3) кривих (кіл) на ній. В рівняннях (2) і (3) змінною є кут γ. При зміні γ від 0 до 2π точка робить повний оберт, описуючи коло. Із трикутника із кутом 2ε при вершині рухомого конуса на рис. 1, б знаходимо його радіус: $r_1=\sin\varepsilon$. При поточному значенні кута γ довжина дуги рухомого кола визначиться із відомої формули: $s_1=\gamma\cdot\sin\varepsilon$. При побудові нерухомого кола приймемо незалежною змінною кут α. Аналогічно, при поточному значенні кута α довжина дуги нерухомого кола буде: $s_2=\alpha\cdot\sin\beta$. При перекочуванні рухомого кола по нерухомому без ковзання пройдені шляхи мають бути рівними. Прирівнявши довжини s_1 і s_2, знаходимо взаємозв'язок між незалежними змінними α і γ:

$$\gamma = -\frac{\sin\beta}{\sin\varepsilon}\alpha\,. \tag{4}$$

Знак «–» у рівності (4) означає, що при обкочуванні рухомого кола по нерухомому його обертання відбувається у протилежному напрямі. Крім того, кути ψ і α збігаються як за величиною, так і за напрямом зростання, тобто $\psi=\alpha$. Нарешті, при повороті рухомого кола на кут $\varphi=\varepsilon+\beta$ навколо осі OY згідно формул (2) потрібно мати на увазі, що відлік кута φ починається не від осі OZ, а від осі OX. У зв'язку з цим для коректної роботи отриманих рівнянь (3) потрібно в них підставити $\varphi=\pi/2-(\varepsilon+\beta)$. Із врахуванням всіх цих уточнень рівняння (3) остаточно запишуться у функції кута α:

$$\begin{aligned} x &= \left[\cos\varepsilon\sin(\beta+\varepsilon) - \sin\varepsilon\cos\left(\frac{\sin\beta}{\sin\varepsilon}\alpha\right)\cos(\beta+\varepsilon)\right]\cos\alpha + \sin\varepsilon\sin\left(\frac{\sin\beta}{\sin\varepsilon}\alpha\right)\sin\alpha; \\ y &= \left[\cos\varepsilon\sin(\beta+\varepsilon) - \sin\varepsilon\cos\left(\frac{\sin\beta}{\sin\varepsilon}\alpha\right)\cos(\beta+\varepsilon)\right]\sin\alpha - \sin\varepsilon\sin\left(\frac{\sin\beta}{\sin\varepsilon}\alpha\right)\cos\alpha;, \\ z &= \cos\varepsilon\cos(\beta+\varepsilon) + \sin\varepsilon\cos\left(\frac{\sin\beta}{\sin\varepsilon}\alpha\right)\sin(\beta+\varepsilon). \end{aligned} \tag{5}$$

До параметричних рівнянь (5) входять два сталих кути ε і β, які задають рухомий і нерухомий конуси, і незалежна змінна α. Суть побудови сферичної кривої за рівняннями (5) полягає в тому, що при умовному коченні рухомого кола по нерухомому точка рухомого кола рухається по ньому в зворотну сторону від точки контакту кіл на величину пройденого шляху. Це означає, що точка на рухомому колі є фіксованою, тобто вона описує траєкторію, якою є сферична епіциклоїда.

Форма епіциклоїди залежить від співвідношення кутів ε і β. Через них визначаються радіуси кіл на поверхні сфери одиничного радіуса – основ конусів: $r_1=\sin\varepsilon$, $r_2=\sin\beta$. При зовнішньому коченні кіл однакового радіуса у площині епіциклоїда має форму замкненої кривої із точкою звороту, яка завдяки своєму зображенню отримала назву кардіоїди. Аналогічна ситуація відбувається на сфері, причому сферичний аналог кардіоїди за формою подібний до плоского образу. На рис. 2, а побудовано сферичні кардіоїди при рівних за величиною кутах ε і β. При $\varepsilon=\beta=30°$ сферична кардіоїда в нижній частині торкається екватора, що відповідає кутові $\varphi=30°$ (рис. 1, б). Інші сферичні кардіоїди побудовано при $\varepsilon=\beta=20°$ і $\varepsilon=\beta=10°$. На рис. 2, б за рівняннями (5) побудовано епіциклоїду при $\beta=40°$ і $\varepsilon=20°$. В такому випадку крива може бути незамкненою, як і для плоского аналогу при довільному співвідношенні радіусів кіл. При $\beta=90°$ конус із вертикальною віссю перетворюється у площину, тобто рухомий конус котиться по своїй розгортці. Плоским аналогом є кочення кола по прямій, що відповідає утворенню циклоїди. На рис. 2, в побудовано сферичний аналог циклоїди, яка теж може бути незамкненою.

Для сферичної кардіоїди, тобто при $\varepsilon=\beta$ параметричні рівняння (5) значно спрощуються і мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} x &= (2-\cos\alpha)\cos^2\frac{\alpha}{2}\sin\beta+\cos\alpha\sin^2\frac{\alpha}{2}\sin 3\beta;\\ y &= 4\sin^2\frac{\alpha}{2}\sin\alpha\cos^2\beta\sin\beta;\\ z &= \cos\alpha\sin\beta\sin 2\beta+\cos\beta\cos 2\beta. \end{aligned} \tag{6}$$

Можна поставити умову, щоб при обкочування рухомого конуса по нерухомому при досягненні змінної величини $\alpha=2\pi$ сферична епіциклоїда повернулася у вихідну точку, тобто була замкненою. Для цього позначимо через n кількість повних обертів рухомого конуса при його одного повного обкочування по нерухомому. В такому випадку встановлюється залежність між радіусами кіл – основами рухомого і нерухомого конусів. Цю залежність можна записати через співвідношення кутів ε і β:

$$\varepsilon=\operatorname{Arcsin}\frac{\sin\beta}{n}. \tag{7}$$

При $n=1$ згідно (7) $\varepsilon=\beta$ і ми отримаємо рівняння сферичної кардіоїди (6). Якщо ми хочемо отримати замкнену епіциклоїду, то потрібно кут ε у рівняннях (5) задати згідно (7). При цьому задається тільки нерухомий конус кутом β. На рис. 3 за рівняннями (5) із врахуванням (7) побудовані сферичні епіциклоїди при $n=3$ і різних значеннях кута β:

При $\beta=90°$ нерухомий конус перетворюється у площину і рухомий котиться по розгортці. В цьому частковому випадку кривою є сферична циклоїда, яка розташована в нижній півкулі сфери (рис. 2, в). Для наочності на рис. 4 всі криві симетрично відображені на верхню півкулю сфери. На рис. 3, криві побудовані для кута $\beta<90°$, а на рис. 4 – при подальшому його зростанні. Форма кривих на рис. 3 і рис. 4 значно відрізняється, хоча побудовані вони одними і тими ж рівняннями.

Можна поєднати ці два типи кривих. На рис. 5 побудовані сферичні епіциклоїди при $n=6$ і різних кутах β. Якщо сума кутів β складає 180°, то криві утворюють рисунок, який справляє враження замкнених фігур.

Завдяки співвідношенню (7) між кутами ε і β можна будувати замкнені епіциклоїди для будь-якого цілого числа n.

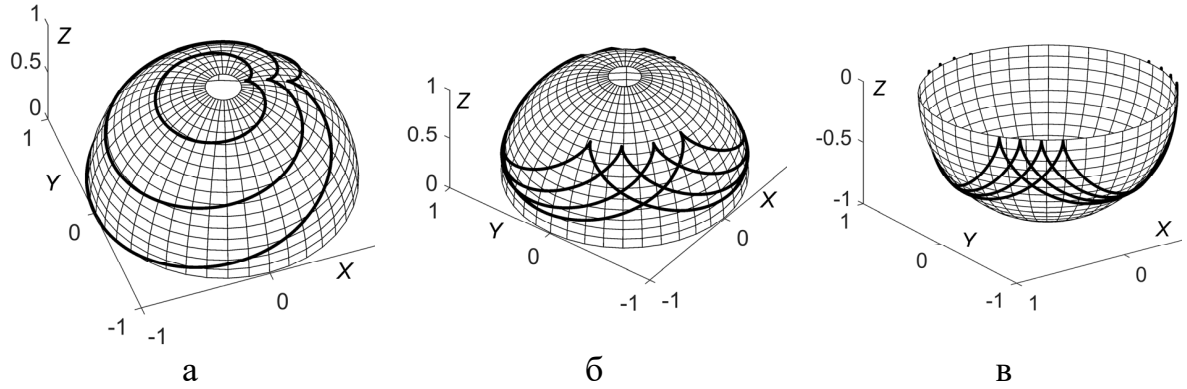
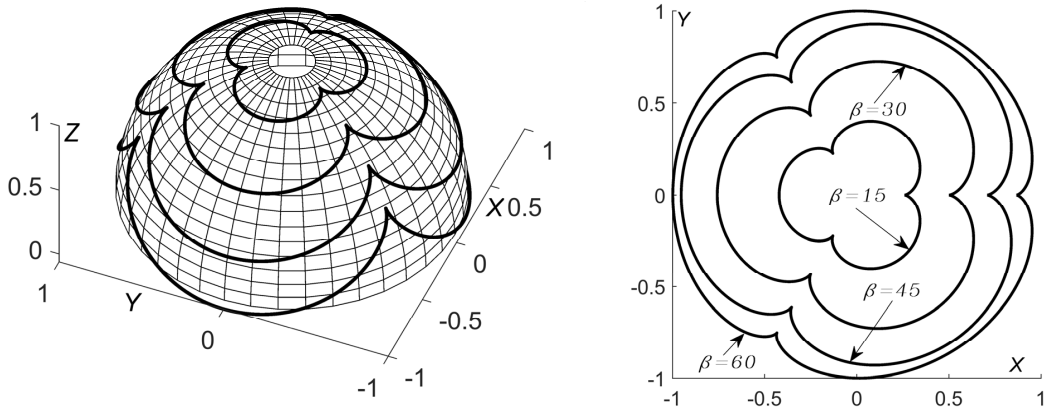
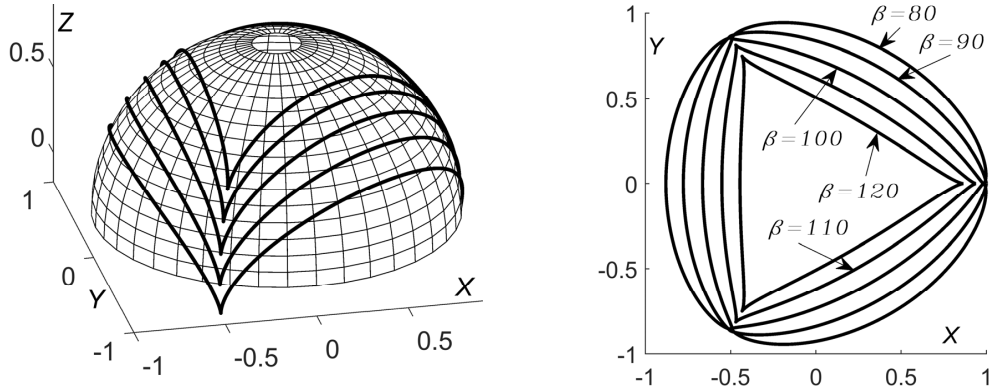


Рис. 2. Різні випадки сферичних епіциклоїд, побудованих за рівняннями (5):
а – частковий випадок для рівних кутів ε і β, при яких утвореною кривою є сферична кардіоїда;
б – сферична епіциклоїда, побудована при $\beta=40°$ і $\varepsilon=20°$;
в – сферична циклоїда, побудована при $\beta=90°$ і $\varepsilon=20°$



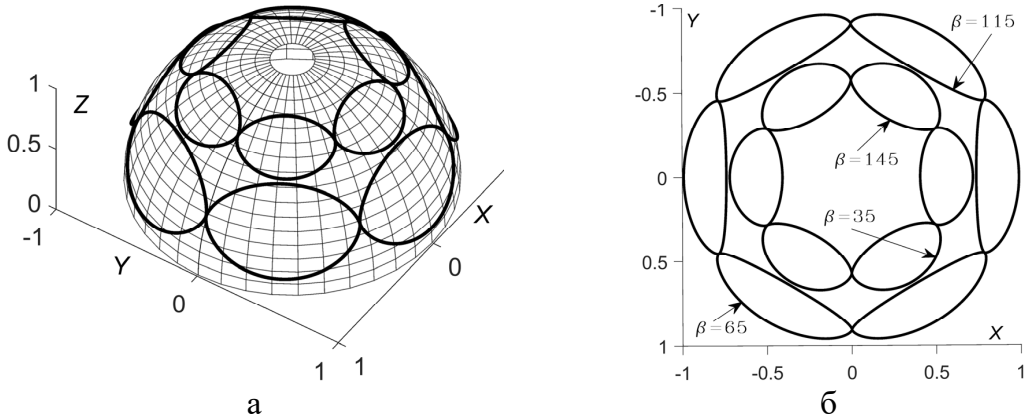
а б

Рис. 3. Сферичні епіциклоїди з трьома вітками і різними значеннями кута *β*, величина якого зазначена в градусах:
а – аксонометричне зображення сферичних епіциклоїд на поверхні сфери;
б – горизонтальна проекція сферичних епіциклоїд із зазначенням величини кута *β*



а б

Рис. 4. Сферичні епіциклоїди з трьома вітками і різними значеннями кута *β*, величина якого зазначена в градусах:
а – аксонометричне зображення сферичних епіциклоїд на поверхні сфери;
б – горизонтальна проекція сферичних епіциклоїд із зазначенням величини кута *β*



а б

Рис. 5. Сферичні епіциклоїди із шістьма вітками і різними значеннями кута *β*, величина якого зазначена в градусах:
а – аксонометричне зображення сферичних епіциклоїд на поверхні сфери;
б – горизонтальна проекція сферичних епіциклоїд із зазначенням величини кута *β*

Висновки

Кочення рухомого циліндра по нерухомому можна розглядати на прикладі кочення рухомого кола по нерухомому. Ці кола є результатом ортогонального перерізу циліндрів площиною. Для кочення конусів по аналогії можна розглядати кочення кривих, які є результатом перетину цих конусів сферою, центр якої збігається із вершинами конусів. Саме за таким принципом отримано аналітичний опис кочення рухомого кола на поверхні сфери по нерухомому. За аналогією циклоїд і епіциклоїд на площині побудовано їх сферичні аналоги. Вихідними умовами для побудови цих кривих є величини кутів при вершині конусів. У випадку, коли половина кута при вершині нерухомого конуса рівна 90°, то слідом точки рухомого кола при його коченні по нерухомому на поверхні сфери буде сферична циклоїда, у інших випадках – сферичні епіциклоїди. Отримано співвідношення між кутами при вершині конусів, при якому сферичні криві будуть замкненими і мати задане число віток.

Список використаної літератури

1. Косіюк М.М. Кінематичний аналіз сферичного кривошипно-повзунного механізму / М.М. Косіюк, В.С. Кравчук // Вісник Хмельницького національного університету, № 6, 2019 (279). С. 7–11. Режим доступу: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?p=1929

2. Пилипака С.Ф. Конструювання ізометричних сіток на поверхні кулі / С. Ф. Пилипака, І. Ю. Грищенко, О. В. Несвідоміна // Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2018. Вип. 94. С. 82–87.

3. Кремець Т.С. Конформне відображення написів на ізометричні сітки конуса та кулі. Технічна естетика і дизайн. К.: Віпол, 2011. Вип. 9. С. 112–117.

4. Кремець Т. С. Віднесення кулі до ізометричних координат на основі сферичного відображення мінімальних поверхонь / Т. С. Кремець, І. Ю. Грищенко, О. В. Несвідоміна // Сучасні проблеми моделювання. 2016. Вип. 7. С. 74–80.

5. Construction of conical axoids on the basis of congruent spherical ellipses / Kresan, T., Pylypaka, S., Ruzhylo, Z., Rogovskii, I., Trokhaniak, O. // Archives of Materials Science and Engineeringthis link is disabled, 2022, 113(1), стр. 13–18. Режим доступу: https://www.sciencegate.app/document/10.5604/01.3001.0015.6967

6. Пилипака Т.С. Аналітичне конструювання просторових та сферичних кривих у функції власної дуги. Геометричне та комп'ютерне моделювання. Харків : ХДУХТ, 2008. Вип. 21. С. 100–105.

7. Захарова Т. М. Конструювання сферичних кривих у функції натурального параметра / С. Ф. Пилипака, Т. М. Захарова // Науковий вісник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: Математика. Геометрія. Інформатика. Мелітополь : Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. Т. 1. С. 137–145.

References

1. Kosiiuk M.M. (2019) Kinematychnyi analiz sferychnoho kryvoshypno-povzunnoho mekhanizmu / M.M. Kosiiuk, V.S. Kravchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, № 6, (279). S. 7–11. Rezhym dostupu: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?p=1929

2. Pylypaka S.F. (2018) Konstruiuvannia izometrychnykh sitok na poverkhni kuli / S. F. Pylypaka, I. Yu. Hryshchenko, O. V. Nesvidomina // Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika. Vyp. 94. S. 82–87.

3. Kremets T.S. (2011) Konformne vidobrazhennia napysiv na izometrychni sitky konusa ta kuli. Tekhnichna estetyka i dyzain. K.: Vipol, Vyp. 9. S. 112–117.

4. Kremets T. S. (2016) Vidnesennia kuli do izometrychnykh koordynat na osnovi sferychnoho vidobrazhennia minimalnykh poverkhon / T. S. Kremets, I. Yu. Hryshchenko, O. V. Nesvidomina // Suchasni problemy modeliuvannia. Vyp. 7. S. 74–80.

5. Kresan, T., Pylypaka, S., Ruzhylo, Z., Rogovskii, I., Trokhaniak, O. (ed.) (2022) Construction of conical axoids on the basis of congruent spherical ellipses. Archives of Materials Science and Engineeringthis link is disabled, 113(1), str. 13–18. Rezhym dostupu: https://www.sciencegate.app/document/10.5604/01.3001.0015.6967

6. Pylypaka T.S. (2008) Analitychne konstruiuvannia prostorovykh ta sferychnykh kryvykh u funktsii vlasnoi duhy. Heometrychne ta kompiuterne modeliuvannia. Kharkiv: KhDUKhT, Vyp. 21. S. 100–105.

7. Zakharova T. M. (2014) Konstruiuvannia sferychnykh kryvykh u funktsii naturalnoho parametra / S. F. Pylypaka, T. M. Zakharova // Naukovyi visnyk Melitopolskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Bohdana Khmelnytskoho. Seriia: Matematyka. Heometriia. Informatyka. Melitopol: Vydavnytstvo MDPU im. B. Khmelnytskoho, T. 1. S. 137–145.

УДК 621.785 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.9

І. С. ПОГРЕБОВА
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри технології електрохімічних виробництв
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0003-4247-3968

К. В. ЯНЦЕВИЧ
молодший науковий співробітник відділу «Захисні покриття»
Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона
ORCID: 0000-0002-3975-7727

КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ ХРОМОСИЛІЦИДНИХ ПОКРИТТІВ НА СТАЛІ 45 У РІЗНИХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

У роботі дифузійні хромосиліцидні покриття наносили на сталь 45 газовим методом у спеціально розробленій установці, яка мала спеціальну реакційну камеру нової конструкції. Процес проводили впродовж 6 годин у замкнутому реакційному середовищі при тиску активної газової фази та температурі 1323К. В якості вихідних реагентів для нанесення дифузійних покриттів використовували порошки феросиліцію, хрому, а також чотирихлористий вуглець. Металографічні дослідження проводили на оптичному мікроскопі «Neophot 21». Встановлено, що комплексні покриття за участю хрому та кремнію, нанесені на поверхню сталі 45, згідно з даними мікроструктурного аналізу, складаються з зовнішнього шару до $20 \cdot 10^{-6}$ м, який містить карбіди хрому $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 та внутрішнього шару до $80 \cdot 10^{-6}$ м, який представляє собою твердий розчин кремнію та хрому у α-залізі.

Корозійну стійкість хромосиліцидних дифузійних покриттів досліджували у 10–15% розчинах соляної, фосфорної, оцтової, нітратної кислотах, у 3% розчині хлориду натрію та у технічній воді. Показано, що дифузійні хромосиліцидні покриття, нанесені на вуглецеві сталі підвищують корозійну стійкість у досліджених розчинах у 2,5–750 раз.

Підвищити корозійну стійкість дифузійних покриттів можливо за рахунок введення неорганічних речовин (молібдату натрію). Введення у 10% розчини фосфорної, соляної та сульфатної кислоти 3г/л молібдату натрію підвищує корозійну стійкість хромосиліцидних покриттів у 4, 7 та 36 разів, відповідно.

Показано, що хромосиліцидні покриття можна рекомендувати для захисту деталей машин, які працюють у різних агресивних середовищах.

Ключові слова: *покриття, хром, кремній, карбіди хрому, корозія.*

I. S. POGREBOVA
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Electrochemical Production Technology
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0003-4247-3968

C. V. IANTSEVITCH
Junior Researcher at the Department of "Protective Coatings"
E. O. Paton Electric Welding Institute
ORCID: 0000-0002-3975-7727

CORROSION RESISTANCE OF CHROMOSILICIDE COATINGS ON STEEL 45 IN DIFFERENT AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

In the work, diffusive chromosilicide coatings were applied to steel 45 by a gas method in a specially designed installation, which had a special reaction chamber of a new design. The process was carried out for 6 hours in a closed reaction environment at the pressure of the active gas phase and a temperature of 1323K. Ferrosilicon, chromium, and carbon tetrachloride powders were used as starting reagents for applying diffusion coatings. The metallographic studies were carried out on a Neophot 21 optical microscope. It was established that complex coatings with the participation of chromium and silicon, applied to the surface of steel 45, according to the data of microstructural analysis, consist of an outer layer up to $20 \cdot 10^{-6}$ m, which contains carbides of chromium $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 and an inner layer of $80 \cdot 10^{-6}$ m, which is a solid solution of silicon and chromium in α-iron.

The corrosion resistance of chromosilicide diffusion coatings was studied in 10–15% solutions of hydrochloric, phosphoric, acetic, and nitric acids, in a 3% solution of sodium chloride, and in technical water. It is shown that diffusive chromosilicide coatings applied to carbon steels increase corrosion resistance in the tested solutions by 2.5–750 times.

It is possible to increase the corrosion resistance of diffusion coatings due to the introduction of inorganic substances (sodium molybdate). The introduction of 3g/l of sodium molybdate into 10% solutions of phosphoric, hydrochloric and sulfuric acids increases the corrosion resistance of chromo-silicide coatings by 4, 7 and 36 times, respectively.

It has been shown that chromosilicid coatings can be recommended for the protection of machine parts operating in various aggressive environments.

Key words: *coating, chromium, silicon, chromium carbides, corrosion.*

Постановка проблеми

Сучасні машини та обладнання експлуатуються в екстремальних умовах за дії високих температур, статичних і динамічних навантажень в агресивних середовищах. Перелічені чинники призводять до інтенсивного корозійно-механічного зношування деталей машин, а їх заміна потребує зупинки дороговартісного обладнання на ремонт, що спричиняє додаткові витрати. При вирішенні проблеми підвищення довговічності та надійності деталей машин, інструментів, оснастки велике значення мають пошук і розробка нових захисних покриттів [1, 2]. Літературні джерела вказують, що дифузійні шари на основі карбідів, нітрідів, силіцидів перехідних металів володіють високою жаростійкістю, зносостійкістю та корозійною стійкістю у різних агресивних середовищах. Значний інтерес викликають дослідження властивостей та закономірностей формування дифузійних шарів, утворених декількома елементами (хромом і титаном, хромом і алюмінієм, хромом та кремнієм), що дозволяють отримати більш високі експлуатаційні характеристики в порівнянні з насиченням одним елементом [1–4]. Відомо, що хром сприяє підвищенню корозійної стійкості та анодній пасивації сталі [5] і тому його найчастіше використовують при багатокомпонентному нанесені дифузійних покриттів.

Одночасне насичення сталей хромом та кремнієм проводять з метою підвищення їх твердості, зносостійкості, жаростійкості та корозійної стійкості у різних агресивних середовищах. Літературні джерела по впливу процесу хромосиліціювання на корозійну стійкість вуглецевих сталей носять вибірковий та неоднозначний характер [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідження корозійної стійкості захисних покриттів за участю хрому досліджувалась на різних матеріалах та в різних агресивних середовищах. В роботі [6] при хромо-алюмо-сіліціюванні відбувається підвищення корозійної стійкості сплаву БрХ08 у 13 разів в агресивному середовищі «МЕЛАНЖ-1». Одночасне насичення сталі 12Х18Н10Т хромом та алюмінієм сприяють підвищенню її корозійної стійкості у розчинах кальцинованої соди, оцтової кислоти, у воді – в 3,2–5,3 рази, відповідно [7]. В роботі [8] було показано, шо насичення сталі 45 ванадієм і хромом підвищує її корозійну стійкість у розчинах морської води, однак у розчинах нітратної кислоти ці покриття не стійкі. Дифузійні покриття на основі хрому та ніобію мають достатньо високу корозійну стійкість у розчинах 3% хлориду натрію, водопровідній воді, розчині соди [9].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи було отримання на поверхні вуглецевої сталі 45 комплексних дифузійних покриттів на основі хрому та кремнію, дослідження їх фазового, хімічного складу, корозійної стійкості у різних агресивних середовищах.

Методика проведення експериментальних досліджень

Хромосиліціювання проводили газовим методом у спеціально розробленій в НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» установці, яка мала спеціальну реакційну камеру нової конструкції [10]. Камера дозволяє знизити витрати порошків кремнію і хрому) на 25–30% по масі, усунути можливе легування карбідних фаз елементами, що входять до складу матеріалу, застосовуваного для виготовлення камери, а також необхідність введення до складу вихідних реагентів твердих вуглецьмістких речовин.

Процес хромосиліціювання проводили впродовж 6 годин у замкнутому реакційному середовищі при тиску активної газової фази та температурі 1323К. В якості вихідних реагентів для нанесення покриттів використовували порошки хрому, кремнію та чотирихлористий вуглець. Зразки розміщували у реакційній камері, яка містить раціональну суміш порошків креснію та хрому, вакуумували до тиску 10^{-1} мм.рт.ст., нагріли до температури 1323К, повторно вакуумували до тиску 10^{-1} мм.рт.ст., заповнюють камеру чотирихлористим вуглецем, проводили ізотермічну витримку та охолоджували. За таких умов хромосиліціювання на поверхні вуглецевої сталі 45 формувалися дифузійні карбідні покриття на основі хрому.

Покриття досліджували методами металографічного, мікродюрометричного та рентгеноструктурного фазового аналізу. Корозійні випробування проводили масометричним методом за стандартною методикою в агресивних середовищах: 3% NaCl, технічній воді, 10–15% H_2S0_4, 10–15% HCl, 10–15% H_3PO_4, 10% CH_3COOH, 10–20% HNO_3. За даними масометричних досліджень розраховували масометричний показник корозії $К_м$ (г/(м^{2}год)): $К_м = \frac{\Delta m}{S\tau}$, де m – зміна маси зразків з поверхні (S) за час випробування (τ) та розраховували коефіцієнт гальмування

корозійного процесу $\gamma = \gamma = \frac{Км(сталі)}{Км(покриття)}$ [11]. Дослідження електрохімічних властивостей хромосиліцидних покриттів проводили потенціостатичним методом на потенціостаті П-5827М при швидкості розгортки 2 мВ/с при температурі 18–20 °С. Стаціонарні потенціали вимірювали відносно хлорсрібного електроду.

Викладення основного матеріалу дослідження

Експериментально було встановлено, що комплексні покриття за участю хрому та кремнію, нанесені на поверхню сталі 45, згідно з даними мікроструктурного аналізу, складаються з зовнішнього шару до $20 \cdot 10^{-6}$ м, який містить карбіди хрому $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 та внутрішнього шару $80 \cdot 10^{-6}$ м, який представляє собою твердий розчин кремнію та хрому у α-залізі. Загальна товщина покриттів становить 100 мкм [12]. Мікроструктура хромосиліційованої сталі 45 наведено на рисунку 1.

Проведені корозійні випробування показали, що нанесенні удосконаленим способом хромосиліцидні покриття, як і хромосиліцидні покриття, що були отримані нами порошковим методом у контейнері [13] найменш стійкі у 10–15% розчинах соляної та сульфатної кислотах, більш стійкі – у розчинах 10–15% фосфорної, оцтової та у 3% NaCl та корозійна стійкість збільшується в ряду: 10–15% HCl→10–15% H_2SO_4→10–15% H_3PO_4→ 10% CH_3COOH→H_2O→3% NaCl→ 10–20% HNO_3.

Отримані хромосиліцидні покриття, залежно від часу випробувань, підвищують стійкість сталі 45 в 15% розчині HCl та 15% розчині H_2SO_4 у 2,4–3,0 та 2,3–3,5 рази, відповідно; в 15% розчині H_3PO_4 у 9,0–14,0 разів, у розчині 10% CH_3COOH в 7,5–18,0 разів, у 3% розчині NaCl в 4,2–6,5 рази та у технічній воді у 5,7–6,5 разів.

Найбільшу корозійну стійкість хромосиліцидні дифузійні покриття виявляють у розчинах нітратної кислоти, при чому зі збільшенням її концентрації та часу корозійних випробувань коефіцієнт гальмування збільшується: з 29–40 разів у 10% розчині HNO_3 та в 750–9090 разів у 20% розчині HNO_3, що пов'язано з окисною функцією іонів NO_3^- (рис. 2). Характерні поляризаційні криві наведено на рис. 3.

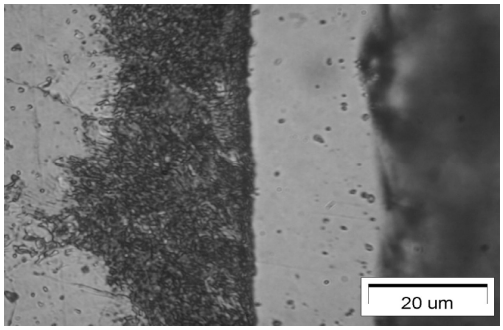


Рис. 1. Мікроструктура хромосиліційованої сталі 45, х200

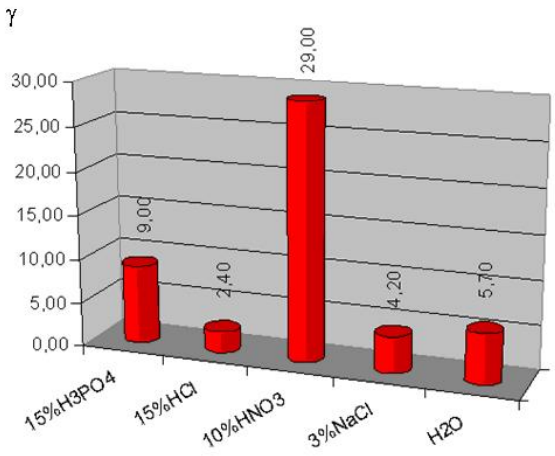


Рис. 2. Гістограма значень коефіцієнтів гальмування швидкості корозії γ хромосиліційованої сталі 45 в різних агресивних середовищах (час корозійних випробувань – 24 години)

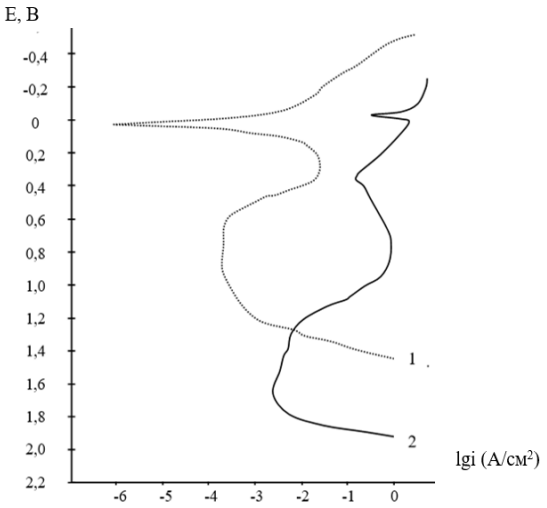


Рис. 3. Поляризаційні криві сталі 45 (2) та сталі 45 з хромосиліцидними покриттями (1) у 20% розчині HNO_3

Різна корозійна стійкість хромосиліцидних покриттів у вище вказаних розчинах, як свідчать проведені нами електрохімічні дослідження, обумовлена як природою парціальних реакцій корозійних процесів. Це зумовлено як зміною характеру деполяризації корозійного процесу (від водневої, воднево-кисневою до окиснювальної), так і різним впливом аніонів (активуючим – іонів Cl^-, SO_4^{2-}, пасивуючим – іонів NO_3^-) на анодне розчинення металу.

Показано, що підвищити корозійну стійкість хромосиліцидних покриттів можливо шляхом введення в агресивні розчини неорганічних речовин – окисників. Як відомо [14, 15], у нейтральних та у кислих середовищах, застосовують анодні та змішані інгібітори корозії, що сприяють утворенню стійкого пасивного стану металу. Такими інгібіторами корозії є хромати, фосфати, молібдати, нітрити.

В роботі було встановлено, що введення у 10% розчини фосфорної, соляної та сульфатної кислоти 3 г/л молібдату натрію підвищує корозійну стійкість хромосиліцидних покриттів у 4, 7 та 36 разів, відповідно.

Висновки

Встановлено, що за прийнятих умовах ведення процесу хромосиліціювання запропонованим газовим методом на поверхні сталі 45 формується дифузійний шар, який складається з двох зон: зовнішній, на основі карбідів хрому $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3, та внутрішній, на основі твердого розчину хрому та кремнію в α-залізі.

Проведені в роботі корозійні дослідження показали, що хромосиліцидні покриття нанесені на вуглецеву сталь 45 менш стійкі у розчинах 10% соляної та сульфатної кислоти, а найбільш стійкі – у розчинах нітратної кислоти. Показано, що нанесення хромосиліцидних покриттів на сталь 45 підвищує її корозійну стійкість у досліджених розчинах у 2–29 разів. Найбільшу захисну дію хромосиліцидні покриття виявляють у розчинах нітратної кислоти (γ = 29–9090, Z = 96,84 – 99,99%).

Підвищити корозійну стійкість хромосиліцидних покриттів можливо за рахунок введення в агресивні розчини молібдату натрію.

Хромосиліцидні покриття можна рекомендувати для захисту деталей машин, які працюють у різних агресивних середовищах.

Список використаної літератури

1. Похмурский В.И., Данилов В.В., Голубец В.М. Повышение коррозионной стойкости стали с помощью диффузионных покрытий. К.: Наукова думка, 1989. 187 с.

2. Ляхович Л.С., Ворошнин Л.Г., Панич Г.Г. Многокомпонентные диффузионные покрытия. Минск, «Наука и техника», 1974. 288 с.

3. Кузнецов В.Д., Пащенко В.М. Фізико-хімічні основи створення покриттів: Навч.посібник. К.: НМЦВО, 1999. 176 с.

4. Лоскутова Т.В., Сігова В.І., Хижняк В.Г., Лоскутов В.Ф. Комплексні карбідні покриття на металах і сплавах. Монографія. Суми: Вид-во СумДУ, 2009. 190 с.

5. Kirchheim R., Heine B.The passivity of iron-chromium alloys. *Corrosion Science.* 1969. 29(7). P. 899–917.

6. Середа Б.П., Банніков Л.П., Нестеренко С.В., Гайдаєнко О.С., Кругляк И.В. (2019) Поверхневе зміцнення матеріалів працюючих в умовах комплексного впливу агресивних речовин. Кам'янське: ДДТУ. 2019. 173 с.

7. Аршук М.В., Хижняк В.Г., Лоскутова Т.В., Погребова І.С. Корозійна стійкість хромоалітованої сталі 12Х18Н10Т. *Наукові вісті НТУУ «КПІ».* 2011. № 6. С. 89–95.

8. Дегула А.І. Підвищення корозійної стійкості сталей шляхом нанесення дифузійних покриттів. *Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: збірка матеріалів XIII Міжнародної науково-технічної конференції.* Запоріжжя. 2014. С. 133–134.

9. Лоскутов В.Ф., Бобіна М.М., Лоскутова Т.В. Властивості покриттів на основі карбіду ніобію, легованого хромом. *Металознавство та обробка металів.* 1997. № 3–4. С. 66–68.

10. Лоскутов В.Ф., Бобіна М.М., Лоскутова Т.В., Погребова І.С., Янцевич К.В. Спосіб нанесення дифузійних покриттів. деклараційний патент України на винахід 50165А. опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.

11. Сахненко М.Д., Вєдь М.В., Ярошок Т.П. Основи теорії корозії та захисту металів. Харків: НТУ'ХПІ, 2005. 238 с.

12. Погребова І.С., Янцевич К.В., Хижняк В.Г., Лоскутова Т.В. Фізико-хімічні умови комплексного насичення вуглецевої сталі 45 кремнієм та хромом в середовищі хлору. *Наукові вісті НТУУ «КПІ».*2014. № 6. С. 152–155.

13. Чернега С.М., Карпец М.В., Янцевич К.В., Погребова И.С., Добровольский В.Д. Микроструктура, химический и фазовый состав хромосилицидных покритий на углеродистых сталях. *Порошковая металургия.* 2005. № ½. С. 23–30.

14. El Din A.S., Wang L. Mechanism of corrosion inhibition by sodium molybdate. *Desalination.* 1996. 107. P. 9–43

15. Deyab M.A., Abd El-Rehim S.S. Inhibitory effect of tungstate, molybdate and nitrite ions on the carbon steel pitting corrosion in alkaline formation water containing Cl^- ion. *Electrochimica Acta.* 2007. 53 (4). P. 1754–1760.

References

1. Pokhmurskyi V.Y., Danylov V.V., Holubets V.M. (1989) Povushenye korrozyonnoi stoikosty staly s pomoshchiu dyffuzyonnukh pokrutyi. [Increasing the corrosion resistance of steel with the help of diffusion coatings]. K.: Naukova dumka. [in Russia].

2. Liakhovych L.S., Voroshnyn L.H., Panych H.H. (1974) Mnohokomponentnue dyffuzyonnue pokrutyia. [Multicomponent diffusion coatings]. Mynsk, «Nauka y tekhnyka». [in Russia].

3. Kuznetsov V.D., Pashchenko V.M. (1999) Fizyko-khimichni osnovy stvorennia pokryttiv. [Physico-chemical foundations of creating coatings]. Navch.posibnyk. K.: NMTsVO. [in Ukrainian].

4. Loskutova T.V., Sihova V.I., Khyzhniak V.H., Loskutov V.F. (2009). Kompleksni karbidni pokryttia na metalakh i splavakh. [Complex carbide coatings on metals and alloys]. Monohrafiia. Sumy: Vyd-vo SumDU. [in Ukrainian].

5. Kirchheim R., Heine B. (1969) The passivity of iron-chromium alloys. *Corrosion Science.* no 29(7). pp. 899–917.

6. Sereda B.P., Bannikov L.P., Nesterenko S.V., Haidaienko O.S., Kruhliak Y.V. (2019) Poverkhneve zmitsnennia materialiv pratsiuiuchykh v umovakh kompleksnoho vplyvu ahresyvnykh rechovyn [Surface strengthening of materials working under conditions of complex exposure to aggressive substances] Kamianske: DDTU. [in Ukrainian].

7. Arshuk M.V., Khyzhniak V.H., Loskutova T.V., Pohrebova I.S. (2011) Koroziina stiikist khromoalitovanoi stali 12Kh18N10T. [Corrosion resistance of chrome-alloyed steel 12X18H10T]. *Naukovi visti NTUU «KPI».* no 6. pp. 89–95.

8. Dehula A.I. (2014) Pidvyshchennia koroziinoi stiikosti stalei shliakhom nanesennia dyfuziinykh pokryttiv. [Increasing the corrosion resistance of steels by applying diffusion coatings]. *Novi konstruktsiini stali ta stopy i metody yikh obroblennia dlia pidvyshchennia nadiinosti ta dovhovichnosti vyrobiv: zbirka materialiv XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. Zaporizhzhia. pp. 133–134.

9. Loskutov V.F., Bobina M.M., Loskutova T.V. (1997) Vlastyvosti pokryttiv na osnovi karbidu niobiiu, lehovanoho khromom. [Properties of coatings based on chromium doped niobium carbide]. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv.* no. 3–4. pp. 66–68.

10. Loskutov V.F., Bobina M.M., Loskutova T.V., Pohrebova I.S., Yantsevych K.V. Sposib nanesennia dyfuziinykh pokryttiv.[The method of applying diffusion coatings]. deklaratsiinyi patent Ukrainy na vynakhid 50165A. opubl. 15.10.2002, Biul. № 10.

11. Pohrebova I.S., Yantsevych K.V., Khyzhniak V.H., Loskutova T.V. (2014) Fizyko-khimichni umovy kompleksnoho nasychennia vuhletsevoi stali 45 kremniiem ta khromom v seredovyshchi khloru. [Physico-chemical conditions of complex saturation of carbon steel 45 with silicon and chromium in a chlorine environment]. *Naukovi visti NTUU «KPI».* no. 6. pp. 152–155.

12. Sakhnenko M.D., Vied M.V., Yaroshok T.P. (2005) Osnovy teorii korozii ta zakhystu metaliv. [Basics of the theory of corrosion and protection of metals]. Kharkiv: NTUKhPI. [in Ukrainian].

13. Cherneha S.M., Karpets M.V., Yantsevych K.V., Pohrebova Y.S., Dobrovolskyi V.D. (2005) Mykrostruktura, khymycheskyi y fazovui sostav khromosylytsydnukh pokrytyi na uhlerodystukh staliakh. [Microstructure, chemical and phase composition of chromosilicid coatings on carbon steels]. *Poroshkovaia metalurhyia.* no. ½. pp. 23–30.

14. El Din A.S., Wang L. (1996) Mechanism of corrosion inhibition by sodium molybdate. *Desalination.* 107. pp. 9–43.

15. Deyab M.A., Abd El-Rehim S.S. (2007) Inhibitory effect of tungstate, molybdate and nitrite ions on the carbon steel pitting corrosion in alkaline formation water containing Cl^- ion. *Electrochimica Acta.* 53 (4). pp. 1754–1760.

УДК 656.11:004.94 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.10

М. П. РУДЬ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автомобілів та технології їх експлуатації
Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-8936-6812

І. А. ШЛЬОНЧАК
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автомобілів та технології їх експлуатації
Черкаський державний технологічний університет
ORCID: 0000-0002-5096-2414

ОЦІНЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ПЕРЕХРЕСТЯ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ МЕТОДОМ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті проаналізовано пропускну здатність перехрестя для різних сценаріїв, які можуть виникати в транспортній системі внаслідок надзвичайних ситуацій в умовах воєнного стану в Україні. Для цього було використано програмне забезпечення для транспортного мікромоделювання PTV Vissim. Дослідження здійснено на прикладі перехрестя магістральних вулиць з пожвавленим рухом в обласному центрі країни, яке поєднує транспортні потоки з різних районів міста, в'їзні і виїзні потоки з нього.

Перехрестя відіграють вирішальну роль для ефективності, зручності, безпечності, екологічності вуличнодорожньої мережі міста, оскільки вони служать точками зустрічі, де перетинаються багато маршрутів громадських, комерційних та приватних транспортних засобів. Вони є життєво важливими компонентами транспортної інфраструктури та полегшують рух моторних транспортних засобів, пішоходів і велосипедистів містом і в той же час можуть бути причиною збільшення кількості заторів та аварійних ситуацій у випадку неправильної їх організації. Зі збільшенням кількості надзвичайних подій, викликаних як атаками агресора на об'єкти критичної інфраструктури, так і безпосередньо в результаті бойових дій в нашій країні, надзвичайно важливо зрозуміти, як ці події впливають на транспортні потоки на перехрестях. У цьому дослідженні пропонується використовувати методи імітаційного моделювання транспортних потоків для прогнозування різних сценаріїв надзвичайних ситуацій та оцінювання їх впливу на пропускну здатність перехрестя.

Для досягнення мети роботи проведено моделювання трьох сценаріїв роботи перехрестя: робота в існуючих умовах в нормальному режимі у період максимального завантаження (ранкову годину «пік»); робота в тих же початкових умовах, але з вимкненим світлофорним регулюванням; режим евакуації зі збільшеним потоком транспорту в напрямку виїзду з міста з відсутнім громадським транспортом. Це моделювання дозволило оцінити вплив цих сценаріїв на параметри дорожнього руху, розробити рекомендації для підвищення загальної готовності до реагування на надзвичайні ситуації і визначити напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: *транспортна система, імітаційне моделювання, система імітаційного моделювання транспортного руху, пропускна здатність перехрестя, надзвичайна ситуація.*

M. P. RUD
Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automobiles
and Technologies of their Operating
Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0002-8936-6812

I. A. SHLONCHAK
Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Automobiles
and Technologies of their Operating
Cherkasy State Technological University
ORCID: 0000-0002-8936-6812

ASSESSMENT OF INTERSECTION CAPACITY UNDER EMERGENCY SITUATIONS USING THE TRANSPORT MODELING METHOD

The article analyzes the capacity of the intersection for different scenarios that may arise in the transport system due to emergencies under martial law in Ukraine. For this, the PTV Vissim transport microsimulation software was used.

The study was carried out on the example of the intersection of main streets with busy traffic in the regional center of the country, which combines traffic flows from different parts of the city, incoming and outgoing flows from it.

Intersections play a critical role in the efficiency, convenience, safety, and sustainability of a city's road network, as they serve as meeting points where many public, commercial, and private vehicle routes intersect. They are vital components of the transport infrastructure and facilitate the movement of motor vehicles, pedestrians and cyclists around the city and at the same time can cause more traffic jams and accidents if not properly organized. With an increase in the number of emergency events caused both by aggressor attacks on critical infrastructure facilities and directly as a result of hostilities in our country, it is extremely important to understand how these events affect traffic flows at intersections. This study proposes to use traffic simulation methods to predict various emergency scenarios and assess their impact on the capacity of the intersection.

To achieve the goal of the work, modeling of three scenarios for the operation of the intersection was carried out: work under existing conditions in normal mode during the period of maximum load (morning rush hour); work under the same initial conditions, but with the traffic light control turned off; an evacuation mode with an increased flow of traffic in the direction of leaving the city with no public transport. This simulation allowed the impact of these scenarios on traffic parameters to be assessed, recommendations to improve overall emergency preparedness and directions for further research to be developed.

Key words: *transport system, simulation modeling, traffic simulation system, crossroads capacity, emergency.*

Постановка проблеми

Повномасштабна збройна агресія російської федерації вплинула на різні аспекти повсякденного життя в Україні, зокрема транспорт і організацію дорожнього руху в містах. З 24.02.2022 року в країні оголошено воєнний стан – надзвичайний стан, який характеризується тимчасовим припиненням звичайних громадянських прав, що дозволяє посилити військовий і урядовий контроль [1]. Розуміння впливу надзвичайних ситуацій [2], що можуть виникати під час воєнного стану на пропускну здатність вулично-дорожньої мережі має важливе значення для розробки ефективних стратегій контролю дорожнього руху та забезпечення безперебійного руху людей, товарів і екстрених служб у цей критичний період.

Найважливішим чинником, який впливає на пропускну здатність вулично-дорожньої мережі сучасного міста є організація дорожнього руху на перехрестях, особливо магістральних вулиць загальноміського та районного значення. Перехрестя є критичними точками, де перетинаються транспортні потоки, і розуміння їх пропускної здатності має важливе значення для розробки ефективних стратегій управління дорожнім рухом, зменшення заторів і підвищення загальної безпеки дорожнього руху. Дослідження пропускної здатності перехресть є обов'язковим етапом в розробці інтелектуальних транспортних систем та рішень міського планування з метою створення ефективніших, зручніших для життя, екологічних та безпечних міст. При виникненні надзвичайних ситуацій в результаті атак на об'єкти критичної інфраструктури та бойових дій, підвищення пропускної здатності перехрестя може мати ключове значення як для зменшення економічних та екологічних збитків, так і врятування життів людей. Водночас результати таких досліджень залишаться важливими і в мирний час у разі виникнення таких подій як стихійні лиха, аварії та надзвичайні ситуації в містах.

Імітаційне моделювання дорожнього руху – це потужна методологія, яка дозволяє дослідникам вивчати й аналізувати поведінку учасників дорожнього руху із високою точністю. Використовуючи комп'ютерні моделі та розширені алгоритми, моделювання дорожнього руху відтворює реальні сценарії, дозволяючи оцінити пропускну здатність перехрестя, схеми транспортного потоку та ефективність стратегій управління дорожнім рухом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз публікацій щодо дослідження транспортного планування вулично дорожньої мережі сучасних міст показує, що значну увагу привертає до себе метод імітаційного транспортного моделювання з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Зокрема в роботі [3] за допомогою програмного забезпечення PTV Vissim розроблено імітаційну модель в окремій зоні важливого перехрестя в місті Пардубіце в Чеській Республіці. Модель дозволила оцінити вплив реконструкції перехрестя на логістику міста та на прилеглі території. В роботі [4] за допомогою інструменту мікроскопічного моделювання транспортного потоку PTV Vissim автори змоделювали ділянки автостради з двома, трьома та чотирма смугами руху. Було кількісно оцінено результуючий потік транспорту на кожній окремій смузі для різних значень параметрів руху. Також дослідниками приділяється увага впливу на дорожній трафік природних катаклізмів. Так у статті [5] досліджено метод розподілу руху транспорту у випадку аварій та метод організації руху мережі аварійного спецтранспорту.

В Україні також опубліковано ряд досліджень різних аспектів транспортного планування з використанням ПЗ PTV Vissim. Зокрема в роботі [6] PTV Vissim використано для дослідження ефективності інженерно-планувальних елементів розв'язок на різних рівнях, а саме місць примикання лівоповоротних з'їздів до прямого магістрального напрямку.

Формулювання мети дослідження

Це дослідження має на меті оцінити пропускну спроможність перехрестя вул. В. Чорновола та бул. Шевченка м. Черкаси в надзвичайних ситуаціях під час воєнного стану в Україні методом транспортного моделювання з використанням ПЗ PTV Vissim.

Викладення основного матеріалу дослідження

Нами була побудована модель перехрестя, яке працює в звичайному режимі. Вимірювання транспортних потоків проведено з врахуванням їх змін в умовах воєнного стану.

Змодельовано дві критичні ситуації, а саме: відключення світлофорного регулювання у випадку аварійних відключень електроенергії та різке збільшення потоку автомобілів у випадку оголошення евакуації або стихійного збільшення потоку транспортних засобів.

На рисунку 1 представлено супутниковий знімок (датований листопадом 2021 року) та картографічне зображення, отримані з сервісу «Карти Google» досліджуваного перехрестя вул. В. Чорновола та бул. Шевченка у м. Черкаси.

За допомогою програмного комплексу PTV Vissim, створено імітаційну модель досліджуваного перехрестя (рис. 2). Для максимально точної побудови моделі на місці було проведено наступні вимірювання:

– обчислення кількості та розташування паркомісць;
– вимірювання фактичної ширини та розташування смуг руху;
– вимірювання розташування елементів дорожньої розмітки, таких як стоп-лінії, точки розгалуження смуг;
– визначення тривалості тактів світлофорного циклу;
– визначення напряму руху та інтенсивності потоків ТЗ та пішоходів в ранкову годину пік.

Організація руху громадського транспорту в моделі здійснювалась з допомогою сервісу EasyWay [7].

На рисунку 2 представлено розроблену модель в 2D режимі з включеною видимістю всіх об'єктів. Для спрощення пояснень до рисунку напрямки руху з та до перехрестя позначені відповідно цифрами від **1** до **4**. Серед особливостей перехрестя в моделі враховані наступні:

– три зупинки громадського транспорту у безпосередній близькості до перехрестя;
– три стоянки автомобілів на 52 паркомісця сумарно;
– світлофорне регулювання з трифазною організацією (дві фази дозволяють рух ТЗ в одному напрямку по бульвару Шевченка і одна – в обох напрямках по вул. В. Чорновола) тривалістю повного циклу 90 секунд;
– наявність ліній тролейбусної контактної мережі вздовж бульвару Шевченка та в напрямку **3** вул. В. Чорновола.
– у зв'язку з обмеженням в наявній ліцензії ПЗ до 30 пішоходів в мережі одночасно, пішохідні зони обмежені безпосередньо біля зупинок громадського транспорту та пішохідних переходів.

На рисунку 3 показана побудова циклограми світлофорного регулювання.

Відповідно до отриманих даних про склад потоків транспортних засобів, особливістю м. Черкаси є наявність досить значної кількості вантажних мікроавтобусів та використання в якості громадського транспорту переважно автобусів малого класу. Однак в стандартній бібліотеці PTV Vissim подібні транспортні засоби відсутні. Для додавання необхідних транспортних засобів було використано відкриту бібліотеку 3D Warehouse – SketchUp (рис. 4, 5) [8].

На рисунку 6 показано стоп кадр процесу імітації перехрестя в програмному комплексі PTV Vissim в режимі 3D представлення. Анімація роботи перехрестя дозволяє оцінити відповідність поведінки транспортних засобів у моделі до реального їх руху, виявити можливі помилки в моделі та виправити їх.

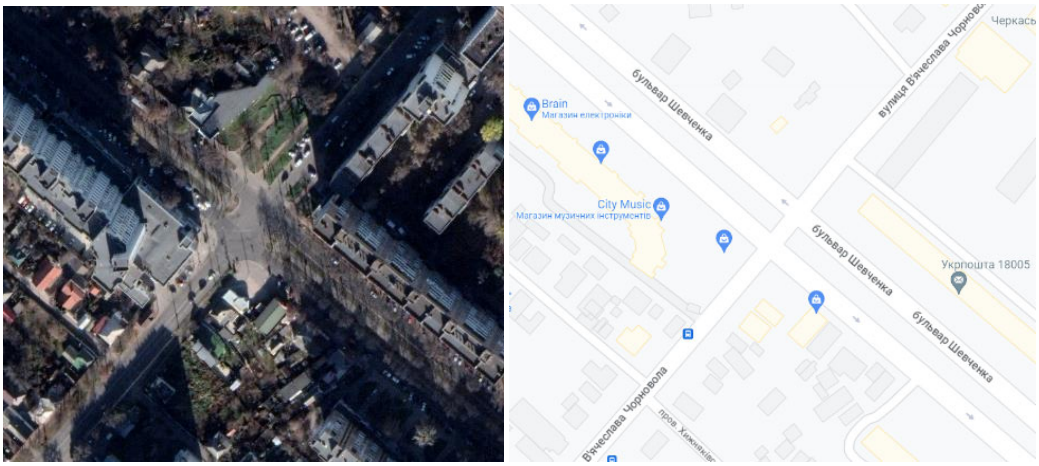


Рис. 1. Загальний вигляд перехрестя вул. В. Чорновола – бул. Шевченка, м. Черкаси

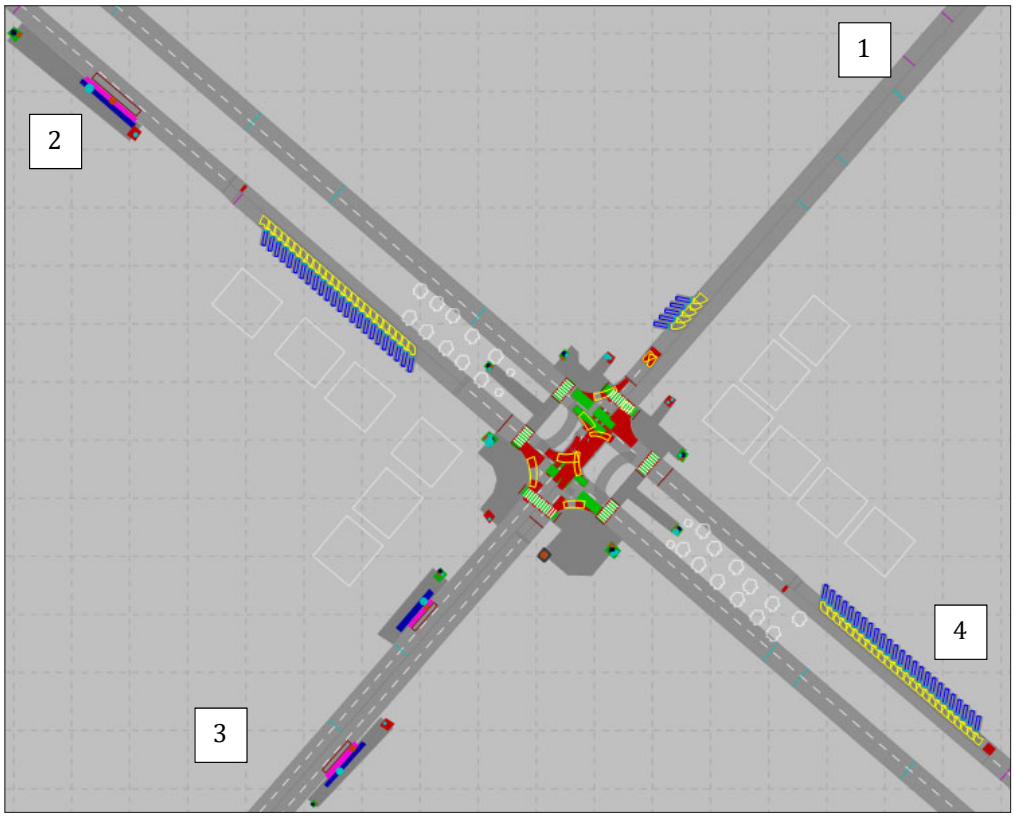


Рис. 2. Модель перехрестя, розроблена в програмному комплексі PTV Vissim

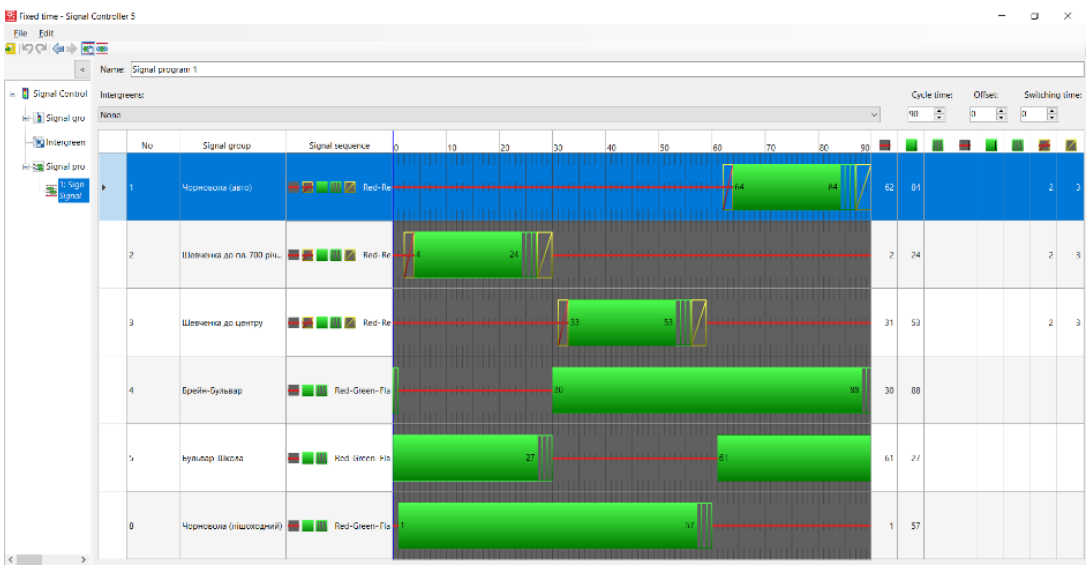


Рис. 3. Програма світлосигнальних пристроїв

Для проведення імітації сценарію вимкнення електроживлення в результаті атак на енергетичну інфраструктуру необхідно внести зміни в налаштуваннях розробленої моделі. А саме: видалити світлофорні об'єкти та маршрути громадського транспорту для тролейбусів. Також для підвищення достовірності моделі потрібно врахувати, що відключення в зимову пору року часто відбуваються в темний час доби і за відсутності вуличного освітлення погіршується видимість на перехресті, що в свою чергу призводить до зменшення середньої швидкості руху автомобілів (рис. 7).

На рисунку 8 показано стоп кадр процесу імітації перехрестя при відсутньому електроживленні світлофорів та тролейбусної мережі.

Рис. 4. Вантажні мікроавтобуси

Рис. 5. Автобуси малого класу для перевезення пасажирів на міських комерційних маршрутах

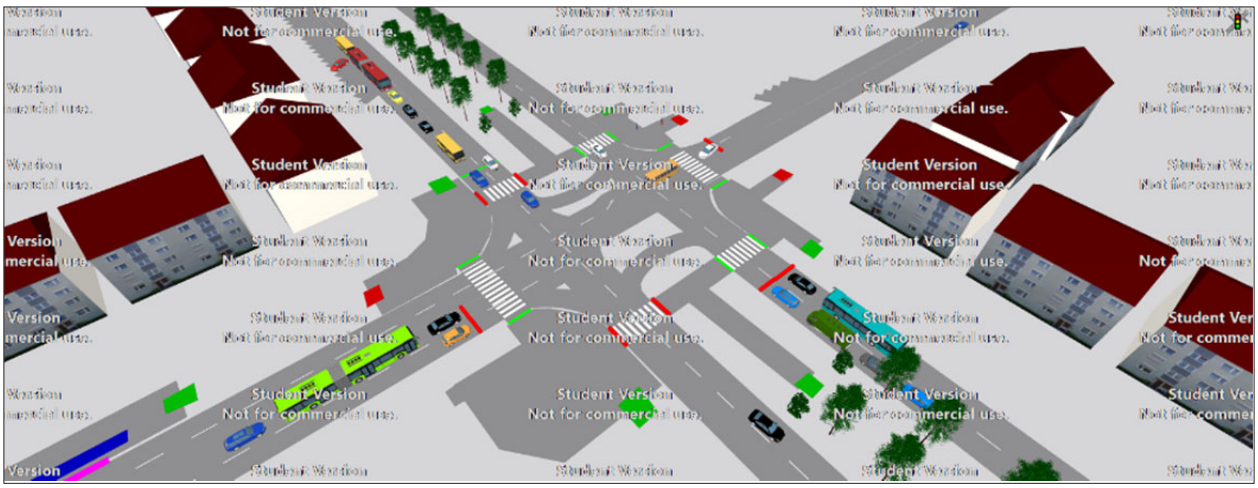


Рис. 6. 3D вигляд стоп кадру імітації перехрестя в програмному комплексі PTV Vissim

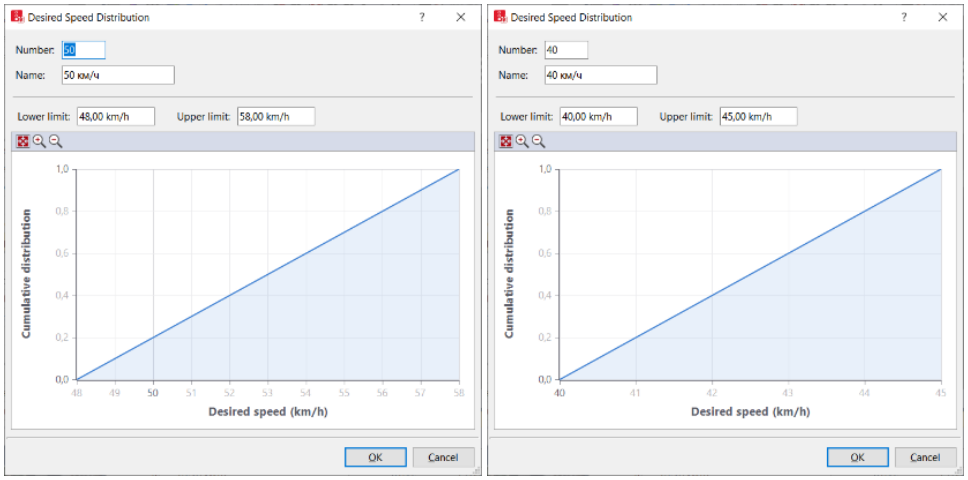


Рис. 7. Графіки розподілу бажаної швидкості легкових автомобілів за нормального освітлення (зліва) та у випадку блекауту (справа)

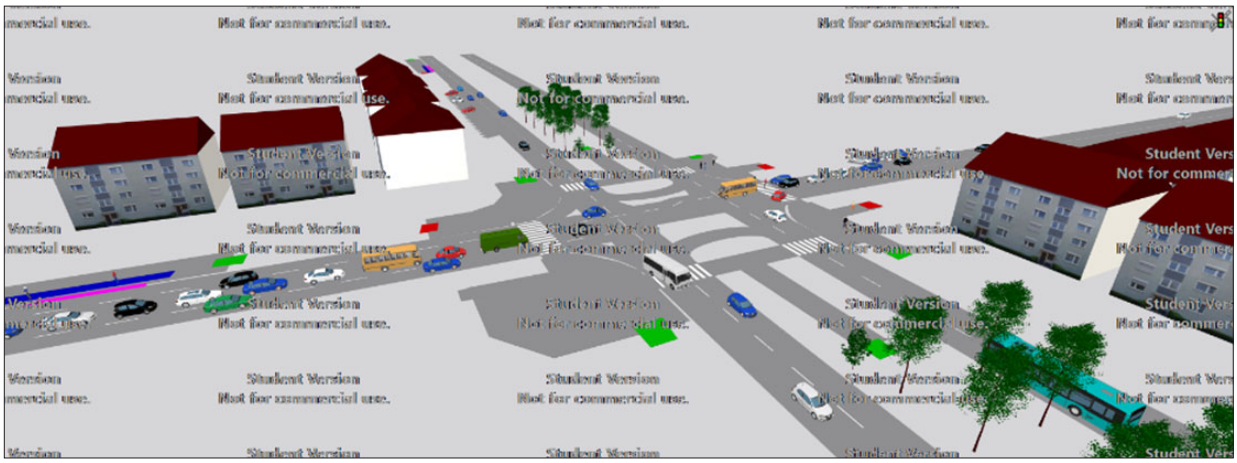


Рис. 8. 3D вигляд стоп кадру імітації перехрестя у випадку блекауту

Для проведення імітації сценарію евакуації населення необхідно внести наступні зміни до моделі:

– видалити світлофорні об'єкти, оскільки існує велика імовірність, що буде відсутнє електропостачання;

– видалити всі маршрути громадського транспорту;

– виходячи з припущення, що евакуація відбувається в напрямку **4** (рис. 2), який є найближчим від перехрестя виїздом з міста по бульвару Шевченка, необхідно змінити навантаження вхідних потоків транспортних засобів та перерозподілити відносне навантаження різних маршрутів цих потоків шляхом збільшення кількості транспортних засобів, які рухаються в напрямку **4** з напрямків **1** і **2** (з найбільш населених центру міста та мікрорайону Митниця) та зменшення до мінімуму кількості ТЗ в інших напрямках (які переважно мають складатись з службового та спеціального транспорту).

– змінити склад транспортних засобів, що рухаються в потоках, а саме збільшити відносну кількість автобусів, які будуть задіяні для евакуації громадян.

На рисунку 9 показано стоп кадр імітації перехрестя в умовах збільшеної в 10 разів інтенсивності потоків з напрямів **1** і **2** відносно нормальних умов.

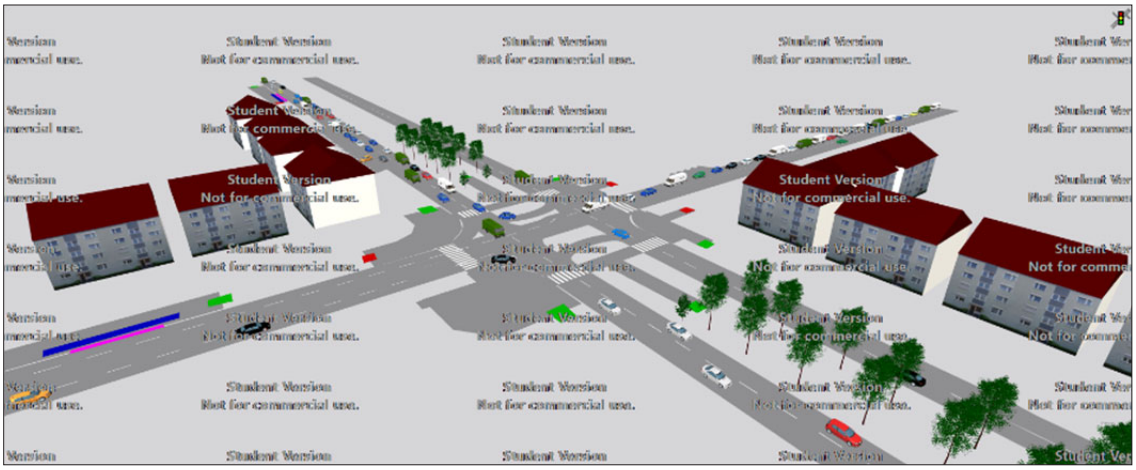


Рис. 9. 3D вигляд стоп кадру імітації перехрестя у випадку сценарію евакуації

Програмний комплекс PTV Vissim має вбудовані можливості для всебічного аналізу характеристик модельованих транспортних систем. Існує можливість отримати результати поведінки як окремих транспортних засобів та пішоходів такі і класів ТЗ або всіх ТЗ в змодельованому середовищі.

Для досягнення мети дослідження було обрано середні показники за весь час моделювання по всім ТЗ, які прийняли участь в імітації різних сценаріїв на перехресті. В таблиці 1 наведено значення часу затримки, кількості та часу зупинок ТЗ і їх середня швидкість.

Таблиця 1

Результати аналізу імітації перехрестя для різних сценаріїв

	Нормальний режим	Режим блекаут	Режим евакуація
Час затримки в мережі, с	50,703	37,920	59,477
Середня кількість зупинок ТЗ	2,731	2,496	5,517
Час затримки за рахунок зупинок, с	32,034	19,831	25,746
Середня швидкість всіх ТЗ, км/год	15,953	17,652	16,217

Картограма відносного часу затримки (середнє значення за всіма ТЗ) показана на рисунку 10.

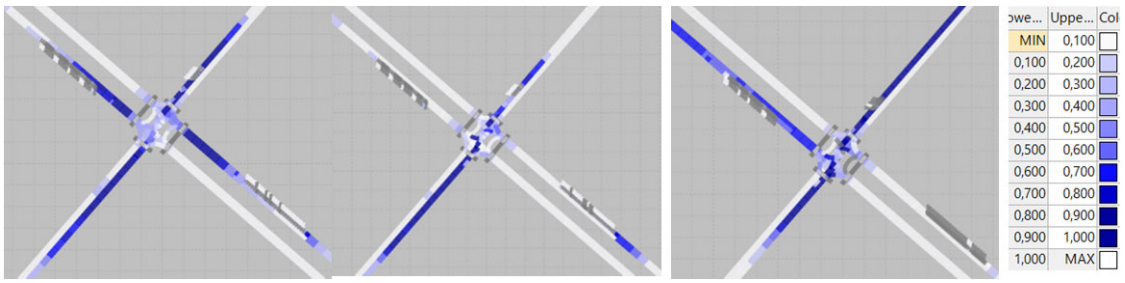


Рис. 10. Картограма відносного часу затримки (середнє значення за всіма ТЗ) для різних сценаріїв

Висновки

В результаті імітаційного моделювання перехрестя вул. В. Чорновола – бул. Шевченка, м. Черкаси можна зробити наступні висновки:

– існуюча організація перехрестя при відключенні електроенергії не призводить до виникнення критичних заторів і зменшення пропускної здатності перехрестя за існуючої інтенсивності руху транспорту. Винятком є напрям **3** по вул. В. Чорновола. Це можна пояснити відсутністю повільних габаритних тролейбусів на перехресті, а також обмеженням доступної ліцензії у 10 хвилин моделювання. Також не враховується можливість порушень правил учасниками дорожнього руху;

– у випадку зростання інтенсивності руху з двох напрямів до 10 разів середній час затримки ТЗ на перехресті зростає приблизно на 20% відносно нормального режиму роботи перехрестя. При цьому суттєво зменшиться пропускна здатність напрямку **1**. Однак загалом перехрестя не блокується заторами та залишається прохідним. Подібно до попереднього сценарію зростання інтенсивності руху компенсується відсутністю тролейбусів та іншого громадського транспорту, а також відсутністю зупинок на світлофорі.

В подальшому для підвищення достовірності отриманих результатів планується використати академічну ліцензію програми, що дозволить перевірити отримані дані на більшому інтервалі часу, а також врахувати можливість порушень правил дорожнього руху водіями.

Список використаної літератури

1. Указ Президента України Про введення воєнного стану в Україні 24.02.2022. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/64/2022#n2. (дата звернення: 30.06.2023).

2. Кодекс цивільного захисту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text. (дата звернення: 30.06.2023).

3. Kučera T., Chocholáč J. Design of the City Logistics Simulation Model Using PTV VISSIM Software. Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 53. P. 258–265. URL: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.033 (date of access: 01.07.2023).

4. Parameters Influencing Lane Flow Distribution on Multilane Freeways in PTV Vissim / C. M. Weyland et al. Procedia Computer Science. 2021. Vol. 184. P. 453–460. URL: https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.057 (date of access: 01.07.2023).

5. Emergency traffic distribution and related traffic organization method under natural disasters / X. Ma et al. Sustainable Operations and Computers. 2022. URL: https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.09.001.

6. Транспортне моделювання як один із методів оцінки ефективності інженерно-планувальних елементів розв'язок в різних рівнях. / Осетрин М., Беспалов Д., Дорош М., Тарасюк В. // Містобудування та територіальне планування, (70), 2019 417–430. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2019.70.417-430

7. EasyWay. URL: https://www.eway.in.ua/ua/cities/cherkasy. (дата звернення: 30.06.2023).
8. 3D Warehouse – SketchUp. URL: https://3dwarehouse.sketchup.com/. (дата звернення: 30.06.2023).

References

1. Decree of the President of Ukraine On the introduction of martial law in Ukraine 02/24/2022. Official Website of the Parliament of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/64/2022#n2
2. Code of Civil Protection of Ukraine. Official Website of the Parliament of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text
3. Kučera, T., Chocholáč J. (2021). Design of the City Logistics Simulation Model Using PTV VISSIM Software. Transportation Research Procedia, 53, 258–265. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.033
4. Weyland, C. M., Baumann, M. V., Buck, H. S., & Vortisch, P. (2021). Parameters Influencing Lane Flow Distribution on Multilane Freeways in PTV Vissim. Procedia Computer Science, 184, 453–460. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.057
5. Ma, X., Guo, H., Tang, X., Gao, X., & Wang, X. (2023). Emergency traffic distribution and related traffic organization method under natural disasters. Sustainable Operations and Computers, 4, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.09.001
6. Osetrin, M., Bespalov, D., Dorosh, M., & Tarasiuk, V. (2019). Transport modeling as one of the methods of evaluating the efficiency of engineering and planning elements of junctions at different levels. Urban planning and territorial planning., (70), 417–430. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2019.70.417-430
7. EasyWay. EasyWay. https://www.eway.in.ua/ua/cities/cherkasy
8. 3D Warehouse. SketchUp. https://3dwarehouse.sketchup.com/

УДК 656.02 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.11

В. П. СЛАВИЧ
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-7882-4198

В. В. ЄЛЬНИК
студент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ВАНТАЖУ ГАЗОПОСТАЧАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

У даній роботі запропонована модель оптимізації процесу транспортування зрідженого газу автомобільним транспортом газопостачального підприємства Херсонської області за рахунок створення більш ефективного маршруту руху вантажних транспортних засобів. При оптимізації вантажних перевезень для кожного певного підприємства та певного регіону країни треба застосовувати індивідуальні підходи, що враховують параметри даної моделі, особливо це стосується такого важливого типу вантажу як газ. У практиці вантажних перевезень головним є комплекс дій, спрямованих на вирішення проблем зниження вартості вантажних перевезень і скорочення часу доставки вантажів. Одним з напрямків таких дій є методика побудови і використання кільцевих маршрутів. Створення кільцевого маршруту збільшує корисне використання кілометражу. Для газопостачального підприємства, що досліджується в роботі, проаналізовано існуючу схему руху транспорту, зібрані основні параметри моделі перевезень та на основі отриманих даних запропоновано створення нового моделі руху, для якої розраховані основні кількісні показники: час їздки, витрати палива, середня технічна швидкість, пройдений шлях, витрати на перевезення та проведено чисельне порівняння старого та нового маршрутів з урахуванням необхідних вимог безпеки при перевезеннях газу. Порівняльний аналіз дозволяє стверджувати, що запропонована модель руху є ефективнішою за існуючу завдяки якісній змінні параметрів моделі, зокрема – збільшенню середньотехнічної швидкості, зменшенню робочого часу та пробігу транспортного засобу, зменшенню витрат на паливо та відповідно загальних витрат на перевезення, при цьому також відбувається і зменшення часу доставки вантажу, що неодмінно є важливим для кінцевих споживачів газу, що перевозиться.

Ключові слова: *вантажні перевезення, кільцевий маршрут, ефективність перевезень, витрати палива, маршрут, транспортна мережа.*

V. P. SLAVYCH
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Systems and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-7882-4198

V. V. ELNYK
Student at the Department of Transport Systems and Technical Service
Kherson National Technical University

OPTIMIZATION OF THE CARGO DELIVERY PROCESS OF THE GAS SUPPLY ENTERPRISE

In this paper, we propose a model for optimizing the process of liquefied gas transportation by road transport of the gas supply enterprise of the Kherson region is proposed due to the creation of a more efficient route for the movement of cargo vehicles. When optimizing cargo transportation for each specific enterprise and specific region of the country, individual approaches should be applied, taking into account the parameters of this model, especially this applies to such an important type of cargo as gas. In the practice of freight transportation, the main thing is a set of actions aimed at solving the problems of reducing the cost of freight transportation and reducing the time of cargo delivery. One of the directions of such actions is the method of construction and use of ring routes. Creating a circular route increases the useful use of mileage. For the gas supply company under study, the existing traffic scheme was analyzed, the main parameters of the transportation model were collected, and based on the obtained data, the creation of a new traffic model was proposed, for which the main quantitative indicators were calculated: driving time, fuel consumption, average technical speed, dist ance covered , transportation costs, and a numerical comparison of the old and new routes was made, taking into account the necessary safety requirements for gas transportation. The comparative analysis allows us

to state that the proposed traffic model is more efficient than the existing one due to the qualitative variable of the model parameters, in particular – an increase in the average technical speed, a decrease in working time and vehicle mileage, a decrease in fuel costs and, accordingly, in total transportation costs, while there is also a decrease cargo delivery time, which is certainly important for final consumers of transported gas.

Key words: *freight transportation, circular route, transportation efficiency, fuel consumption, route, transport network.*

Постановка проблеми

Важливим в практиці вантажних перевезень є комплекс дій, спрямованих на вирішення проблем зниження вартості вантажних перевезень і скорочення часу доставки вантажів. Одним з напрямків таких дій є методика побудови і використання кільцевих маршрутів. Створення кільцевого маршруту збільшує корисне використання кілометражу. Зрозуміло, що загальний пробіг можна зменшити за рахунок скорочення порожнього пробігу. Таким чином, оскільки пробіг безпосередньо пов'язаний з витратою палива, зменшення загального пробігу в свою чергу, зменшує витрати на паливо, які становлять значну частину транспортних витрат.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх наукових розробок показав, що питаннями прогнозування часу подолання транспортних заторів присвячено роботи багатьох вчених, зокрема Н. Дуна, С. Гриценка, В. Вітлінського, С. Іванова, Є. Нагорного, В. Нефьодова, О. Калініченка та ін. [1–7]. Проте при оптимізації вантажних перевезень для кожного певного підприємства та певного регіону країни треба застосовувати індивідуальні підходи, що враховують параметри даної моделі.

Формулювання мети досліджень

Метою роботи є розробка моделі оптимізації процесу транспортування зрідженого газу автомобільним транспортом газопостачального підприємства Херсонської області за рахунок створення більш ефективного маршруту руху вантажних транспортних засобів.

Викладення основного матеріалу досліджень

Аналізуючи логістичну діяльність газопостачального підприємства, було виявлено, що компанія пропонує широкий спектр послуг, виконує всі роботи з технічного обслуговування системи газопостачання в Херсоні та Херсонській області, транспортування природного газу розподільними трубопроводами, транспортування зрідженого газу автомобільним транспортом, управляє газорозподільною системою в Херсонській області.

Маршрут рухомого складу для завантаження вогненебезпечного вантажу знаходиться в м. Каховка та доставка відбувається до підприємства в м. Гола Пристань.

Отже, коли вантаж з м. Каховка прибув до м. Гола Пристань, доставка вантажу ще не завершена. З м. Гола Пристань треба розвести вантаж, а саме зріджений газ, по пунктам за наступними маршрутами:

№ 2. Гола Пристань – Залізний Порт – Гола Пристань

№ 3. Гола Пристань – Скадовськ – Гола Пристань

№ 4. Гола Пристань – Олешки – Гола Пристань

№ 5. Гола Пристань – Брилівка – Гола Пристань

Замовлення кількості зрідженого газу, розподіл транспорту по маршрутам для доставки вантажу до підприємства та витрати на кожному маршруті наведено в табл. 1–3.

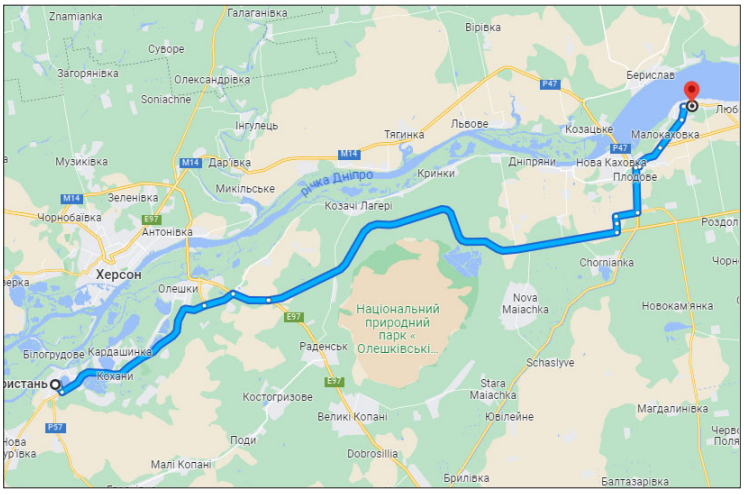


Рис. 1. Маршрут № 1 до підприємства в м. Гола Пристань

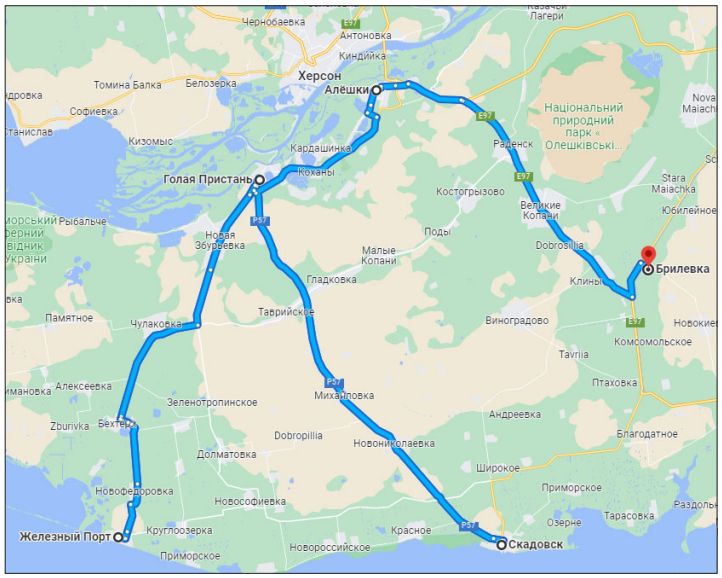


Рис. 2. Маршрути № 2, № 3, № 4, № 5

Таблиця 1

Замовлення кількості зрідженого газу

Назва	Кількість замовленого вантажу, м³
Гола Пристань	16
Олешки	5
Брилівка	15
Скадовськ	20
Залізний Порт	4
Разом	60

Таблиця 2

Розподіл транспорту по маршрутам для доставки вантажу до підприємства

№ Маршруту	Вид транспортного засобу	Кількість транспорту на маршруті	Кількість вантажу, м³
№ 1	КамАЗ-5410 (ППЦТ-20)	3	60
№ 2	ЗіЛ-431412 (АЦТ-8)	1	4
№ 3	КамАЗ-5410 (ППЦТ-20)	1	20
№ 4	ЗіЛ-431412 (АЦТ-8)	1	5
№ 5	ЗіЛ-431412 (АЦТ-8)	3	15

Таблиця 3

Витрати на кожному маршруті

№ Маршруту	Пройдений шлях, км	Кількість транспорту на маршруті	Витрати палива, л	Ціна за 1 л, грн.	Загальна ціна, грн.
№ 1	200	3	192	30	5 760
№ 2	109	1	27,3	30	819
№ 3	118	1	37,7	30	1 131
№ 4	44	1	11	30	330
№ 5	140	3	105	30	3 150
Разом	611	-	373	-	11 190

На деяких маршрутах використовується велика кількість транспортних засобів, що впливає на ефективність доставки та споживання палива. Існують недоліки в поточній організації перевезень, які потребують системного вирішення.

Для вирішення недоліків цих маршрутів існують певні критерії, що дозволяють оптимізувати процес доставки вантажу з мінімальними витратами

1. Зміна маршруту.
2. Зміна місця завантаження.
3. Вибір транспортних засобів з більшими габаритами та вантажопідйомністю.

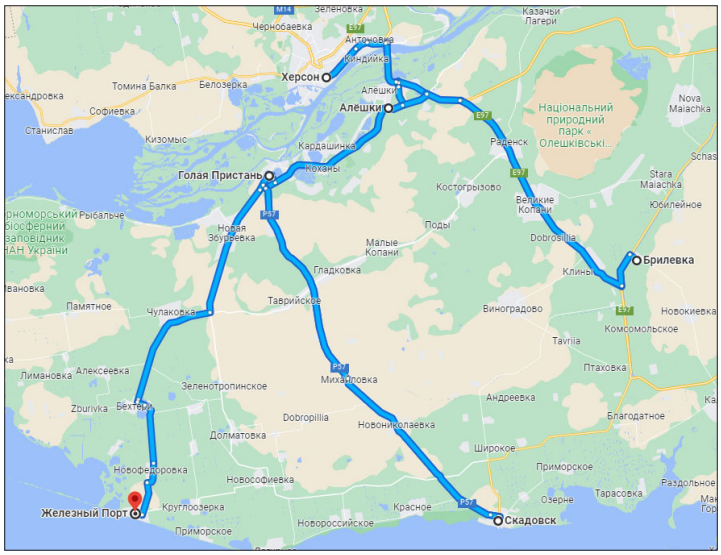


Рис. 3. Новий маршрут доставки вантажу

Запропонований маршрут для доставки вантажу в м. Гола Пристань та іншим пунктам:

Гола Пристань – Херсон

Херсон – Брилівка – Олешки – Гола Пристань

Херсон – Скадовськ – Гола Пристань

Херсон – Гола Пристань

Гола Пристань – Залізний Порт – Гола Пристань

Новий маршрут є більш ефективним та економічно вигідним. До цього маршруту були внесені деякі зміни. Завантаження здійснювалося в м. Херсон, оскільки цей пункт є найближчим до бази. Розподіл та кількість транспортних засобів було змінено, оскільки на вихідному маршруті була збільшена кількість транспортних засобів, що на практиці значить довші відстані перевезень та більшу витрату палива. Запропонований маршрут змінив напрямок руху, і цей критерій мінімізував відстань пересування та споживання палива

Таблиця 4

Розподіл транспорту за новим маршрутом

№ маршруту	Вид транспортного засобу	Кількість транспорту на маршруті	Кількість вантажу, м^3
№ 1	КамАЗ-5410 (ППЦТ-20)	3	–
№ 2	КамАЗ-5410 (ППЦТ-20)	1	20
№ 3	КамАЗ-5410 (ППЦТ-20)	1	20
№ 4	КамАЗ-5410 (ППЦТ-20)	1	20
№ 5	ЗіЛ-431412 (АЦТ-8)	1	4

Таблиця 5

Витрати на кожному маршруті

№ маршруту	Пройдений шлях, км	Кількість транспорту на маршруті	Витрати палива, л	Ціна за 1 л, грн	Загальна ціна, грн
№ 1	43	3	41,3	30	1 239
№ 2	134	1	42,8	30	1 284
№ 3	158	1	50,6	30	1 518
№ 4	43	1	13,7	30	411
№ 5	109	1	27,3	30	819
Разом	487	-	175,7	-	5 271

Розрахуємо характеристику маршруту «А» (табл. 3) та маршруту «В» (табл. 5) за відповідними показниками: час їздки, витрати палива, середня технічна швидкість, пройдений шлях та різниця усіх показників у відсотках.

Результати розрахунків узагальнено у вигляді табл. 6.

Таблиця 6

Загальні показники обох маршрутів та їх різниця

Показники	Умовні позначення	Маршрут «А»						Маршрут «В»						Різниця	Різниця у %
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	загальна	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	загальна		
Середня технічна швидкість, км/год	V_T	63,5	70,1	66,5	67,7	72,2	60	77,9	59,8	63,4	56,9	71	65	5	8,3 %
Час їздки, хв.	t_1	440	120	210	85	190	1045	30	215	235	130	120	730	315	43 %
Пройдений шлях, км.	S	200	109	118	44	140	611	43	134	158	43	109	487	124	25,4 %
Витрати палива, л.	β	192	27,3	37,7	11	105	373	41,3	42,8	50,6	13,7	27,3	175,7	197,3	78 %
Витрати коштів на паливо, грн.	–	5760	819	1131	330	3150	11190	1239	1284	1518	411	819	5271	5919	89 %

Висновки

Таким чином, порівняльний аналіз дозволяє стверджувати, що запропонована модель руху є ефективнішою за існуючу завдяки якісній змінні параметрів моделі. Показано, що середньотехнічна швидкість збільшилася на 8,3%, робочий час зменшився на 43%, пробіг транспортного засобу зменшився на 25,4%, витрата палива зменшилася на 78%, а витрати на паливо зменшилися на 89%. Також відбувається і зменшення часу доставки вантажу, що неодмінно є важливим для кінцевих споживачів газу, що перевозиться.

Список використаної літератури

1. Вітлінський В.В., Наконечний С.І., Терещенко Т.О. Математичне програмування. Київ: КНЕУ, 2001. 250 с.

2. Гриценко С.І. Можливості маркетингу та логістики в сталому розвитку регіонів України. Вісник економічної науки України. 2017. № 1 (32). С. 36–39.

3. Дуна Н., Матвієнко А. Перспективи розвитку українського ринку автомобільних вантажоперевезень: євроінтеграційний аспект. Науковий вісник Ужгородського національного університету. 2022. Випуск 44. С. 21–29.

4. Іванов С.В. Транспортно-логістичні кластери в контексті розвитку транспортної системи України та окремо взятого економічного району. Економічний вісник Донбасу. 2018. № 1 (51). С. 15–22.

5. Славич В.П. Гібридна модель задачі про максимальний потік вантажу у матричній постановці із додатковими обмеженнями. Проблеми інформаційних технологій. 2012. № 02(012). С. 100–103.

6. Славич В.П., Доброва К.Д. Модель та метод знаходження опорного та оптимальних планів модифікованої транспортної задачі у випадку групування постачальників вантажу. Прикладні питання математичного моделювання. Херсон. 2020. Т. 3. № 1. С. 187–193.

7. Сокур І.М., Сокур Л.М., Герасимчук В.В. Транспортна логістика: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. К.: Центр учбової літератури, 2009. 222 с.

References

1. VItlInskiy,V. V., Nakonechniy, S. I., & Tereschenko, T. O. (2001). Matematichne programuvannya [Mathematical programming]. Kyiv: KNEU, 250 p. [in Ukrainian].

2. Hrytsenko S.I. (2017). Mozhlyvosti marketynhu ta lohistyky v stalomu rozvytku rehioniv Ukrainy [Opportunities of Marketing and Logistics within Sustainable Development of Ukrainian Regions]. Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy – Bulletin of Economic Science of Ukraine, 1 (32), pp. 36–39. [in Ukrainian].

3. Duna, N. & Matviyenko, A. (2022). Perspektyvy rozvytku ukrayins′koho rynku avtomobil′nykh vantazhoperevezen′: yevrointehratsiynyy aspekt [Prospects for the development of the Ukrainian road freight transport market: the European integration aspect]. Naukovyy visnyk Uzhhorods′koho natsional′noho universytetu – Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University, vol. 44. pp. 21–29. [in Ukrainian].

4. Ivanov S.V. (2018). Transportno-lohistychni klastery v konteksti rozvytku transportnoi systemy Ukrainy ta okremo vziatoho ekonomichnoho raionu [Transport and logistic clusters in the context of the transport system development of Ukraine and special economic region]. Ekonomichnyi visnyk Donbasu – Economic Herald of the Donbas, 1 (51), pp. 15–22. [in Ukrainian].

5. Slavych V.P. (2012). Hibrydna model zadachi pro maksymalnyi potik vantazhu u matrychnii postanovtsi iz dodatkovymy obmezhenniamy. Problemy informatsiinykh tekhnolohii [A hybrid model of the maximum cargo flow problem in a matrix formulation with additional constraints]. 02(012). pp. 100–103. [in Ukrainian].

6. Slavych V.P., Dobrova K.D. (2020). Model ta metod znakhodzhennia opornoho ta optymalnykh planiv modyfikovanoi transportnoi zadachi u vypadku hrupuvannia postachalnykiv vantazhu [Model and method of finding the reference and optimal plans of the modified transport problem in the case of grouping of freight suppliers]. Prykladni pytannia matematychnoho modeliuvannia. Kherson. vol. 3. n1. pp. 187–193. [in Ukrainian].

7. Sokur I.M., Sokur L.M., Herasymchuk V.V. (2009). Transportna lohistyka: navch. posib. dlia stud. vyshch. navch. Zakl [Transport logistics: education. manual for students higher education institutions]. K.: Tsentr uchbovoi literatury, 222 p. [in Ukrainian].

УДК 621.7 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.12

В. А. ТИТОВ
доктор технічних наук,
професор кафедри механіки пластичності матеріалів
та ресурсозберігаючих процесів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-4234-6961

І. А. СЄЛІВЕРСТОВ
кандидат технічних наук,
доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0009-6135-8165

С. І. ГУДЗЕНКО
магістрант
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0009-8776-4102

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

Д. О. ДМИТРІЄВ
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-8200-351X

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ З ВНУТРІШНІМ ПРОФІЛЕМ ГВИНТОВОЇ ГЕОМЕТРІЇ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

У даній роботі, розглянуто комп'ютерне моделювання геометрії гвинтового профілю довгомірних трубчастих деталей у вигляді спряжень різних кривих, як повторюваний регулярний контур, що описано аналітично з визначенням точок дотику кожного спряження та переходу від однієї кривої до іншої. За допомогою програмного забезпечення "Profile Generator" виконано параметричне генерування ряду профілів в періодичному спряженні кривих евольвента – пряма – коло (дуга). Для обраних видів профілю застосовано технологічне устаткування для виготовлення довгомірних трубчастих виробів з внутрішнім каналом гвинтової геометрії та обраними видами геометричних спряжень кривих профілю. Застосовано внутрішню оправку, що забезпечує виготовлення довгомірних трубчастих виробів методами холодного пластичного деформування шляхом зовнішнього обтиснення на ній циліндричної заготовки повздовжнім та поперечним обкатуванням роликами за різними технологічними схемами. Виявлені преваги та недоліки кожного запропонованого методу, встановлені основні закономірності, які впливають на механічні властивості готових виробів. Уточнені силові фактори для процесу обробки де розглянута модель «оброблювана деталь – інструмент» в цілому.

Запропоновано та реалізовано обробку шляхом зовнішнього обкатування на профільній оправці чотирьох, трьох та одно роликовим навантажувальним пристосуванням. Розроблено класифікацію найбільш поширених у застосуванні в різних галузях промисловості та побутовому використанні профільованих трубчастих виробів з складною геометрією як внутрішньої так і зовнішньої поверхні та наведено існуючі методи їх виготовлення з відповідним технологічним обладнанням, деформаційними властивостями матеріалу та структурою.

Ключові слова: *пластичне деформування, моделювання, механічні властивості, профільовані трубчасті вироби.*

V. A. TITOV
Doctor of Technical Sciences,
Professor at the Department of Mechanics of Plasticity of Materials
and Resource-Saving Processes
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-4234-6961

I. A. SELIVERSTOV
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Automation,
Robotics and Mechatronics
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0009-6135-8165

S. I. HUDZENKO
Master Student
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0009-8776-4102

S. A. RUSANOV
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Transport Systems
and Technical Services
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-1003-4867

D. O. DMITRIEV
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Automation, Robotics and Mechatronics
Kherson National Technical University
ORCID : 0000-0001-8200-351X

MODELING AND MANUFACTURING OF TUBULAR PRODUCTS WITH THE INTERNAL PROFILE OF HELICAL GEOMETRY BY PLASTIC DEFORMATION

In this work, the computer modelling of the geometry of the helical profile of long-dimensional tubular parts in the form of conjugations of various curves, as a repeating regular contour, which is described analytically with the determination of the points of contact of each conjugation and the transition from one curve to another, is considered. With the help of the "Profile Generator" software, parametric generation of a number of profiles in the periodic conjugation of involute curves – straight line – circle (arc) was performed. For the selected types of profile, technological equipment is used for the production of long tubular products with an internal channel of helical geometry and selected types of geometric conjugations of profile curves. An internal mandrel is used, which ensures the manufacture of long tubular products by methods of cold plastic deformation by external pressing of a cylindrical work piece on it by longitudinal and transverse rolling with rollers according to various technological schemes. The advantages and disadvantages of each proposed method are identified, the main laws that affect the mechanical properties of finished products are established. Specified power factors for the machining process where the model "processed part – tool" as a whole is considered.

Proposed and implemented processing by external rolling on a profile mandrel with four, three and one roller loading device. The classification of the most common profiled tubular products with complex geometry of both the inner and outer surfaces in various industries and domestic use has been developed, and the existing methods of their production with the appropriate technological equipment, deformation properties of the material and structure are given.

Key words: *plastic deformation, modelling, mechanical properties, profiled tubular products.*

Постановка проблеми

Сучасна промисловість України і світу потребує удосконалення існуючих та розробки нових технологій та отримання деталей надскладної форми. Особливе місце в цьому займають профільовані вироби отримані методами холодного пластичного деформування з профільованою внутрішньою поверхнею. Серед таких виробів розрізняють трубчасті елементи, деталі циліндричної форми, складні профільовані вироби та інші (рис. 1).

В ряді дослідницьких робіт визначено технологічні параметри отримання цих виробів з урахуванням в основі розрахунку використані вихідні дані, що задані у кресленні деталі (габаритні розміри, товщини шарів та їх матеріал). Класифікацію найбільш поширених деталей та технологій їх отримання тиском наведено на рисунку 2.

Рис. 1. Приклади виробів з внутрішньою профілем складної геометрії отриманих методами пластичного деформування

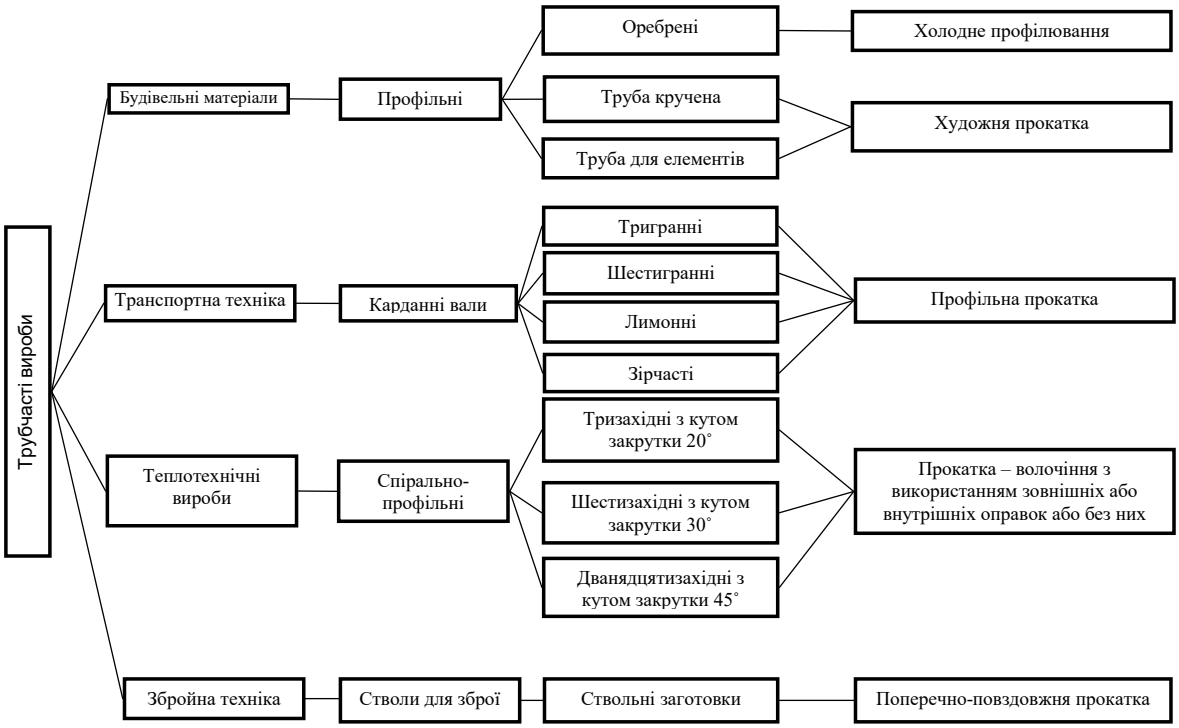


Рис. 2. Класифікація трубчастих виробів складної форми, що поширено на споживчому ринку

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На основі розгляду кінематичних схем обробки поверхневим пластичним деформуванням (ППД) тіл обертання із аналізом напружено-деформованого стану системи виконано аналіз найбільш придатних до фінішної розмірної обробки тиском технологічних режимів і умов. Традиційні технології фінішної обробки ППД поверхонь обертання передбачають використання універсального верстатного обладнання, наприклад, більшість деталей типу стрижнів оброблюють шляхом вигладжування або обкатуванням роликом на токарних верстатах із закріпленням в центрах із застосуванням люнетів. ППД використовують для підвищення опору втоми й твердості поверхневого шару металу, а також для формування в цьому шарі внутрішніх напруг (головним чином напруг стиску) і утворенню регламентованого рельєфу мікронерівностей на поверхні. Радіальне биття деталі і відхилення геометричних розмірів обробного ролика викликає пружні відтиснення інструменту і зміни навантаження розвинутого пружним корпусом, які за нашими розрахунками знаходяться у межах 5–10% для зусиль $P_{об}$ в діапазоні від 1,5 до 3,0 кН. При необхідності даний фактор можна враховувати за допомогою коливання величини контактного тиску в зоні обробки $p_{\min}^{\max}$, що розраховується відповідно до профілю і площі фактичного контакту ролика і заготівки. Розрахункові питання стосовно до ППД розглядалися достатньо широко [7].

Згідно з сучасними уявленнями, величину пластичного вторгнення $h_{пл}$ можна отримати з рівняння фактичної площини контакту A_r інструменту з заготовкою. У зв'язку з тим, що величина пластичної деформації вихідної шорсткості обумовлюється формуванням фактичної площини контакту інструменту з поверхнею обробки, яка

здатна сприймати робоче навантаження від ролика або шарика при його качанні або ковзанні та з урахуванням вихідної шорсткості зовнішніх поверхонь обертання A_r визначається такою залежністю:

$$A_r = \frac{\Delta p}{HB} = A_a \frac{t_{m\ вих}}{100}\left(\frac{h_{пл}}{R_{p\ вих}}\right)^{\nu_{вих}},$$

де A_a – номінальна площа контакту ролику з заготівкою; $t_{m\ вих}$ – значення відносної довжини опорної лінії вихідної шорсткості на рівні середньої; Δp – тиск на ділянці контакту, Па; НВ – твердість деформованого матеріалу; $R_{рвих}$ – висота згладжування вихідної шорсткості; $_{вих}$ – параметр, що характеризує опорну поверхню профілю вихідної шорсткості заготівки за умови її несучої здатності.

В наукових дослідженнях, для оцінки несучої здатності шорсткості поширене застосування такий показник, як крива опорної поверхні, що будується в відносних координатах $t_p = b\varepsilon\nu$ і параметри її початкової ділянки ν і b (де t_p – відносна опорна довжина профілю на рівні р). Експериментальні дослідження довели, що опорна крива задовільно описується рівнянням tp=100b(y/100)ν до рівня середньої лінії. Проінтегрував дане рівняння по у від 0 до R_p, отримаємо залежність для визначення параметру, що характеризує початкову ділянку кривої опорної лінії вихідного профілю шорсткості

$$\nu_{вих} = \frac{t_{m\ вих} R_{p\ вих}}{50 R_{a\ вих}} - 1 \text{ , тоді} \qquad \Delta h_{пл} = R_{рвих}\left(\frac{\Delta p}{\Delta HB \cdot t_{mвих} \Delta A_a}\right)^{\frac{1}{\nu_{вих}}}.$$

При точковому вихідному контакті, що перетворюється під дією навантаження в еліптичний, теорія Герца [1, 2] визначає розподілення контактного тиску по еліпсоїду з максимальним тиском в центрі $p_{\max} = \frac{3\Delta P_{об}}{c\pi a' b'}$, де $\Delta P_{об}$ – зміни сили вдавлювання ролика, Н.

Коефіцієнт с являє собою відношення між середнім тиском на ділянку контакту $\bar{p}$, що викликає пластичну течію, і напруженням текучості s, тобто $c = \frac{\bar{p}}{\sigma_m}$ [1].

Відповідно до геометрії ролика і деталі існують три можливі випадки, для яких згідно зі схемою розраховується Аафр за формулами:

$$A_{афр(\Omega\rangle 0)} = \frac{a' \pi D_p \operatorname{arctg}\frac{2b'}{D_{рол}}}{4R_{пр}\,90^o}; \qquad A_{афр(\Omega\langle 0)} = \frac{b' \pi R_{зв}^{\ 2}\gamma}{2R_{зв}\,90^o} \qquad A_{афр(\Omega=0)} = 2\pi R_{зв}\left(R_{пр} - \frac{a'}{2tg\frac{\gamma}{2}}\right),$$

де $R_{зв}$ – зведений радіус ролика, мм; кут γ = 90° – α + ξ визначає ширину сліду накатуваної лунки з поздовжньою подачею і розраховується відповідно зі схемою поданою на рис. 3; a' – розмір плями пластичного контакту ролика і деталі в напрямку поздовжньої подачі інструменту в сталому режимі; b' – розмір плями пластичного контакту ролика і деталі в напрямку качання ролика.

За даними Рижова Є.В. параметр b' задовільно описується співвідношенням $\frac{a'}{b'} = (1 + 0{,}3\Omega)\frac{n_b}{n_a}$, де n_a і n_b – коефіцієнти [6]; Ω – аргумент, що характеризує форму пластичного контакту.

Складова висоти профілю шорсткості, що обумовлюється коливальним рухом інструменту відносно поверхні обробки при оздоблювально-зміцнюючий обробці, визначено в роботі [6] виразом

$$h_{кол} = \frac{h_{пл\ max} - h_{пл\ min}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\lambda_{рол}^{\ 2}}{\omega^2}\right)^2 + T_h^{\ 2}\lambda_{рол}^{\ 2}}},$$

де $h_{пл\ max}$ і $h_{пл\ min}$ – максимальна і мінімальна величини пластичного вторгнення ролика; ω – частота власних коливань ролика; T_h – стала часу демпфування.

Ω>0 Ω<0

Рис. 3. Схема для розрахунку контурної площі пластичного контакту в зоні обробки

Дані дослідження і наведені закономірності є базовими принципами технологічної підготовки методів ППД. В якості верстатного забезпечення для методів ППД (зокрема, накатці та вигладжування) використовують універсальне або спеціальне метало-оброблювальне обладнання, в тому числі з ЧПК.

Однак весь процес обробки супроводжується не властивими для даних верстатів умовами, а саме співвідношення навантажувальних зусиль не відповідає технічним характеристикам системи пристосування-інструмент-деталь. Зміна положення вектору сили притискання уздовж напряму подачі викликає зміни значень пружних відтискань.

Досить перспективною технологією отримання трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею є зовнішнє обтиснення не приводними роликами з проштовхуванням деталі на профільній оправці. Для цього використовуються три- або чотири- роликова волока, профільна оправка вкладена в циліндричну трубчасту заготовку подається за допомогою пресу крізь циліндричний отвір, що утворюють не приводні ролики на регульованих опорах без станинного типу (рис. 4). Така технологія передбачає значних зусиль протягування або штовхання і суттєвих зусиль діючих на ролики є імовірність нерівномірного тиску по контактній поверхні уздовж профілю [9].

Формулювання мети дослідження

Розробити аналітичний апарат параметричного завдання внутрішнього профілю трубчастих виробів гвинтової геометрії на основі спряження різних кривих. Визначити технологічні способи виготовлення та застосування обладнання для обробки і необхідних пристосувань у вигляді гвинтових оправок, схем формоутворення, енергосилових режимів та пов'язаних з ними властивостями матеріалів після обробки холодним пластичним деформуванням. Окреслити динамічні умови функціонування технічного обладнання та його вплив на розмірну точність трубчастих виробів із складною геометрією внутрішнього каналу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Процес отримання трубчастих заготовок значно залежить від геометричних параметрів самих внутрішніх полігональних профільних оправок, а саме форми та кількості граней, кроку загвинчування. З цією метою для попереднього проектування був використаний програмний продукт Profile Generator [8], який дозволяє моделювати внутрішню геометрію каналу з евольвентним профілем для автоматичного створення шаблонів, формування геометричних параметрів каналу з асиметричною формою доріжки, яка складається із двох частин – прямолінійної і криволінійної.

Профілювання внутрішньої поверхні здійснювалося за двома схемами. Перша запропонована схема профілювання внутрішньої поверхні деталі методом повздовжньої прокатки. Для цього використовувався двовалковий прокатний стан з приводними валками які мають спеціальні калібровані рівчаки на зовнішній поверхні. Внутрішня полігональна (профільна) оправка також попередньо вкладалась в трубчасту циліндричну заготовку.

В результаті обробки отримані деталі мали високу розмірну точність, значне повздовжнє витягування, що є традиційним для даного способу, а для отримання повного обтискування було достатньо двох або трьох проходів.

Незважаючи на простоту і переваги запропонованої технології – зменшення зусиль і потужності, збільшення продуктивності процесу, існують суттєві недоліки. В процесі обробки спостерігається значна деформація вісі

а) б) в)

Рис. 4. Триролікова волока для зовнішнього обтиснення циліндричної заготовки на профільній оправці неприводними роликами: а – CAD-модель; б – загальний вигляд експериментальної установки; в – отримані трубчасті деталі с полігональним профілем каналу [9]

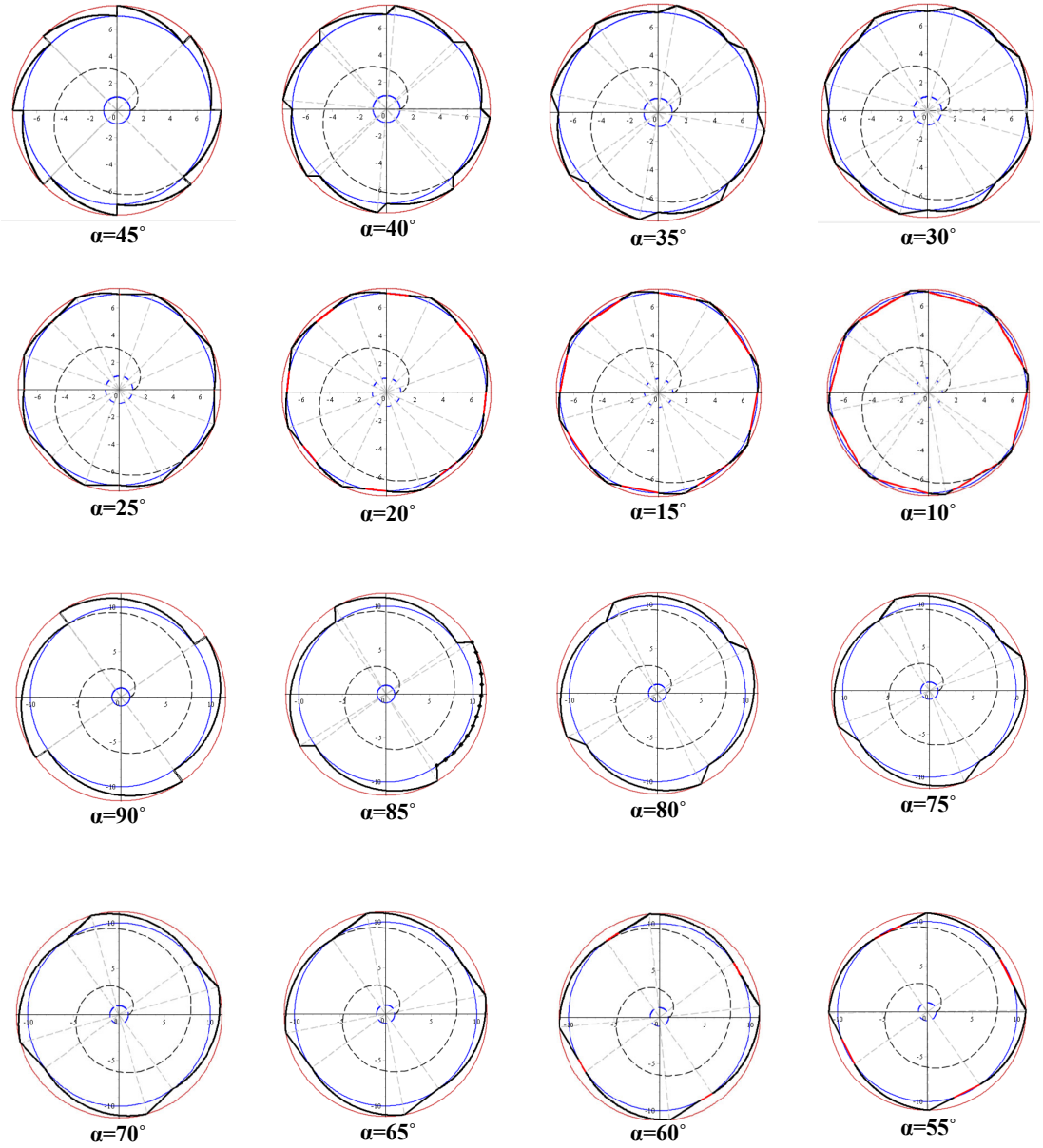


Рис. 5. Приклади згенерованих параметричних CAD профілів оправок

заготовки в повздовжньому напрямку (вигін вісі), що надалі призводить до значних зусиль вилучення профільної оправки із готової деталі.

Для усунення вказаних недоліків запропоновано другу схему – профілювання внутрішньої поверхні деталі методом поперечно-повздовжньої прокатки на токарному верстаті, для чого профільована оправка встановлюється в патрон верстата і задній центр, а регульований пристрій обтискування з не приводними валками монтується на супорті токарного верстату (рис. 6). Обтискування заготовки проводилося одним валком з власним гвинтовим приводом інший валок виконував функцію підпірного. Завдяки такий схемі заготовка з оправкою завжди перебуває на вісі обертання тому деформація після прокатки відсутня.

В роботі використовували шестигранні оправки діаметром 13 мм з прямими гранями та гвинтовими гранями з кроком 350 мм, у якості заготовок – трубчасті заготовки з внутрішнім діаметром 13 мм і товщиною стінок 2,5 мм, матеріал Сталь 20.

За результатами досліджень визначено, що технологія обкатування на токарному верстаті трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею забезпечує достатню розмірну якість, для досягнення результату достатньо 5–6 проходів, вигін вісі відсутній, що призводить до мінімальних зусиль вилучення оправки на рівні 150–300 Н. Попередньо у всіх схемах деформування вилучення оправки відбувалось на випробувальній машині РМ-5 зі спеціально розробленим пристроєм для гвинтових оправок.

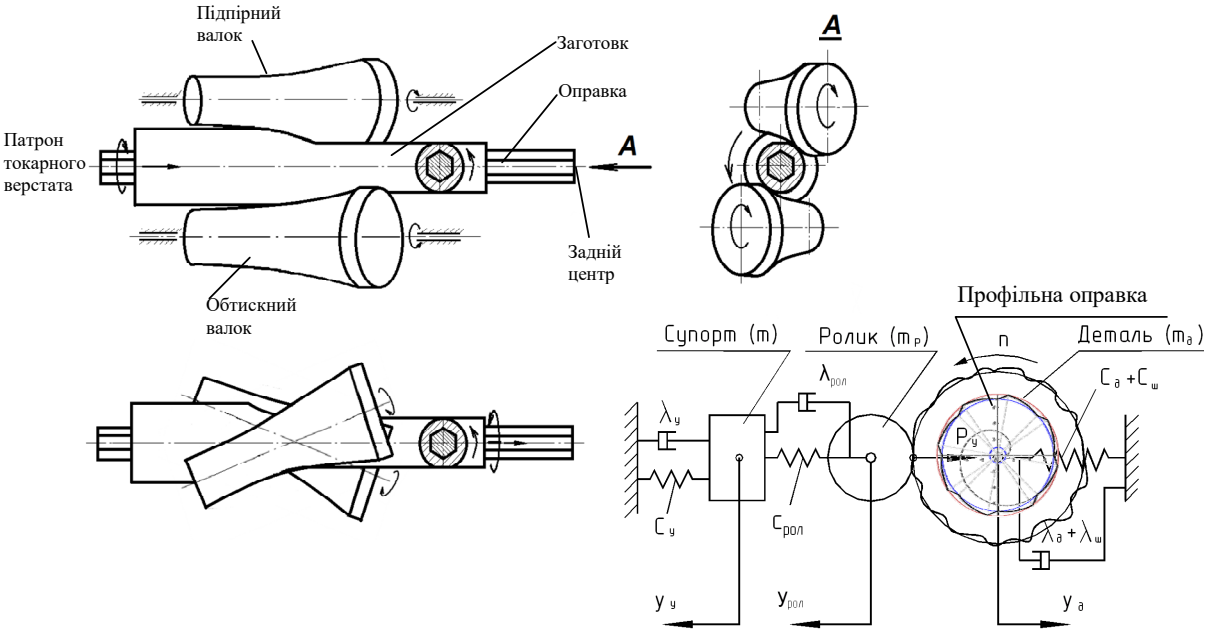
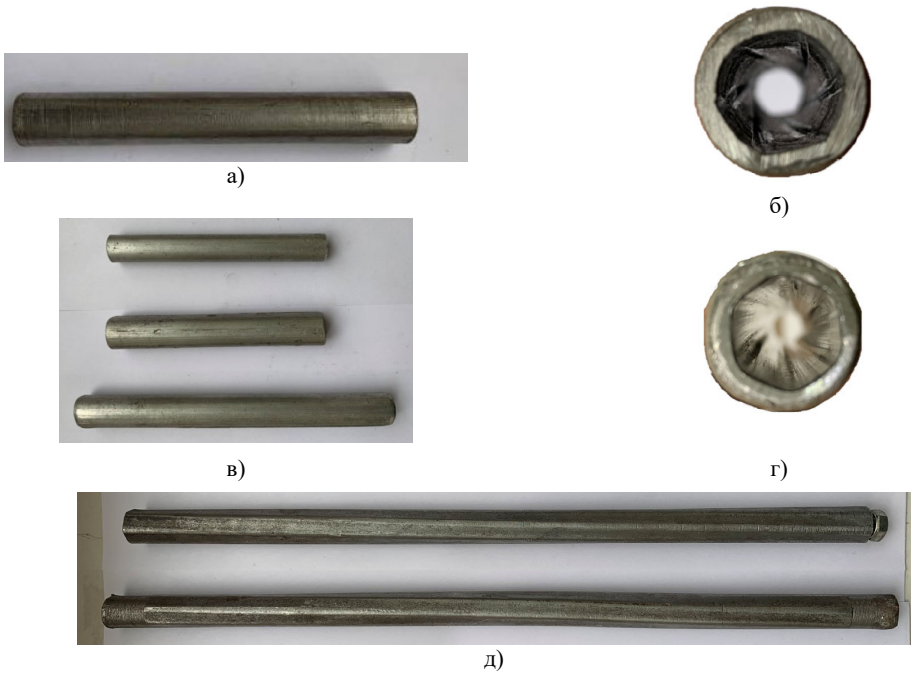


Рис. 6. Схема обтискування з використанням токарного верстату

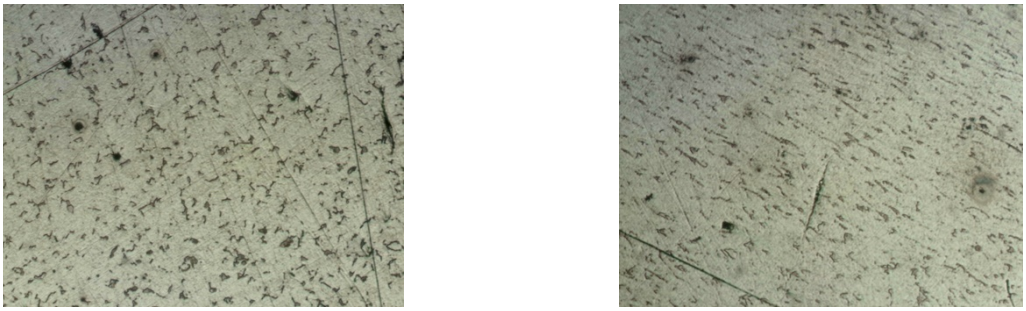
Для дослідження процесів пластичної деформації, були виготовлені зразки з відпаленої Сталі 20 твердістю 83HRB, встановлено: напрямок деформації відбувається переважно перпендикулярно вісі обертання заготовки (рис. 7), спостерігається суттєве підвищення твердості з 83HRB до 89HRB по всьому перерізу деталі і відповідно збільшенню механічної міцності.

Слід зазначити, при всіх перевагах даного методу, недоліком є застосування циліндричних валків незначної товщини (20 мм), що викликає значні контактні напруження на поверхні виробів і відповідно призводить до часткового відшаровування зовнішнього поверхневого шару, особливо в умовах багаторазових проходів.



а) б) в) г) д)

Рис. 7. Деталі після обробки: а, в – вигляд зовнішньої циліндричної поверхні, Сталь 20, алюміній Д18 відповідно; б, г – внутрішня гвинтова поверхня, поперечний вид Сталь 45, алюміній Д18 відповідно; д – гвинтова оправка з профілем внутрішнього каналу



а) б)

Рис. 8. Мікроструктура Сталь 20 після відпалу 920 °С × 500: а – переріз до пластичного деформування; б – переріз після пластичного деформування

Для уточнення силових факторів в процесі обробки необхідно розглядати модель «оброблювана деталь – інструмент» в цілому. В якості найбільш простого і наближеного до верстатних умов способу вирішення цієї проблеми можна запропонувати обкатування без поздовжньої подачі з вимірюванням розмірів профілю накатаної лунки. Так, під час обкатування відбиток ролика на поверхні деталі перетворюється в слід, що уявляє пластично деформовану контактну лунку. Ширина і кривизна сліду в площині осьового перерізу ролика практично співпадають з шириною і кривизною відновленого відбитку. Із вмиканням поздовжньої подачі слід ролика на циліндричній поверхні деталі приймає гвинтову форму. А лунка шириною ***a'*** розгортається по гвинтовій лінії з кроком, що дорівнює подачі $S_{позд}$. Так як за традиційно прийнятими режимами величина подачі значно менша ніж ширина лунки, при обкатуванні відбувається перекриття слідів, а ролик має дотик з кожною точкою поверхні обробки декілька разів. Дане перекриття пропонується оцінювати кратністю докладання навантаження $K_{д.н.}$ при обкатуванні, яке складе:

$$K_{д.н.} = \frac{S_{позд}\cos\theta}{n\cdot(a-L)},$$

де θ – кут підйому гвинтової лінії, $\theta = arctg\frac{S_{позд}}{\pi D_д}$; L – інтервал між слідами утворених лунок, $L = \frac{S_{позд}}{n}\cdot\cos\theta$; n – кількість деформуючих роликів (для багато роликових інструментів).

Вихідними даними будуть $K_{д.н.}$, n, θ, a. На стадії проектування технологічного процесу для операцій ППД нормувальним параметром повинна виступати поздовжня подача, тому зручніше буде залежність, отримана після перетворень:

$$K_{д.н.} = \frac{S_{позд}\cos\theta}{(n\cdot a - S_{позд}\cos\theta)},\ S_{позд} = \frac{K_{д.н.}\cdot n\cdot a}{\cos\theta\cdot(1+K_{д.н.})}.$$

Відхилення від ідеальної форми заготовки дають додаткові навантаження на інструмент, що формує вектор навантажень P+ΔP (рис. 2).

Випадкові коливання δy призведуть до розмаху сили притискання ролика з амплітудою

$$\Delta P_{y_0} = C_{рол}\delta y(h_{пл\max} - h_{пл\min})$$

де $C_{рол}$ – жорсткість корпусу оправки ролика; $h_{пл\max}$, $h_{пл\min}$ – відповідно максимальне і мінімальне пластичне вторгнення ролика в оброблювану деталь.

Величину пластичного вторгнення може бути розраховано як $h_{пл}=R_{пр}(1–\cos\zeta)$, де $R_{пр}$ – профільний радіус ролика; ζ – кут в плані контакту ролика і деталі $\xi = \arcsin\frac{a}{2R_{пр}}$.

Виходячи зі схеми кінематичного руху ролика, нові створені нерівності будуть $R_{зоб}=R_{пр}(1 – \sin\alpha)$, де $\alpha = \arccos\frac{S_{позд}}{2R_{пр}}$.

В кінцевому вигляді величина $R_{зочік}$ у сталому режимі становить:

$$R_{зочік} = R_{звих} – R_{пр}(\cos\zeta – \sin\alpha), \qquad R_{зочік} = (R_{z\,вих} – h_{пл}) + R_{пр}\,(1 – \sin\alpha).$$

Висновки

За результатами аналізу технологій отримання профільованих отворів, встановлено, що на якість отриманих виробів впливає схема реалізації процесу, технологічні режими, форма валків. Тому наступним етапом дослідження планується використання валків складної форми з реалізацією того ж принципу на токарному верстаті, виготовлення пристосування для процесів холодної пластичної деформації для поперечного і повздовжнього прокатування роликами на оправці, вивчення властивостей матеріалів, деформації зерен по перетинах надскладних виробів.

Список використаної літератури

1. Тітов В.А., Злочевська Н.К., Качан О.Я., Тітов А.В, Кондратюк Е.В. Технологічна механіка забезпечення міцності та якості деталей пластичним деформуванням. Київ. : КВІЦ, 2016. 176 с.
2. Тітов В.А., Шамарін Ю.Є., Долматов А.І., Борисевич В.К., Маковей В.О., Алексеенко В.М. Високошвидкісні методи обробки металів тиском. Київ: КВІЦ, 2010. 304 с.
3. Шейкін С.Є., Грушко О.В., Мельниченко В.В., Студенець С.Ф., Ростоцький І.Ю., Єфросінін Д.В., Мельниченко Я.В. Про контактну взаємодію твердосплавних деформуючих протяжок із заготовкою при формоутворенні пазів в отворах трубчастих виробів. *Науковий* журнал Надтверді матеріали. 2021. № 3. С. 91–101.
4. Чигиринський В.В., Бергеман Г.В. Теоретичне прогнозування моделі пластичної середи в умовах складного напруженого стану. Технологічні системи. Дніпропетровськ: Національна металургійна академія України, завод ім. Петровського. 2002. 2 (13). С. 44.
5. Федорчук Д. Д. Вплив пластичного деформування на мікроструктуру матеріалу при обтисненні трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею. Матеріали VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу». Херсон, 2021. С. 121–123.
6. Тітов В.А. Деякі особливості контактної взаємодії інструменту і заготовки при деформуючому протягуванні отворів / Тітов В.А., Яворовський В.Н., Герасимов О.В. Технологічні системи. Київ: НТУУ "Київський політехнічний інститут". 2002. 2 (13) . С. 40–43.
7. Дмитрієв Д.О. Забезпечення якості обробки довгомірних деталей поверхневим пластичним деформуванням з використанням полімервмісних МОТЗ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. Нац. техн. ун-т України «Київський політехнічний інститут». Київ, 2003. С. 22.
8. Комп'ютерна програма "Profile Generator". Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 100070 / Розов Ю.Г., Дмитрієв Д.О., Русанов С.А. Опубл. 20.09.2020 р.
9. Розов Ю. Г. Моделювання і конструктивне забезпечення технології виготовлення трубчастих виробів з профільною поверхнею / Ю. Г. Розов, Д. О. Дмитрієв, С. А. Русанов, Д. Д. Федорчук // *Вісник* Херсонського національного технічного університету. Херсон. ХНТУ. 2020. № 3 (74), С. 38–44.
10. Сєліверстов І.А., Дмитрієв Д.О., Максимів І. Технології виготовлення профільованих виробів методами холодного пластичного деформування. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском». Київ, 2023. С. 121–123.

References

1. Titov V.A., Zlochevska N.K., Kachan O.Ya., Titov A.V., Kondratyuk E.V. (2016) Technological mechanics of safety of plasticity and strength of parts to plastic deformation. Kyiv. : KVIC, 176 p.
2. Titov V.A., Shamarin Yu.Є., Dolmatov A.I., Borisevich V.K., Makovei V.O., Alekseenko V.M. (2010) High-quality methods of metal processing with a vice. Kyiv: KVIC, 304 p.
3. Sheikin S.Y., Grushko O.V., Melnichenko V.V., Studenets S.F., Rostotsky I.Yu., Efrosinin D.V., Melnichenko Ya.V. (2021) About the contact interplay of hard-alloy deforming broaches from the workpiece with shaping grooves in the openings of tubular pipes. Naukovy journal Nadtverdi materials. № 3. pp. 91–101.
4. Chigirinsky V.V., Bergeman G.V. (2002) Theoretical forecasting of the plastic core model in the minds of a folding stressed frame. Technological systems. Dnipropetrovsk: National Metallurgical Academy of Ukraine, plant im. Petrovsky. 2 (13). P. 44.
5. Fedorchuk D. D. (2021) Infusion of plastic deformation onto the microstructure of the material with embossed tubular molds with a profiled inner surface. Kherson, pp. 121–123.
6. Titov V.A. (2002) Actual features of the contact between the tool and the workpiece with a deforming broaching opening / Titov V.A., Yavorovsky V.N., Gerasimov O.V. Technological systems. Kyiv: NTUU "Kyiv Polytechnic Institute". 2 (13). pp. 40–43.
7. Dmitriev D.O. (2003) Safeguarding the quality of processing of pre-fabricated parts to surface plastic deformations of victorious polymeric materials MOTZ: Abstract of the thesis. dis. ... cand. tech. Sciences: 05.02.08. National tech. University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv, P. 22.
8. Computer program "Profile Generator". Certificate of copyright registration for the work No. 100070 / Rozov Y.G., Dmytriev D.O., Rusanov S.A. Publ. 09/20/2020.
9. Rozov U. H. (2020) Modeling and constructive security of technology for the production of tubular parts with a profiled surface / Yu. G. Rozov, D. O. Dmitriev, S. A. Rusanov, D. D. Fedorchuk // Bulletin of the Kherson National Technical University. Kherson. KhNTU. No. 3 (74), P. 38–44.
10. Seliverstov I.A., Dmitriev D.O., Maksimiv I. (2023) Technologies for the preparation of profiling profiles by methods of cold plastic deformation. Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference "Theoretical and practical problems in the processing of materials in a vice". Kyiv, pp. 121–123.

УДК 628.316.12:658.567.5 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.13

К. Є. ХАВІКОВА
аспірант кафедри хімічних та біологічних технологій
Дніпровський державний технічний університет
ORCID: 0000-0002-3276-481X

А. В. ІВАНЧЕНКО
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри хімічних та біологічних технологій
Дніпровський державний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1404-7278

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ КОНТЕЙНЕРІВ *GEOTUBE* НА КОКСОХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

У даній роботі зроблено аналіз небезпечного впливу ароматичних вуглеводнів із фенолвмісних вод коксохімічних заводів. Розглянута актуальність вилучення органічних токсикантів із рідких відходів коксохімічних підприємств при очищенні фенольних стоків, які подаються на башти тушіння коксу. Із-за недостатньої глибини очищення виробничих стоків на механічній стадії біохімічного очищення (БХО), істотна кількість фенольних забруднень потрапляє в атмосферу, а з дощовими опадами до водойм, що становить екологічну загрозу в промислових містах. Надано кількісне співвідношення стічних вод коксохімічних підприємств за джерелами утворення та охарактеризовано осади, які утворюються при переробці рідких відходів на установці біохімічного очищення (УБХО), на прикладі ПРАТ «ДКХЗ», м. Кам'янського. Розроблено екологічно безпечну технологію адсорбційної переробки рідких відходів у флотаційних реакторах, за допомогою якої можливе зниження негативного впливу токсикантів на подальше БХО активним мулом та доведення ГДК токсичних речовин до регламентних значень. Охарактеризовано природний сорбційний матеріал глауконіт, з додаванням регламентної дози флокулянту до фенолвмісних стоків у флотатори, для зниження концентрації полютантів та утворення осадів з подальшим їх видаленням. Запропоновано зменшити вміст води в осадах, що дозволить розширити можливості його утилізації. Надано характеристику осадам, що являють собою суспензію, яка виділяється в процесі механічної, біологічної та фізико-хімічної обробки стічних вод. Надано результати попереднього випробування зневоднення осаду за допомогою геотекстильних контейнерів в лабораторних умовах, початкова волога якого становила – 92%, а після застосування контейнерів Geotube впродовж 10 днів, волога осаду знизилася до 50%. Запропоновано на коксохімічних підприємствах впровадити переробку осадів за допомогою технології геотекстильних контейнерів Geotube. Описано етапи зневоднення за технологією Geotube.: наповнення суспензією шламу; зневоднення; консолідація – сушка отриманого осаду. Надано поетапну ілюстровану інструкцію з укладання геотекстильних контейнерів.

Ключові слова: *коксохімічні стоки, рідкі відходи, фенолвмісні стоки, феноли, глауконіт, геотекстильні контейнери Geotube.*

K. Ye. KHAVIKOVA
Postgraduate Student at the Department of Chemical and Biological Technologies
Dniprovsky State Technical University
ORCID: 0000-0002-3276-481X

A. V. IVANCHENKO
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Chemical and Biological Technologies
Dniprovsky State Technical University
ORCID: 0000-0002-1404-7278

IMPLEMENTATION OF *GEOTUBE* GEOTEXTILE CONTAINER TECHNOLOGY AT COX-CHEMICAL ENTERPRISES

This paper analyzes the dangerous impact of aromatic hydrocarbons from phenol-containing waters of coke plants. The relevance of the extraction of organic toxicants from the liquid waste of coke chemical enterprises during the purification of phenolic effluents, which are fed to coke quenching towers, is considered. Due to the insufficient depth of treatment of industrial effluents at the mechanical stage of biochemical treatment, a significant amount of phenolic pollutants enters the atmosphere, and with rainwater falls into water bodies, which poses an ecological threat in industrial cities. Quantitative ratio of waste waters of coke chemical enterprises by sources of formation is given and sediments formed during processing

of liquid waste at a biochemical treatment plant are characterized, using the example of PJSC «DKHZ», Kamianske. An ecologically safe technology of adsorption processing of liquid waste in flotation reactors has been developed, with the help of which it is possible to reduce the negative impact of toxicants on the subsequent of biochemical treatment by activated sludge and bring the MPC of toxic substances to regulatory values. The natural sorption material glauconite was characterized, with the addition of a regular dose of flocculant to phenol-containing effluents in flotation devices, to reduce the concentration of pollutants and the formation of sediments with their subsequent removal. It is proposed to reduce the water content in the sediments, which will allow to expand the possibilities of its utilization. The characteristics of sediments, which are a suspension that is released in the process of mechanical, biological and physico-chemical treatment of wastewater, are given. The results of a preliminary test of sediment dehydration with the help of geotextile containers in laboratory conditions are presented, the initial moisture content of which was 92%, and after using Geotube containers for 10 days, the sediment moisture content decreased to 50%. It is proposed to implement sediment processing at coke-chemical enterprises using Geotube geotextile container technology. The stages of dewatering using the Geotube technology are described: filling with sludge suspension; dehydration; consolidation – drying of the obtained sediment. Step-by-step illustrated instructions for laying geotextile containers are provided.

Key words: *coke chemical effluents, liquid waste, phenol-containing effluents, phenols, glauconite, Geotube geotextile containers.*

Постановка проблеми

На коксохімічних заводах фенолвмісні стічні води, після цехів уловлювання хімічних продуктів коксування, забруднюються органічними агентами, такими як роданіди, феноли, амоніак, масла, смоли та ін. токсиканти. Фенолвмісні води займають великий обсяг на підприємствах [1, с. 24].

Основна кількість забруднюючих полютантів, що міститься у стоках, використовується для гасіння коксу, при цьому леткі органічні сполуки випаровуються в атмосферу, забруднюючи навколишнє середовище, а з дощовими опадами попадають до водойм [2, с. 28].

У коксохімічний галузі в технологічному процесі очищення стічних вод застосовують механічне та біологічне БХО. УБХО не завжди справляється з токсичними речовинами, які надходять на переробку на механічній стадії, тому навантаження по основному забруднюючому компоненту зростає: на вході в установку концентрація фенолів становить від 800 до 1200 мг/дм^3. Підвищення навантаження, в сукупності з незадовільним станом установки, періодичними залповими викидами, масовою загибеллю симбіозу активного мулу та бактерій, знижує ефективність очищення до необхідних норм на механічній стадії (ГДК фенолів – не більше 415 мг/дм^3) та біологічній стадії (ГДК фенолів – не більше 1 мг/дм^3). В результаті необхідно додаткове розбавлення стоків технічною водою, із підвищенням собівартості очищеної води [2, с. 108; 3, с. 27].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Біологічне окислення забруднюючих фенолвмісних стоків за допомогою симбіозу активного мулу, фенол- та роданруйнуючих мікроорганізмів на УБХО є складним та недостатньо дослідженим процесом [2, с. 108].

Очищення коксохімічних стоків за допомогою сорбентів із природної сировини представляє великий інтерес. Перспективним сорбентом, в якості адсорбційного матеріалу, є природна глина – глауконіт [4, с. 199]. Переваги цього мінералу: дешевизна, широке поширення, доступність, термостійкість,зерниста структура, хороші фільтраційні та іонообмінні властивості, а також можливість шляхом хімічного модифікування змінювати технологічні показники мінералу. Застосування глауконіту дозволяє видалити радіоактивні ізотопи із забруднених вод (на 65–98%), важкі метали Pb^{3+}, Sb^{3+} Cu^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{3+}, (94,8–100%), As^{3+}, Cr^{3+} (33,6–33,8%), очищувати фенолвмісні стоки також від поверхнево-активних речовин, завислих речовин, пестицидів, гербіцидів, фенолів, текстильних барвників тощо [4, с 199; 5, с. 1; 6, с. 705; 7, с. 692].

Відомо про приклади зарубіжних джерел застосування мінеральних глин для очистки води від різноманітних органічних речовин: нафти та нафтопродуктів, фенолів, роданідів, ціанідів і т.п. [1, с. 25; 7 с. 119]. Застосування глауконіту в аеротенках в якості сорбційного носія для сапрофітних бактерій, свідчить про його надвисоку очисну здатність в поєднанні з екологічною безпекою [3, с. 29].

На коксохімічних підприємствах для вилучення полютантів механічним методом застосовують флокуляцію: агрегація колоїдних і дрібнодисперсних частинок в крупні пластівці відбувається в результаті адсорбції макромолекул флокулянта одночасно на декількох частинках. Використання флокулянту дозволяє підвищити швидкість осадження пластівців. Розчин поліакриламіду готується 0,1% концентрації та дозується у флотатори по 30% [3, с. 29]. Переробка утворених осадів з вилученням цінних компонентів, дозволяє здійснювати їх утилізацію [8, с. 62].

Можливість використання глауконітових глин під час БХО, призводить до скорочення термінів запуску об'єктів біологічної переробки в експлуатацію та захищає мікроорганізми активного мулу від впливу шкідливих речовин. В Україні використання глауконіту обмежено такими галузями як медицина, будівництво, сільське господарство тощо, на відміну від країн із розвиненою нафтопереробною промисловістю (Близький Схід, США). Дані про застосування мінеральних глауконітових глин, у процесах очистки рідких відходів коксохімічної промисловості, в українській науковій періодиці відсутні [1, с. 26].

В процесі очищення стічних вод утворюється осад, що містить більше 95% води. Для забезпечення сприятливих умов вивезення шламу, необхідно зменшити вміст води в осаді, що дозволить розширити можливості його утилізації. Осад являє собою суспензію, що виділяється в процесі механічної, біологічної та фізико-хімічної обробки стічних вод [9, с. 971]. При механічному зневодненні осаду використовується спеціальне обладнання: фільтр-преси, шнекові дегідратори і центрифуги різної конструкції. Але механічне зневоднення має ряд недоліків: циклічний режим роботи; знижується витрата доданого осаду протягом циклу; високі експлуатаційні витрати (електроенергія, запчастини, тех. обслуговування); необхідність участі оператора; складність обслуговування системи; підвищені інвестиції.

Зневоднення осадів стічних вод в природних умовах призначене для отримання вологості від 50 до 80%. Зневоднення здійснюється в основному сушінням осадів на мулових майданчиках (рис. 1). Але таких спосіб має низку недоліків: низьку ефективність процесу; дефіцит земельних ділянок у промислових районах; забруднення повітряного середовища.

Перспективність методу зневоднення осаду за допомогою технології Геотуб, полягає в статичному зневодненні, фільтрації рідкої фази осаду через стінки Геотуб-контейнерів з полімерної фільтруючої тканини, які розташовані на спеціально підготовленому дренажному майданчику. Перед подачею в Геотуби, осад обробляється спеціальними добавками: полімерним флокулянтом або коагулянтом – для підвищення ефективності фільтрації; а також стабілізатором, дезінфектантом, спеціальним реагентом для зв'язування солей важких металів (при необхідності).

Формулювання мети дослідження

Запропоновано впровадження ефективної технології геотекстильних контейнерів на коксохімічних підприємствах при переробці осадів, які утворюються на стадії механічного очищення, для зниження антропогенного навантаження на промислові міста та досягнення регламентних норм ГДК полютантів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Кількісне співвідношення стічних вод коксохімічних підприємств, на прикладі *ПРАТ «ДКХЗ»*, м. Кам'янського, за джерелами утворення представлено на рис. 2. З наведених даних видно, що найбільшу кількість стічних вод складають саме фенольні води – 53%.

Рис. 1. Сушка на мулових майданчиках

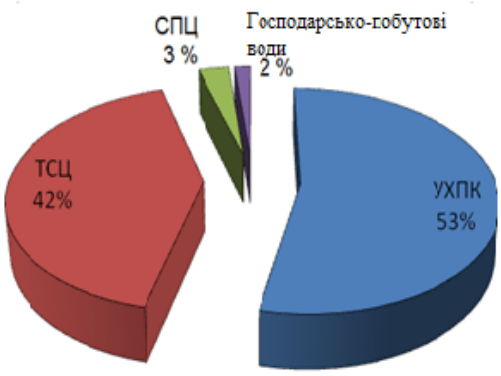


Рис. 2. Кількісне співвідношення стічних вод коксохімічного підприємства за джерелами утворення

Нами було розроблено екологічно безпечну технологію адсорбційної переробки рідких відходів у флотаційних реакторах [8, с. 60], за допомогою якої досягнуто зниження негативного впливу токсикантів на подальше біологічне очищення активним мулом.

На *ПРАТ «ДКХЗ»* в процесі БХО фенолвмісних стоків утворюються два види осадів:

Осад, що містить смоли, масла та завислі речовини, в процесі відстоювання води на стадії механічного очищення;

Осад, що містить активний мул з вторинних відстійників або загиблий мул, що осідає в аеротенках.

Нами було проведено випробування зневоднення осаду за допомогою геотекстильних контейнерів в лабораторних умовах, початкова волога якого становила – 92%. Після застосування контейнерів Geotube впродовж 10 днів, волога осаду знизилася до 50% [8, с. 60].

На рис. 3 зображена ілюстрація впровадження технології геотекстильних контейнерів на підприємстві.

Етапи зневоднення за технологією Geotube зображені на рис. 4, рис. 5: наповнення суспензією шламу; зневоднення: фільтрація вільної води через стінки контейнера, значне зменшення обсягу; консолідація: сушка отриманого осаду, вихід парової води через стінки.

Рис. 3. Ілюстрація технології геотекстильних контейнерів Geotube

Рис. 4. Етапи зневоднення за технологією Geotube

Рис. 5. Етапи наповнення – зневоднення за технологією Geotube

Інструкція з укладки:

1. Вирівнюють ділянки.

2. Укладають водонепроникну геомембрану по всій поверхні полігону, включаючи траншею та берму по периметру.

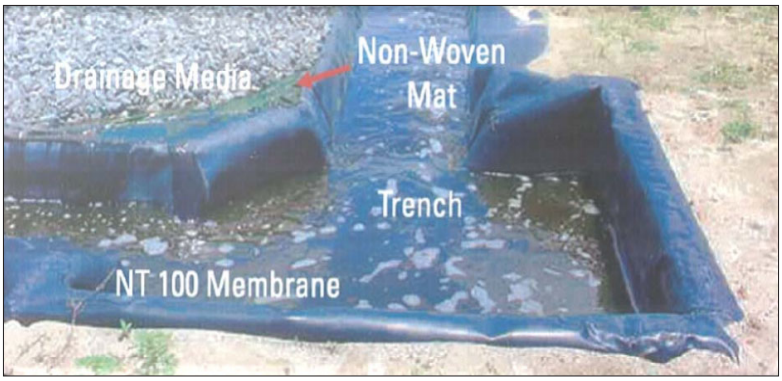


Рис. 6. Ілюстрація укладки водонепроникної геомембрани

3. Укладають дренажний шар із щебеню/гравію або дренажну сітку по всій поверхні полігону, крім траншеї та берми по периметру.

4. Починаючи з верхнього краю полігону, поверх дренажного шару розкочують контейнер Geotube.

Рис. 7. Ілюстрація укладання поверх щебню/гравію контейнерів Geotube

5. Встановлюють вбудовану систему змішування суспензії з реагентами.

6. Завис осаду проганяють через зворотну трубу задля останньої перевірки якості утворення пластівців перед остаточним закачуванням в контейнер Geotube (рис. 8 (1)).

Можливо встановити пристрій розвідної системи напірних труб для розподілу пульпи одночасно в кілька контейнерів або в кожен по черзі (рис. 8 (2)).

1 2

Рис. 8. Вбудована система змішування суспензії із зворотною трубою (1) та пристрій розвідної системи напірних труб (2)

Висновки

Наведено кількісне співвідношення стічних вод коксохімічних підприємств за джерелами утворення та показано, що найбільший об'єм складають саме фенольні води – 53%.

Запропоновано зменшення вмісту води в осадах, що дозволить розширити можливості його утилізації. Надано результати попереднього випробування зневоднення осаду за допомогою геотекстильних контейнерів в лабораторних умовах, початкова волога якого становила – 92%, а після застосування контейнерів Geotube впродовж 10 днів, знизилася до 50%. Задля зменшення антропогенного навантаження на промислові міста, запропоновано впровадження переробки осадів на коксохімічних підприємствах за допомогою технології геотекстильних контейнерів Geotube за такими етапами як наповнення суспензією шламу; зневоднення; консолідація – сушка отриманого осаду. Надано ілюстровану інструкцію з укладання геотекстильних контейнерів.

Список використаної літератури

1. Хавікова К.Є., Іванченко А.В., Макарченко Н.П., Кузьменко В.Ю. Дослідження технології адсорбційного вилучення фенолів та роданідів з рідких відходів коксохімічного виробництва. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського.* 2020. Том 31(70) № 2. С. 24–28. DOI: https://doi.org/10.31319/2519-2884.37.2020.17.

2. Іванченко А.В., Хавікова К.Є. Технологічні аспекти вилучення фенолів та роданідів зі стічних вод коксохімічної промисловості. *Тиждень еколога-2019*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.-практ. конф. Кам'янське: ДДТУ, 2019. С. 106–109.

3. Іванченко А. В., Хавікова К. Є. Комплексне очищення промислових фенольних стічних вод з використанням адсорбентів з природної сировини. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 2. С. 27–34. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-143-2-27-34.

4. Хавікова К.Є., Іванченко А.В. Удосконалення технології очищення стічних вод коксохімічного виробництва із використанням глауконіту. *Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспект*и: зб. матеріалів доп. учасн. VII Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021, 25–26 листопада. С. 199–203.

5. Yakub E., Agarry S. E., Omoruwou F. [et al.] Comparative study of the batch adsorption kinetics and mass transfer in phenol-sand and phenol-clay adsorption systems. *Particulate Science and Technology.* 2019. №. 1. С. 1–11. DOI: https://doi.org/10.1080/02726351.2019.1616862.

6. Mandal A., Dey B.B., Das S.K. Thermodynamics, kinetics, and isotherms for phenol removal from wastewater using red mud. *Water Practice and Technology.* 2020. Т. 15. №. 3. С. 705–722. DOI:https://doi.org/10.2166/wpt.2020.056.

7. Gładysz-Płaska A. Application of modified clay for removal of phenol and PO_4^{3-} ions from aqueous solutions. Adsorption Science Technology. 2017. Т. 35. № 7–8. С. 692–699. DOI: 10.1177/0263617417704774.

8. Хавікова К.Є., Іванченко А.В. Удосконалення технології очищення стічних вод із утилізацією осаду на коксохімічних підприємствах. *Вісник Черкаського державного технологічного університету.* 2021. № 4. С. 54–67. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2021.248361.

9. Хавікова К.Є., Іванченко А.В. Зневоднення шламу коксохімічних підприємств за допомогою технології Геотуб. *Fundamental and applied research in the modern world:* 8th International scientific and practical conference. (March 17–19, 2021) BoScience Publisher, Boston, USA. 2021. С 968–977.

References

1. Khavikova K.Ye., Ivanchenko A.V., Makarchenko N.P., Kuzmenko V.Yu. (2020) Research on the technology of adsorption extraction of phenols and rhodanides from liquid wastes of coke chemical production. *Scientific notes of the Tavri National University named after V. I. Vernadskyi*. Vol. 31(70) № 2. P. 24–28. DOI: https://doi.org/10.31319/2519-2884.37.2020.17. [in Ukrainian].

2. Ivanchenko A.V., Khavikova K. Ye. (2019) Technological aspects of extraction of phenols and rhodanides from waste water of the coke industry. Ecologist Week-2019: coll. additional materials participation International science and practice conf. Kamianske: DDTU, P. 106–109. [in Ukrainian].

3. Ivanchenko A.V., Khavikova K. Ye. (2019) Complex treatment of industrial phenolic wastewater using adsorbents from natural raw materials. *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute.* No. 2. P. 27–34. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-143-2-27-34. [in Ukrainian].

4. Khavikova K. Ye., Ivanchenko A.V. (2021) Improvement of the technology of wastewater treatment of coke chemical production using glauconite. *Clean water. Fundamental, applied and industrial aspects*: coll. additional materials participation VII International science and practice conf. Kyiv: KPI Igor Sikorsky. (November 25–262, 2021). P. 199–203. [in Ukrainian].

5. Yakub E., Agarry S. E., Omoruwou F. [et al.] (2019) Comparative study of the batch adsorption kinetics and mass transfer in phenol-sand and phenol-clay adsorption systems. *Particulate Science and Technology.* №. 1. С. 1–11. DOI:https://doi.org/10.1080/02726351.2019.1616862. [Nigeria].

6. Mandal A., Dey B.B., Das S.K. (2020) Thermodynamics, kinetics, and isotherms for phenol removal from wastewater using red mud. *Water Practice and Technology.* Т. 15. № 3. С. 705–722. DOI: https://doi.org/10.2166/wpt.2020.056. [India].

7. Gładysz-Płaska A. (2017) Application of modified clay for removal of phenol and PO_4^{3-} ions from aqueous solutions. Adsorption Science Technology. T. 35. № 7–8. C. 692–699. DOI: 10.1177/0263617417704774. [Poland].

8. Khavikova K. Ye., Ivanchenko A.V. (2021) Improvement of wastewater treatment technology with sludge disposal at coke chemical enterprises. *Bulletin of the Cherkasy State Technological University.* No 4. P. 54–67. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2021.248361. DOI: 10.24025/2306-4412.4.2021.248361. [in Ukrainian].

9. Khavikova K. Ye., Ivanchenko A.V. (2021) Dewatering of sludge of coke chemical enterprises using Geotube technology. *Fundamental and applied research in the modern world:* 8th International scientific and practical conference. (March 17–19, 2021). BoScience Publisher, Boston, USA. P. 968–977. [in Ukrainian].

УДК 549.6:615.014](045) https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.14

О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри фізичної хімії
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-6191-7096

А. С. МЕЛЬНИК
аспірант кафедри фізичної хімії
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0002-9439-3214

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОСТАБІЛЬНОСТІ ІНКАПСУЛЬОВАНИХ В ГАЛЛУАЗИТІ α-ЛІПОЄВОЇ КИСЛОТИ ТА МОКСИФЛОКСАЦИНУ

У даній роботі досліджено широко використовувані активні фармацевтичні інгредієнти (AFI) – α-ліпоєву кислоту (ALA) та моксифлоксацин (MF). Володіючи широким спектром лікувальних властивостей та антиоксидантною здатністю, ці інгредієнти під час зберігання за впливу денного сонячного світла втрачають свій лікувальний потенціал за рахунок утворення продуктів фотодеградації та зменшення ефективної лікувальної концентрації. Одним із способів підвищення терміну зберігання біодеградабельних інгредієнтів зі збереженням їх лікувальної активності є інкапсуляція в наноносії, серед яких популярним є нетоксичний біологічно безпечний природний мінерал – галлуазит. В роботі відпрацьовано методику інкапсуляції вакуумним методом в галлуазитні нанотрубки (HNTs) активних фармацевтичних інгредієнтів – α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину. Отримано нанокомпозитні матеріали на основі нанотрубок галлуазиту та фармацевтичних інгредієнтів – HNTs-ALA та HNTs- MF. Контроль завантаження здійснено ТЕМ мікроскопією.

Проведено тестування на фотостабільність отриманих нанокомпозитних матеріалів при денній температурі протягом доби. Фотостабільність індивідуальних компонентів в нативному стані досліджено у складі водної дисперсії HNTs та AFI. Контроль зміни концентрації органічних речовин проводили за допомогою високоефективної рідинної хроматографії. Встановлено, що інкапсульовані активні фармацевтичні інгредієнти у складі галлуазитних нанотрубок є більш стійкими, ніж в нативному стані. Фотодеградація фармацевтичних інгредієнтів під впливом квантів сонячного світла відбувається за рахунок руйнування зв'язків в молекулах органічних сполук з утворенням продуктів деградації. Тестуванням встановлено, що інкапсуляція в галлуазитні нанотрубки може захистити α-ліпоєву кислоту (ALA) та моксифлоксацин на рівні 98,5% 99,9% відповідно. В нативному стані після доби випробувань залишковий вміст α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину складає 82,0% та 89,0% відповідно.

Ключові слова: *α-ліпоєва кислота, моксифлоксацин, галлуазитні нанотрубки, інкапсуляція, високоефективна рідинна хроматографія, фотостабільність.*

O. E. CHYHYRYNETS
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Physical Chemistry
National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-6191-7096

A. S. MELNYK
Postgraduate Student at the Department of Physical Chemistry
National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0009-0002-9439-3214

STUDY OF THE PHOTOSTABILITY OF A-LIPOIC ACID AND MOXIFLOXACIN ENCAPSULATED IN HALLOYSITE

In this work, the widely used active pharmaceutical ingredients (AFI) α-lipoic acid (ALA) and moxifloxacin (MF) were investigated. Possessing a wide range of therapeutic properties and antioxidant capacity, these ingredients lose their therapeutic potential during storage under the influence of daylight due to the formation of photodegradation products

and a decrease in the effective therapeutic concentration. One of the ways to increase the shelf life of biodegradable ingredients while preserving their therapeutic activity is encapsulation in a nanocarrier, among which the non-toxic biologically safe natural mineral – halloysite is popular. In the work, the technique of vacuum encapsulation in halloysite nanotubes (HNTs) of active pharmaceutical ingredients – α-lipoic acid and moxifloxacin was developed. Nanocomposite materials based on halloysite nanotubes and pharmaceutical ingredients – HNTs ALA and HNTs-MF were obtained. Loading control was carried out by TEM microscopy.

The photostability of the obtained nanocomposite materials was tested at daytime temperatures during the day. The photostability of individual components in the native state was investigated in the composition of the aqueous dispersion of HNTs and AFI. Control of changes in the concentration of organic substances was carried out using high-performance liquid chromatography. It was established that the encapsulated active pharmaceutical ingredients in the composition of halloysite nanotubes are more stable than in their native state. Photodegradation of pharmaceutical ingredients under the influence of sunlight quanta occurs due to the destruction of bonds in the molecules of organic compounds with the formation of degradation products. Testing has shown that encapsulation in halloysite nanotubes can protect α-lipoic acid (ALA) and moxifloxacin at 98.5% and 99.9%, respectively. In the native state after a day of testing, the residual content of α-lipoic acid and moxifloxacin is 82.0% and 89.0%, respectively.

Key words: *α-lipoic acid, moxifloxacin, halloysite nanotubes, encapsulation, high performance liquid chromatography, photostability.*

Постановка проблеми

Завдяки своїм властивостям α-ліпоєва кислота та моксифлоксацин є дуже широко застосовуваними речовинами в фармацевтичній промисловості. Проте недоліками цих хімічних речовин є їх нестабільність до термічного впливу, окиснення та деградація під впливом денного світла, що значно зменшує їх антиоксидантну ефективність та здатність виконувати інші важливі функції при лікуванні людини.

Одним із шляхів захисту α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину в складі лікувальних засобів є застосування систем доставки або інкапсуляції в різні носії, що стало предметом останніх досліджень широкого кола науковців.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основний розвиток сучасної фармацевтичної індустрії відбувається не тільки в напрямку створення нових лікувальних субстанцій, але і в напрямку підвищення розчинності в біологічних середовищах, захисту відомих лікувальних речовин від негативного впливу зовнішнього середовища, а саме фотодеградації. Останній процес особливо шкідливий для органічних речовин, оскільки під впливом широкого спектра випромінювання в молекулах можливі руйнування деяких зв'язків з подальшим перетворенням в продукти деградації. В результаті фармацевтичний препарат втрачає необхідний лікувальний потенціал.

Ці проблеми багатьох лікувальних речовин сьогодні вирішуються за рахунок їх інкапсуляції. Це допомагає збільшити термін зберігання лікувальних речовин, а також знизити ризики зменшення кількості активної речовини. В якості базових речовин для інкапсуляції використовуються циклодекстрини, тверді ліпідні нановосії, міцели, нанокристали, дендримери тощо. Популярним в останній час є галлуазит – мінерал природнього походження зі структурою у вигляді нанотрубок.

При дослідженні продуктів деградації, способів завантаження до галлуазиту активних фармацевтичних компонентів та дослідженні їх стабільності вагомий внесок було зроблено багатьма закордонними науковцями. Зокрема, вивченням нанотрубок галлуазиту присвячено багато робіт Lorenzo Lisuzzo, Theodore Hueckel, Giuseppe Cavallaro, Stefano Sacanna, Giuseppe Lazzara. Дослідженням інкапсуляції та вивченням фотостабільності активно займаються Tazeen Husain, Muhammad Harris, Shoaib Farrukh, Rafiq Ahmed, Rabia Ismail, Yousuf Sadaf, Farooqi Fahad, Siddiqui Muhammad, Suleman Imtiaz, Madiha Maboos та Sabahat Jabeen.

Важливим аспектом у процесі інкапсуляції залишаються питання контрольованого вивільнення активного лікувального інгредієнта, що включає як прискорення, так і уповільнення процесу потрапляння фармацевтичних інгредієнтів у середовище. Ці наукові розробки лежать в площині різних нанотехнологічних прийомів.

Одним із широко розповсюджених лікувальних інгредієнтів є α-ліпоєва кислота та моксифлоксацин, які є нестійкими до сонячного світла та за його впливу швидко деградують. Вивченням продуктів деградації моксифлоксацину та α-ліпоєвої кислоти присвячено наукові дослідження Iqbal Ahmad, Raheela Bano, Syed Ghulam Musharraf, Sofia Ahmed, Muhammad Ali Sheraz, Qamar ul Arfeen, Muhammad Salman Bhatti та Zufi Shad.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є дослідження процесу деградації α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину шляхом проведення тесту на фотостабільність у нативному стані та у складі нанокомпозиту на основі галлуазиту.

Викладення основного матеріалу дослідження

Однією із відомих транспортних систем доставки є нанотрубки галлуазиту. Це природний матеріал із особливою трубчастою наноструктурою (HNTs) з хімічною формулою Al2Si2O5(OH)4, що робить його недорогою та цінною альтернативою найпоширенішим вуглецевим нанотрубкам. Довжина нанотрубок в основному становить від 200 нм до 2 мкм, їх внутрішній діаметр 15–50 нм, а зовнішній – 50–200 нм [1, с. 71–80].

Слід зазначити, що в нанотрубки галлуазиту можна завантажити негативно заряджені речовини, такі як біологічно активні молекули, антиоксиданти. Завантажені всередині внутрішнього просвіту нанотрубок біологічно активні речовини можуть отримати додатковий захист від зовнішніх факторів [2, с. 3490–3500].

Є відомості з використання галлуазиту для завантаження та контролювання процесу тривалого вивільнення тетрацикліну та нікотинамідаденіндинуклеотиду [3, с. 713]. Процес завантаження в галлуазит було досліджено також для фуросеміду, ніфедипіну, дексаметазону [4, с. 54–59], 5-аміносаліцилової кислоти [5, с. 713–723] та антисептиків [6, с. 215–222].

Одним із досить відомих природних антиоксидантів є α-ліпоєва кислота, яка відома також як тіоктова кислота, 6, 8-дитіоктова кислота або 1, 2-дитіолан-3-пентанова кислота (рис. 1).

Дослідження антиоксидантної здатності α-ліпоєвої кислоти методом використання радикала 2,2-дифеніл-1-пікрилгідразил (DPPH), показало, що мікрокапсуляція в різні полімерні матриці та носії дозволяє майже повністю зберегти її здатність до поглинання вільних радикалів в моделі in vitro. Ці дані підтверджуються численними літературними даними щодо використання і в інших системах колоїдних носіїв [7, с. 227–234].

Завантаження всередину структурних порожнин, створених полімерними носіями, є підходом, який широко практикується для стабілізації нестабільних інгредієнтів. Крім стабілізуючого ефекту, при цьому може контролюватися вивільнення або доставка захоплених інгредієнтів, покращуючи їх біодоступність для людини [8, с. 417–438].

Моксифлоксацин (1-циклопропіл-6-фтор-8-метокси-7-((4aS,7aS)-октагідро-6H-піроло[3,4-b]піридин-6-іл)-4-оксо1,4-дигідро-3 хінолінкарбонова кислота) є синтетичним фторхінолоновим антимікробним засобом широкого спектру дії, який виявляє активність in vitro проти грампозитивних і грамнегативних мікроорганізмів, а також атипових мікроорганізмів і анаеробів [9, с. 23–28, 10, с. 392–395].

Фотодеградація моксифлоксацину (рис. 2) включає кілька шляхів утворення первинних і вторинних продуктів фотодеградації [11, с. 135–138], включаючи: одномолекулярні фотореакції, що протікають через збуджені триплетні стани та бімолекулярні реакції, де збуджений стан молекули лікарського засобу атакує інший лікарський засіб молекулами, що спричиняє перенесення електрона або водню від присутнього фрагмента, що багатий на електрони. Це загальний процес, що призводить до розриву зв'язку N–N, і він більш важливий для третинних амінів і п'ятичленних кілець. Таким чином, фотодеградація може відбуватися в моксифлоксацині, що несе бічний ланцюг 2,8-діазабіцикло[4.1.0]нонану. Вторинні процеси включають деградацію хінолінового кільця [12, с. 10–15, 13, с. 61–67, 14, с. 145–157].

В даній роботі використано вакуумний метод як найбільш широко використовуваний метод завантаження нанотрубок досліджуваною речовиною. Попередньо в роботі протестовано два методи, в першому з яких завантаження відбувається з розчину, де активний фармацевтичний інгредієнт (AFI) знаходиться в надлишку, відповідно досліджень [15, с. 6641–6649], а в другому α-ліпоєва кислота та HNTs змішувалися в у масовому співвідношенні 2:1 [16, с. 713–722, 17, с. 50–55].

За методом 1 в розчин з надлишком AFI, добавляли подрібнений, просіяний та висушений HNTs. До утвореної суспензії подавали вакуум і, після появи бульбашок на поверхні суспензії, які свідчили про те, що з поверхні

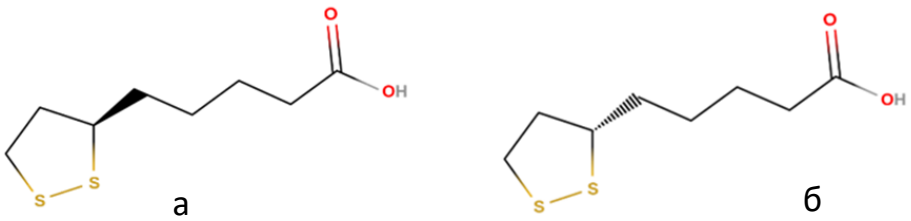


Рис. 1. Структурна формула α-ліпоєвої кислоти у двох формах: а) R-форма, б) S-форма

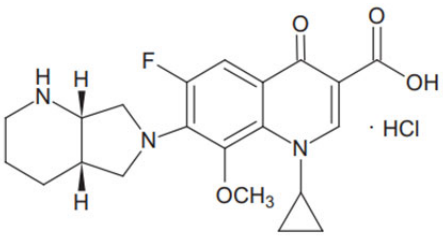


Рис. 2. Структурна формула моксифлоксацину гідрохлориду

галлуазиту та нанотрубок видалялося повітря. Після доведення тиску до атмосферного зайнятий повітрям простір всередині просвіту окремих HNTs заміщувався розчином препарату. Цей процес повторювали принаймні два-три рази, щоб повністю заповнити трубки галлуазиту розчином досліджуваної речовини. Після завершення вакуумного циклу суміш центрифугували, декантували та сушили під вакуумом. За методом 2 отримували суміш розчину та галлуазиту, яка являла собою густу пасту. Подальшу обробку в вакуумі з періодичним поверненням до атмосферного тиску проводили тричі як за першим методом. Тестування обох методів з α-ліпоєвою кислотою та моксифлоксацином показало, що другий метод є більш раціональним та точним, тому що кількість препарату, який додається до HNTs, можна визначити безпосередньо без аналізу нанокомпозиту, що дає змогу більш точно встановити концентрацію досліджуваної речовини в розчині [18, с. 54–61]. Тому всі дослідження по завантаженню зроблено за другим методом.

Процес завантаження в галлуазитні нанотрубки контролювали шляхом проведення ТЕМ-мікроскопії.

Для аналітичного контролю вмісту α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину використали хроматографічний метод аналізу. Для дослідження було обрано обернено фазну рідинну хроматографію. Під час проведення хроматографії оберненої фази гідрофобні речовини, що розчинені в полярному розчиннику, вибірково взаємодіють з нерухомою фазою. Рідка фаза складається із водного буферу, який містить органічний модифікатор, розчинений у воді, і цей модифікатор формує рідку межу розподілу між двома фазами, причому рухома є полярною, а нерухома – гідрофобною. Ліпофільне середовище нерухомої частини хроматографічної системи підбиралось таким чином, щоб притягувати молекули органічного модифікатора для утворення рідкої адсорбційної фази. У якості покриття матриці використали октадецилові групи – С18.

Випробовування на фотостабільність виконано відповідно до Stability testing: photostability testing of new drug substances and products Q1B [19, 27115–27122].

Тест на фотостабільність протягом доби α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину, завантажених до галлуазиту, показав (рис. 3), що галлуазит є хорошим захисним матеріалом від фотодеструкції та може захистити її на рівні 98,5% 99,9% відповідно. Випробування цих інгредієнтів на фотостабільність протягом доби в нативному стані без завантаження в нанотрубки свідчать, що вони деградують із залишковим вмістом 82,0% та 89,0% відповідно.

Рис. 3. Тест на фотостабільність α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину: 1 – ALA; 2 – із завантаженням ALA до HNTs; 3 – MF; 4 – із завантаженням MF до HNTs

Висновки

Дослідження показують, що нанотрубки галлуазиту можна використовувати як ефективні біосумісні нанаконтейнери для збереження та доставки α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину.

Випробування α-ліпоєвої кислоти та моксифлоксацину, завантажених в галлуазит, показали, що ці фармацевтичні інгредієнти мають подовжений період фотостабільності. Після доби тестування збереглося 98,5% α-ліпоєвої кислоти та 99,9% моксифлоксацину, на відміну від нативних субстанцій, які за цей час залишилися неушкодженими лише на 82% та 89% відповідно.

Список використаної літератури

1. Cavallaro, G., Chiappisi, L., Pasbakhsh, P., Gradzielski, M., Lazzara, G. A. Structural comparison of halloysite nanotubes of different origin by small-angle neutron scattering (SANS) and electric birefringence. Appl. Clay Sci. 160. 2018. p. 71–80.

2. Ojo, O.F., Farinmade, A., Trout, J., Omarova, M., He, J., John, V., Blake, D.A., Lvov, Y.M., Zhang, D., Nguyen, D., Bose, A. Stoppers and skins on clay nanotubes help stabilize oil-in-water emulsions and modulate the release of encapsulated surfactants. ACS Appl. Nano Mater. 2, 2019. p. 3490–3500.

3. Price, R.R., Gaber, B.P., Lvov, Y. In vitro release characteristics of tetracyline HCl, khellin and nicotinamide adenine dinucloetide from halloysite; a cylindrical mineral. J Microencapsul. 18, 2001. p. 713.

4. Fakhrullina, G.I., Akhatova, F.S., Lvov, Y.M., Fakhrullin, R.F. Toxicity of halloysite clay nanotubes in vivo: a Caenorhabditis elegans study. Environ. Sci. Nano 2, 2018. p. 54–59.

5. Price, R., Gaber, B., Lvov, Y.M. In-vitro release characteristics of tetracycline, khellin and nicotinamide adenine dinucleotide from halloysite a cylindrical mineral for delivery of biologically active agents. J. Microencapsul. 18, 2001. p. 713–723.

6. Veerabadran, N., Price, R., Lvov, Y.M. Clay nanotubules for drug encapsulation and sustained release. Nano 2, 2007. p. 215–222.

7. Ruktanonchai, U.; Bejrapha, P.; Sakulkhu, U.; Opanasopit, P.; Bunyapraphatsara, N.; Junyaprasert, V.; Puttipipatkhachorn, S. Physicochemical characteristics, cytotoxicity, and antioxidant activity of three lipid nanoparticulate formulations of alpha-lipoic acid. AAPS Pharm. Sci. Tech., 2009, 10, p. 227–234.

8. Dima, S., Dima, C., & Iordăchescu, G. Encapsulation of functional lipophilic food and drug biocomponents. Food Engineering Reviews, 7. 2014. p. 417–438.

9. Eliopulos GM. Activity of newer fluoroquinolones in vitro against gram-positive bacteria. *Drugs.* 1999. p. 23–28.

10. Sharma SK, George N, Kdhiravan T, Saha PK, Mishra HK, Hanif M. Prevalence of extensively drug resistant tuberculosis among patients with multidrug-resistant tuberculosis: a retrospective hospital-based study. *Indian J Med Res.* 2009; p. 392–395.

11. Hidalgo ME, Pessoa C, Fernandez E, Cardenas AM. Comparative determination 232 of photodegradation kinetics of quinolones. *J Photochem Photobiol A Chem.* 1993; p. 135–138.

12. Burhenne J, Ludwig M, Nikoloudis P, Spiteller M. Photolytic degradation of fluoroquinolone carboylic acid in aqueous solution. Part I: primary photoproducts and halflives. *Environ Sci Pollut Res.* 1997. p. 10–15.

13. Burhenne J, Ludwig M, Spiteller M. Photolytic degradation of fluoroquinolone carboylic acid in aqueous solution. Part II: isolation and structural elucidation of polar photometabolities. *Environ Sci Pollut Res.* 1997. p. 61–67.

14. Levis S. & Deasy P. Use of coated microtubular halloysite for the sustained release of diltiazem hydrochloride and propranolol hydrochloride. International Journal of Pharmaceutics, 253. 2003. p. 145–157.

15. Ward C.J., Song S. & Davis E.W. Controlled release of tetracycline–HCl from halloysite–polymer composite films. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 10.2010. p. 6641–6649.

16. Price R., Gaber B. & Lvov Y. In-vitro release characteristics of tetracycline HCl, khellin and nicotinamide adenine dineucleotide from halloysite; a cylindrical mineral. Journal of Microencapsulation, 18. 2001. p. 713–722.

17. Tan D., Yuan P., Annabi-Bergaya F., Liu D.,Wang L., Liu H. & He H. Loading and in vitro release of ibuprofen in tubular halloysite. Applied Clay Science, 96. 2014. p. 50–55.

18. Wang, Q., Zhang, J., Zheng, Y., Wang, A. Alkali activation of halloysite for adsorption and release of ofloxacin. Appl. Surf. Sci. 287. 2013. p. 54–61.

19. ICH Q1B. Photostability testing of new drug substances and products. Fed. Regist. 62. 1997. p. 27115–27122.

References

1. Cavallaro, G., Chiappisi, L., Pasbakhsh, P., Gradzielski, M., Lazzara, G. A. Structural comparison of halloysite nanotubes of different origin by small-angle neutron scattering (SANS) and electric birefringence. Appl. Clay Sci. 160. 2018. p. 71–80.

2. Ojo, O.F., Farinmade, A., Trout, J., Omarova, M., He, J., John, V., Blake, D.A., Lvov, Y.M., Zhang, D., Nguyen, D., Bose, A. Stoppers and skins on clay nanotubes help stabilize oil-in-water emulsions and modulate the release of encapsulated surfactants. ACS Appl. Nano Mater. 2, 2019. p. 3490–3500.

3. Price, R.R., Gaber, B.P., Lvov, Y. In vitro release characteristics of tetracyline HCl, khellin and nicotinamide adenine dinucloetide from halloysite; a cylindrical mineral. J Microencapsul. 18, 2001. p. 713.

4. Fakhrullina, G.I., Akhatova, F.S., Lvov, Y.M., Fakhrullin, R.F. Toxicity of halloysite clay nanotubes in vivo: a Caenorhabditis elegans study. Environ. Sci. Nano 2, 2018. p. 54–59.

5. Price, R., Gaber, B., Lvov, Y.M. In-vitro release characteristics of tetracycline, khellin and nicotinamide adenine dinucleotide from halloysite a cylindrical mineral for delivery of biologically active agents. J. Microencapsul. 18, 2001. p. 713–723.

6. Veerabadran, N., Price, R., Lvov, Y.M. Clay nanotubules for drug encapsulation and sustained release. Nano 2, 2007. p. 215–222.

7. Ruktanonchai, U.; Bejrapha, P.; Sakulkhu, U.; Opanasopit, P.; Bunyapraphatsara, N.; Junyaprasert, V.; Puttipipatkhachorn, S. Physicochemical characteristics, cytotoxicity, and antioxidant activity of three lipid nanoparticulate formulations of alpha-lipoic acid. AAPS Pharm. Sci. Tech., 2009, 10, p. 227–234.

8. Dima, S., Dima, C., & Iordăchescu, G. Encapsulation of functional lipophilic food and drug biocomponents. Food Engineering Reviews, 7. 2014. p. 417–438.

9. Eliopulos GM. Activity of newer fluoroquinolones in vitro against gram-positive bacteria. *Drugs.* 1999. p. 23–28.

10. Sharma SK, George N, Kdhiravan T, Saha PK, Mishra HK, Hanif M. Prevalence of extensively drug resistant tuberculosis among patients with multidrug-resistant tuberculosis: a retrospective hospital-based study. *Indian J Med Res.* 2009; p. 392–395.

11. Hidalgo ME, Pessoa C, Fernandez E, Cardenas AM. Comparative determination 232 of photodegradation kinetics of quinolones. *J Photochem Photobiol A Chem.* 1993; p. 135–138.

12. Burhenne J, Ludwig M, Nikoloudis P, Spiteller M. Photolytic degradation of fluoroquinolone carboylic acid in aqueous solution. Part I: primary photoproducts and halflives. *Environ Sci Pollut Res.* 1997. p. 10–15.

13. Burhenne J, Ludwig M, Spiteller M. Photolytic degradation of fluoroquinolone carboylic acid in aqueous solution. Part II: isolation and structural elucidation of polar photometabolities. *Environ Sci Pollut Res.* 1997. p. 61–67.

14. Levis S. & Deasy P. Use of coated microtubular halloysite for the sustained release of diltiazem hydrochloride and propranolol hydrochloride. International Journal of Pharmaceutics, 253. 2003. p.145–157.

15. Ward C.J., Song S. & Davis E.W. Controlled release of tetracycline–HCl from halloysite–polymer composite films. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 10.2010. p. 6641–6649.

16. Price R., Gaber B. & Lvov Y. In-vitro release characteristics of tetracycline HCl, khellin and nicotinamide adenine dineucleotide from halloysite; a cylindrical mineral. Journal of Microencapsulation, 18. 2001. p. 713–722.

17. Tan D., Yuan P., Annabi-Bergaya F., Liu D.,Wang L., Liu H. & He H. Loading and in vitro release of ibuprofen in tubular halloysite. Applied Clay Science, 96. 2014. p. 50–55.

18. Wang, Q., Zhang, J., Zheng, Y., Wang, A. Alkali activation of halloysite for adsorption and release of ofloxacin. Appl. Surf. Sci. 287. 2013. p. 54–61.

19. ICH Q1B. Photostability testing of new drug substances and products. Fed. Regist. 62. 1997. p. 27115–27122.

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 637.3.07 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.15

Г. А. ЄВЕНКО
студент кафедри хімічних технологій, експертизи
та безпеки харчової продукції
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0007-7141-3776

О. М. КУНИК
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри хімічних технологій, експертизи
та безпеки харчової продукції
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-6291-931X

Т. А. ЮРОВА
старший викладач кафедри хімічних технологій, експертизи
та безпеки харчової продукції
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-8147-7024

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ НАССР ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СИРІВ ТИПУ ФЕТА МЕТОДОМ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ

У статті висвітлено особливості виробництва сиру типу фета методом ультрафільтрації та етапи впровадження системи НАССР під час виробництва сиру.

Під час опрацювання і розроблення плану НАССР для виробництва сиру типу фета використовували положення та рекомендації національних стандартів, гармонізованих з міжнародними ДСТУ 4161:2003 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги», ДСТУ ISO 22000:2007 «Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга», ДСТУ 7996:2015: Сири розсільні. Загальні технічні умови, Рекомендації для малих та середніх підприємств молокопереробної галузі з підготовки та впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на основі концепцій НАССР, Настанову МВ 4.4.5.6.-000-2010 Розробка та запровадження систем управління безпечністю харчових продуктів на основі принципів НАССР.

В результаті проведеного дослідження розроблено блок-схему виробництва розсільного сиру типу фета методом ультрафільтрації, в процесі якої відбувається згущення суміші до необхідного ступеня концентрації сухих речовин, внесення ферменту та солі, швидка коагуляція та подальша упаковка готового продукту.

Проведено аналіз ризиків небезпечних чинників при виробництві розсільного сиру типу фета, в результаті, якого визначено критичну контрольну точку мікробіологічної природи – пастеризація нормалізованої суміші – етап, на якому можна застосувати захід з контролю, та який є обов'язковим для запобігання загрозам безпеки харчового продукту, усунення такої загрози чи зниження її до прийнятного рівня.

Розроблена блок схема виробництва розсільного сиру типу фета методом ультрафільтрації та впровадження принципів НАССР надасть молокопереробним підприємствам ряд переваг: підвищить безпеку та якість готового продукту; підтвердить відповідність продукту нормативній і технічній документації; підвищить довіру споживачів до безпечності сиру.

Ключові слова: *ультрафільтрація, система НАССР, принципи НАССР, небезпечні чинники, блок-схема, критичні контрольні точки, розсільні сири.*

H. A. YEVENKO
Student at the Department of Chemical Technologies,
Expertise and Food Safety
Kherson National Technical University
ORCID: 0009-0007-7141-3776

O. M. KUNYK
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Chemical Technology,
Expertise and Food Safety
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-6291-931X

T. A. YUROVA
Senior Lecturer at the Department of Chemical Technology,
Expertise and Food Safety
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-8147-7024

USE OF PRINCIPLES OF HACCP FOR MANUFACTURE OF FETA-TYPE CHEESE BY ULTRAFILTRATION METOD

The article highlights the peculiarities of feta cheese production by ultrafiltration and the stages of implementation of the HACCP system in cheese production.

During the elaboration and development of the HACCP plan for the production of feta cheese, the provisions and recommendations of national standards harmonised with the international DSTU 4161:2003 "Food safety management systems. Requirements", DSTU ISO 22000:2007 "Food safety management system. Requirements for any food chain organisation", DSTU 7996:2015: Brine cheeses. General technical conditions, Recommendations for small and medium-sized enterprises of the dairy industry on the preparation and implementation of a food safety management system based on HACCP concepts, Guideline MV 4.4.5.6.-000-2010 Development and implementation of food safety management systems based on HACCP principles.

As a result of the study, a flowchart was developed for the production of feta brine cheese by ultrafiltration, which involves thickening the mixture to the required degree of solids concentration, adding enzyme and salt, rapid coagulation and subsequent packaging of the finished product.

A risk analysis of hazardous factors in the production of feta brine cheese has been carried out, which resulted in the identification of a critical control point of microbiological nature – pasteurisation of the normalised mixture – a stage at which control measures can be applied and which is mandatory to prevent food safety threats, eliminate such threats or reduce them to an acceptable level.

The developed flowchart for the production of feta brine cheese by ultrafiltration and the implementation of HACCP principles will provide dairy processing companies with a number of advantages: it will improve the safety and quality of the finished product; confirm the product's compliance with regulatory and technical documentation; and increase consumer confidence in the safety of cheese.

Key words: *ultrafiltration, HACCP system, HACCP principles, hazards, block diagram, critical control points, brine cheeses.*

Постановка проблеми

В організації правильного харчування першорядна роль відводиться молочним продуктам. Це повною мірою стосується і сиру, який має високу харчову і біологічну цінність, збалансований склад основних компонентів та широкий спектр органолептичних властивостей. Останнім часом спостерігається збільшення зацікавленості споживачів до розсільних сирів типу фета, які використовуються не тільки в домогосподарствах, а й у закладах громадського харчування для виготовлення салатів чи окремих страв [1]. Однак користь від сиру можна отримати тільки в тому випадку, якщо він свіжий, виготовлений з натуральної сировини за технологією, яка виключає можливі ризики виникнення небезпечних чинників.

Вирішення проблеми безпечності продуктів харчування потребує комплексного, системного підходу, реалізація якого можлива лише в рамках систем управління якістю. Такою системою управління безпечністю харчових продуктів, яка довела свою ефективність та є прийнятою на міжнародному рівні, є система Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP). HACCP передбачає заходи, що гарантують необхідний рівень показників безпеки продукції у процесі її виробництва, та забезпечує системний підхід до виявлення небезпечних чинників та оцінювання імовірності їх виникнення на усіх етапах виробництва, визначає засоби їх контролю і запобігання випуску небезпечної продукції [2].

Гарантування безпечності та якості продукції особливо важливе при виробництві молочних продуктів, зокрема розсільного сиру типу фета. Тому впровадження системи HACCP на молокопереробних підприємствах набуває особливої актуальності, оскільки, відповідно до переліку харчових продуктів за ступенем обсіменіння мікроорганізмами і частотою випадків харчових отруєнь, що розроблено Всесвітньою організацією охорони здоров'я, молоко і молочні продукти віднесені до І категорії як ті, що найчастіше служать прямим джерелом харчових отруєнь [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вивчення особливостей технології виробництва сирів, вимог до якості та безпечності сировини та готової продукції є однією з найбільш актуальних проблем для виробників, продавців, та, звичайно, споживачів. Цим питанням приділено значну увагу в роботах багатьох вітчизняних дослідників. Так, різні аспекти зазначеної проблеми висвітлюються в роботах І.Г. Власенко, Г.М. Ножечкіна, Г.Є. Поліщук, Г.Б. Рудавської, Н.О. Рябченко, Т.В. Семко та ін. [4, 5]. Основну увагу дослідників зосереджено на підвищенні якості та безпечності продукції з метою забезпечення попиту як на внутрішньому, так і європейському ринку.

Світовий досвід свідчить, що більшість країн Європейського Союзу [6], Сполучені Штати Америки, Канада та Японія вже мають ефективну й багаторівневу систему контролю якості та безпечності харчової продукції [7]. Запровадження концепції якості та безпечності харчової продукції в нашій країні викликано змінами в чинному законодавстві України у зв'язку з його гармонізацію до законодавства Європейського Союзу [8–12]. Проте низка проблемних питань і досі не має остаточного наукового розв'язання. Це стосується передусім аспектів розробки та впровадження системи НАССР при використанні сучасних мембранних процесів при виробництві сирів.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз особливостей виробництва сиру типу фета методом ультрафільтрації та розробка плану НАССР з визначенням небезпечних чинників, критичних контрольних точок виробництва, що буде забезпечувати випуск безпечного та якісного харчового продукту.

Викладення основного матеріалу дослідження

Об'єктом дослідження було обрано розсільний сир типу фета, технологічні операції його виробництва та технологічне обладнання, що застосовується. Під час опрацювання і розроблення плану НАССР для виробництва сиру типу фета згідно з принципами НАССР використовували положення та рекомендації національних стандартів, гармонізованих з міжнародними ДСТУ 4161:2003 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги» [8], ДСТУ ISO 22000:2007 «Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга» [9], ДСТУ 7996:2015: Сири розсільні. Загальні технічні умови [10], Рекомендації для малих та середніх підприємств молокопереробної галузі з підготовки та впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на основі концепцій НАССР [11], Методичні вказівки (Настанова) МВ 4.4.5.6.-000-2010 Розробка та запровадження систем управління безпечністю харчових продуктів на основі принципів НАССР [12].

Для розроблення етапів впровадження системи НАССР було обрано виробництво сиру типу фета методом ультрафільтрації. Мембранні методи розділення середовищ з рідкою фазою, зокрема ультрафільтрація, є найперспективнішими технологіями переробки та підготовки молока. Це пов'язано не тільки з високою якістю та безпечністю продукції, яку можливо отримати за рахунок мембранних технологій, а також з постійним зростанням вартості енергоносіїв. Використання ультрафільтрації у виробництві сиру підвищує вихід готового сиру за рахунок найбільш повного використання білків молока, дозволяє стандартизувати сири по більш низькому співвідношенню білку і жиру, дозволяє регулювати не лише білковий компонент, але і вміст лактози та солей у білковому концентраті, дає можливість здійснювати контроль над масою сиру, скорочує витрати молокозсідальних препаратів (до 60%) і бактеріальної закваски, зменшує час дозрівання сирів та тривалість технологічного процесу, автоматизує процес виробництва, чим збільшує продуктивність устаткування і підвищує якість сиру [13, 14]. Так при виробництві сиру типу фета методом ультрафільтрації витрата молока, як сировини, скорочується з 8,5 до 6,5 кг/кг сиру.

Складання переліку інгредієнтів і матеріалів, які застосовуються при виробництві продуктів харчування, вимагається для застосування першого принципу НАССР (проведення аналізу небезпечних чинників) щодо належної ідентифікації всіх потенційних небезпечних чинників, які можуть виникнути в продукті (табл. 1).

Наступним підготовчим кроком у розробленні плану НАССР є складання блок-схеми (рис. 1), яка має охоплювати всі етапи технологічного процесу, що знаходяться безпосередньо під контролем підприємства.

Технологічний процес виробництва складається з наступних операцій:

– приймання, якісна оцінка та первинна обробка сировини;

– резервування та проміжне зберігання;

Таблиця 1

Перелік інгредієнтів та матеріалів, які використовують в процесі виробництва розсільного сиру типу фета

Перелік інгредієнтів та матеріалів		
1	**2**	**3**
Сировина	Молоко	ДСТУ 2661:2010 «Молоко коров'яче питне. Загальні технічні питання» ДСТУ 3662:2018 «Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови»
Сухі інгредієнти	Закваска чистих культур молочнокислих бактерій FD-DVS FLORA DANICA (Lactococcus lactis subsp. cremoris, Lactococcus lactis subsp. lactis, Leuconostoc mesenteroides ssp. cremoris, Lactococcus lactis subsp. Diacetylactis)	ДСТУ 4457:2005 «Препарати ферментні. Загальні технічні умови»
	Молокозсідальний фермент (ферментативно виготовлений хімозин RENMAX®2100)	
	Сіль кухонна	ДСТУ 3583:2015 «Сіль кухонна. Загальні технічні умови. З поправкою»

Продовження таблиці 1

1	2	3
Пакувальні матеріали	PS короб	ДСТУ 4260:2003 «Тара і пакування споживчі. Маркування. Загальні вимоги»
	Алюмінієва фольга	ДСТУ ГОСТ 745:2004 «Фольга алюмінієва для упаковки. Технічні умови»
	Барвиста етикетка	ДСТУ ISO 14024:2018 «Екологічні етикетки і декларації. Екологічне маркування типу І. Принципи та процедури»
	Картонні коробки	ДСТУ ГОСТ 9142:2019 «Ящики з гофрованого картону. Загальні технічні умови»
Консерванти	–	–
Обмежені інгредієнти	–	–
Інше	Вода	ДСТУ 7525-2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»

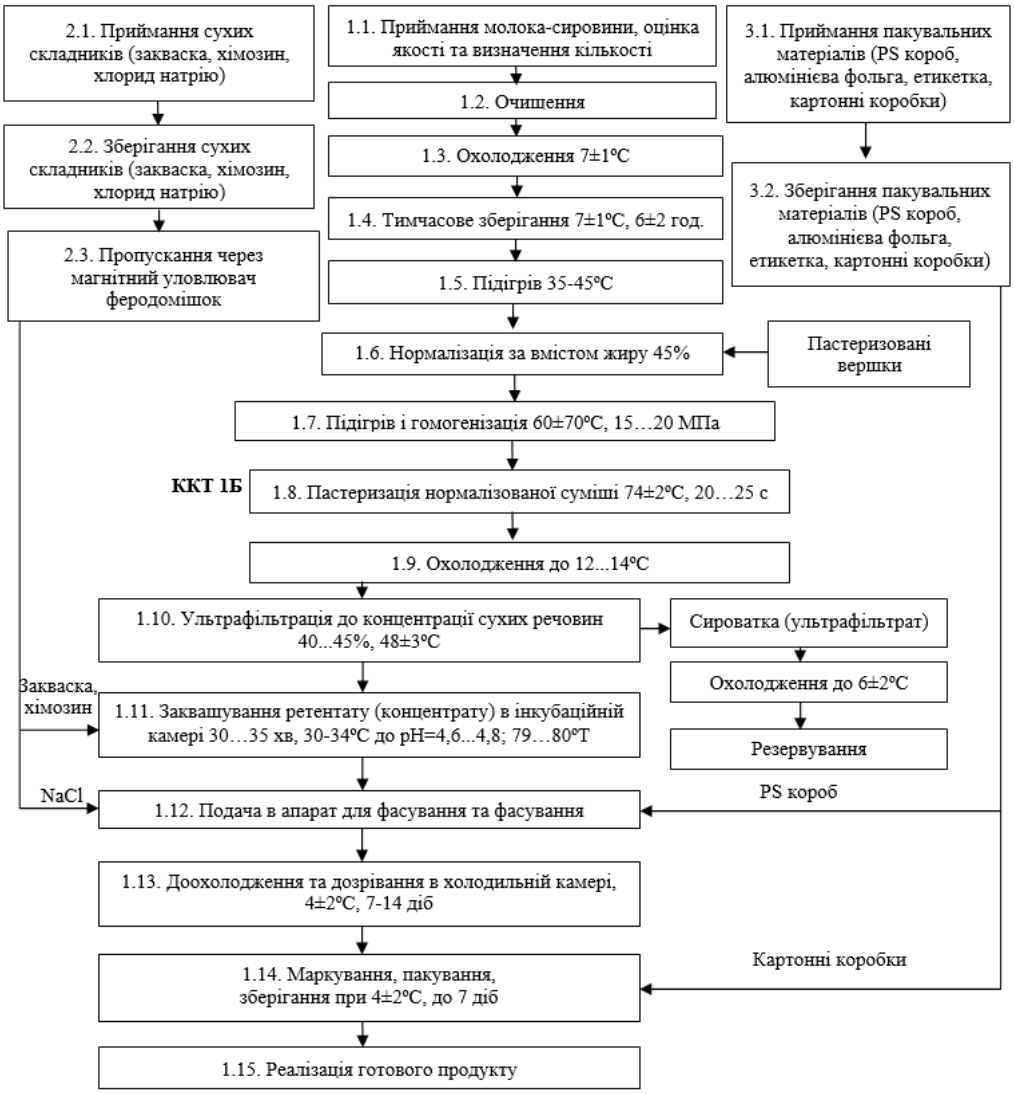


Рис. 1. Блок-схема виробництва розсільного сиру типу фета

– підігрів, ультрафільтрація, проміжне резервування;
– підігрів, гомогенізація, пастеризація та охолодження концентрату;
– фасування та внесення ферменту, закваски та солі до концентрату, пакування, маркування;
– сквашування;
– охолодження, дозрівання, зберігання та реалізація.

На кожному етапі технологічного процесу було визначено потенційно можливі небезпечні чинники мікробіологічної, хімічної та фізичної природи. Аналіз ризиків проводився розрахунковим методом згідно [15].

Для контролю багатьох виявлених ризиків може використовуватися програма-передумова, яка розробляється конкретно для кожного підприємства [16].

Результати аналізу ризиків небезпечних чинників, що виникають при виробництві розсільного сиру типу фета, надано в табл. 2.

Після ідентифікації та групування небезпечних чинників розглядають та визначають критичні точки контролю. Критична контрольна точка визначається як етап, на якому можна застосувати захід з контролю, та який є обов'язковим для запобігання загрозам безпеки харчового продукту, усунення такої загрози чи зниження її до прийнятного рівня. Під час аналізу ризиків, проведеному згідно з Принципом № 1, визначено місця, в яких необхідно запровадити заходи з контролю. Для контролю багатьох виявлених ризиків може використовуватися програма-передумова [16].

Таблиця 2

Аналіз ризиків небезпечних чинників при виробництві розсільного сиру типу фета

Найменування інгредієнтів, матеріалів, етапу виробничого процесу	**Небезпечний чинник**	**Джерело небезпечного чинника**	**Ймовірність виникнення**	**Серйозність шкідливого впливу**	**Значимість небезпечного чинника**	**Необхідність урахування чинника**
Приймання молока-сировини	М	Мікробне обсіменіння (БГКП, патогенні мікроорганізми, в т.ч. сальмонели)	0,2	2	0,4	–
	Х	Інгібітори, токсичні елементи, афлотоксин, антибіотики, залишки бета-лактамних препаратів	0,2	2	0,4	–
	Ф	Наявність механічних домішок	0,1	2	0,2	–
Очищення (фільтрування) молока	М	Вегетативні патогени	0,2	2	0,4	–
	Х	Утворення токсинів, очищувальні та гігієнічні хімікати	0,2	2	0,4	–
	Ф	Наявність механічних домішок	0,1	2	0,2	–
Охолодження та тимчасове зберігання молока	М	Ріст вегетативних патогенів	0,1	3	0,3	–
	Х	Недостатня відмивка інвентарю та обладнання від миючих та дезінфікуючих речовин, тальк із гумових рукавичок	0,1	3	0,3	–
Приймання сухих складників	М	Вегетативні патогени	0,1	2	0,2	–
	Х	Небезпечні речовини	0,1	3	0,3	–
	Ф	Сторонні речовини	0,1	2	0,2	–
Зберігання сухих складників	Х	Забруднюючі речовини	0,1	3	0,3	–
Приймання пакувальних матеріалів	М	Вегетативні патогени	0,1	3	0,3	–
	Х	Забруднюючі речовини	0,1	3	0,3	–
	Ф	Сторонні речовини	0,1	2	0,2	–
Зберігання пакувальних матеріалів	Х	Забруднюючі речовини	0,1	3	0,3	–
Нормалізація молока	М	Вегетативні патогени	0,1	3	0,3	–
Підігрів і гомогенізація	М	Вегетативні патогени	0,1	3	0,3	–
Пастеризація (ККТ 1)	М	Патогенна мікрофлора, БГКП	0,2	3	0,6	+
	Х	Зменшення кислотності, інгібуючі речовини	0,2	2	0,4	–
Охолодження	М	Контамінація мікроорганізмами	0,2	2	0,4	–
Ультрафільтрація	Х	Залишки дезінфікуючих та миючих засобів	0,1	2	0,2	–
Внесення сухих складників та заквашування ретентату (концентрату) в інкубаційній камері	М	Перехресне забруднення, ріст мікроорганізмів	0,1	2	0,2	–
	Х	Залишки дезінфікуючих та миючих засобів	0,1	2	0,2	–
	Ф	Наявність сторонніх механічних домішок	0,1	2	0,2	–
Подача в апарат для фасування та фасування	М	Перехресне забруднення, ріст мікроорганізмів	0,1	3	0,3	–
	Ф	Наявність сторонніх механічних домішок	0,1	2	0,2	–
	Х	Залишки очищувальних та гігієнічних засобів	0,1	2	0,2	–
Доохолодження та дозрівання в холодильній камері	М	Бактеріальне зростання під час дозрівання	0,1	3	0,3	–
Зберігання готового продукту	М	Бактеріальне зростання під час зберігання	0,1	3	0,3	–

Таблиця 3

План НАССР для молокопереробного підприємства по виробництву розсільного сиру типу фета методом ультрафільтрації

Етап/КТК	Небезпечний чинник (ризик)	Критичні межі	Процедури моніторингу				Коригу-вальні дії	Перевірка	Записи (документи)
			Що	Як	Коли	Хто			
Пастеризація молока	Мікробіологічний: виживання патогенних мікроорганізмів при неналежній температурі та часі пастеризації (вегетативні патогенні організми, що не утворюють спори)	Час та температура: 72°С протягом щонайменше 20 с	Температура на виході з трубкового витримувача і швидкість потоку у трубці витримувача в пастеризаторах	Фізико-хімічні вимірювання (термометр)	Постійно у вигляді термограми	Оператор автоматизованої системи керування процесом	Привести в дію засоби ручного визначення відхилень та зберігати окремо всю продукцію, яка задовільно пройшла останню перевірку. Інформувати контролера якості, який буде приймати рішення щодо розміщення продукту. Відобразити дії в документах	Перегляд записів. Перевірка карти пастеризації. Перевірка функціонування обладнання	Записи результатів контролю відхилень продукту від норм. Записи щодо тестування обладнання (повірки). Записи результатів контролю пастеризації
		не більше $1 \cdot 10^5$ КУО/см^3	КМАФАнМ	Мікробіологічні дослідження	Кожна партія	Мікробіолог			

Будь-які ризики, контроль яких не здійснюється за допомогою програм-передумов, мають бути визначені як критичні точки контролю. Ці точки можуть різнитися залежно від аналізу ризиків, підприємства, продукції та методу виробництва. Визначення критичних контрольних точок відбувається за допомогою встановлених питань [17].

Отже, під час аналізу потенційних ризиків на кожному етапі технологічного процесу виробництва розсільного сиру типу фета методом ультрафільтрації встановлено, що критичною контрольною точкою є процес пастеризації нормалізованої суміші.

Слід зазначити, що критичні межі використовують для розмежування безпечних та небезпечних робочих умов на критичній точці контролю. Критичні межі не потрібно плутати з робочим межами, які встановлюються з огляду на інші причини, відмінні від безпосереднього забезпечення безпечності харчових продуктів.

Критичні межі можуть базуватися на таких показниках як температура, час, фізичні розміри, вологість, рівень вологи, активність води (aw), pH, титрована кислотність, концентрація солі, присутність хлору, консерванти, або такі органолептичні показники, як запах та загальний вигляд [11].

Для ідентифікації, ізолювання та оцінки продуктів, коли граничні значення в ККТ перевищуються, мають бути запропоновані відповідні процедури. Для кожної ККТ в рамках системи НАССР необхідно розробити конкретні коригувальні дії, за допомогою яких усуватимуться відхилення, що виникатимуть. До коригувальних дій вдаються, тоді, коли виникає порушення допустимих меж на критичній точці контролю [18].

Підсумкову таблицю плану НАССР для молокопереробного підприємства по виробництву розсільного сиру типу фета методом ультрафільтрації наведено в табл. 3.

Таким чином критичними межами для визначеної критичної контрольної точки є швидкість потоку та температура пастеризації молока. Недотримання вказаних критичних меж (табл. 3) призводить до збільшення кількості КМАФАнМ (більше $1 \cdot 10^5$ КУО/см^3), що є загрозою для безпеки харчового продукту. У якості коригувальних дій проводиться оцінка та визначення призначення продукту (переробка чи утилізація). У випадку переробки (зберігання менше двох годин) пастеризація продовжується до досягнення критеріїв за часом та температурою.

Висновки

1. В результаті проведеного дослідження розроблено блок-схему виробництва розсільного сиру типу фета методом ультрафільтрації, в процесі якої відбувається згущення суміші до необхідного ступеня концентрації сухих речовин, внесення ферменту та солі, швидка коагуляція та подальша упаковка готового продукту. Рівень вмісту білка, жиру та інших компонентів регулюється в автоматичному режимі відповідно до вимог технології виробленого продукту, що дозволяє підвищити якість готової продукції та значно скоротити технологічний процес.

2. Проведено аналіз ризиків небезпечних чинників при виробництві розсільного сиру типу фета, в результаті, якого визначено критичну контрольну точку мікробіологічної природи – пастеризація нормалізованої суміші – етап, на якому можна застосувати захід з контролю, та який є обов'язковим для запобігання загрозам безпеки харчового продукту, усунення такої загрози чи зниження її до прийнятного рівня.

3. Розроблена блок-схема виробництва розсільного сиру типу фета методом ультрафільтрації та впровадження принципів НАССР надасть молокопереробним підприємствам ряд переваг: підвищить безпеку та якість готового продукту; підтвердить відповідність продукту нормативній і технічній документації; підвищить довіру споживачів до безпечності сиру; дасть змогу зменшити собівартість продукту та підвищити прибуток підприємств завдяки зменшенню витрат через виробництво неякісної продукції.

Список використаної літератури

1. Семенда Д.К., Корман І.І., Семенда О.В. Оцінка кон'юнктури та споживчих переваг на ринку сиру України. *Агросвіт*. 2022. № 3. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/3_2022/11.pdf (дата звернення 06.07.2023)

2. Впровадження системи НАССР для операторів ринку харчових продуктів: практичний посібник / за ред. А.С. Ткаченко. Полтава: ПУЕТ, 2020. 137 с.

3. World Health Organization. Dairy Products: веб-сайт. URL: https://apps.who.int/iris/browse?type=mesh&authority=Dairy+Products (дата звернення 06.07.2023).

4. Технологія молока та молочних продуктів з елементами НАССР: навч. посібник / Головко М.П., Власенко І.Г., Головко Т.М., Семко Т.В. Харків: Світ Книг, 2021. 290 с.

5. Ножечкіна Г.М. Вдосконалення технології і розробка нормативної документації на виробництво м'яких сирів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 1. С. 67–71.

6. Food Safety URL: https://food.ec.europa.eu/index_en (дата звернення 06.07.2023).

7. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022 URL: https://www.fao.org/3/cc0639en/cc0639en.pdf (дата звернення 06.07.2023).

8. ДСТУ 4161:2003. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги. [Чинний від 01.07.2003]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 13 с.

9. ДСТУ ISO 22000:2007. Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга (ISO 22000:2005, IDT). [Чинний від 2007.08.01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 30 с.

10. ДСТУ 7996:2015: Сири розсільні. Загальні технічні умови [Текст]. Чинний від 2017-01-01. К.: УкрНДНЦ, 2016. III, 15 с.: табл. (Національний стандарт України).

11. Посібник для малих та середніх підприємств молокопереробної галузі з підготовки та впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на основі концепцій HACCP / Міжнародний інститут безпеки та якості харчових продуктів (IIFSQ). Київ, 2010. 194 с.

12. Настанова МВ 4.4.5.6.-000-2010 Розробка та запровадження систем управління безпечністю харчових продуктів на основі принципів HACCP. К.: МОЗ України, 2010. 34 с.

13. Даниленко В.О., Дейниченко Г.В., Гузенко В.В. Використання процесів ультрафільтрації в технологіях молочних продуктів. *Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання*: Матеріали IX Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/16664/2/VseukrStud_2016v1_Danilenko_V_O-Use_ultrafiltration_206-207.pdf (дата звернення 06.07.2023).

14. Назаренко Ю.В., Кітченко Л.М. Значення мембранних процесів у технології виробництва сирів URL: http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/5036/1/4_%D0%9D%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D0%9A%D1%96%D1%82%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf (дата звернення 06.07.2023).

15. Про затвердження вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (HACCP): наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України №590 від 01.10.2012 р. із змінами від 25.12.2015 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12#Text (дата звернення 06.07.2023).

16. Дзюба Т., Мазур Г. Програми-передумови як загальновизнаний ключовий елемент системи управління безпекою харчових продуктів. *Стандартизація Сертифікація. Якість.* 2012. № 1. С. 50–52.

17. Generic HACCP Model for Meat and Poultry Products with Secondary Inhibitors, not shelf stable URL: http://www.fsis.usda.gov/ index.htm (дата звернення 06.07.2023).

18. Остап'юк С.Д. Коригувальні дії для кожної критичної точки контролю при виробництві молочних продуктів. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2014. № 1(5). С. 29–31.

References

1. Semenda D.K., Korman I.I., Semenda O.V. (2022) Otsinka kon'yunktury ta spozhyvchykh perevah na rynku syru Ukrayiny [Assessment of the situation and consumer preferences on the cheese market of Ukraine]. *Agrosvit*, no. 3, pp. 77–88. doi: 10.32702/2306&6792.2022.3.77 [in Ukrainian].

2. Tkachenko A.S., Basova Y.O., Horyachova O.O. and others (2020) Vprovadzhennya systemy HACCP dlya operatoriv rynku kharchovykh produktiv: praktychnyy posibnyk [Implementation of the HACCP system for food market operators: a practical guide]. Poltava: PUET. [in Ukrainian].

3. World Health Organization. Dairy Products https://apps.who.int/iris/browse?type=mesh&authority=Dairy+Products

4. Golovko M.P., Vlasenko I.G., Golovko T.M., Semko T.V. (2021) Tekhnolohiya moloka ta molochnykh produktiv z elementamy HACCP: navch. posibnyk [Technology of milk and dairy products with elements of HACCP: teaching. manual]. Kharkiv: Svit Knyg. [in Ukrainian].

5. Nozhechkina G. (2010) Vdoskonalennya tekhnolohiyi i rozrobka normatyvnoyi dokumentatsiyi na vyrobnytstvo m″yakykh syriv [Improvement of technology and development of regulatory documentation for the production of soft cheeses]. *Visnyk Poltavs'koyi derzhavnoyi ahrarnoyi akademiyi* [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy], no. 1, pp. 67–71. [in Ukrainian].

6. Food Safety. An official website of the European Union. https://food.ec.europa.eu/index_en

7. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. https://www.fao.org/3/cc0639en/cc0639en.pdf

8. DSTU 4161:2003 (2003). Systemy upravlinnya bezpechnistyu kharchovykh produktiv. Vymohy. [Chynnyy vid 2003-07-01] [DSTU 4161:2003. Food safety management systems. Requirements [Valid from 2003-07-01]. Kyiv: Derzhspozhivstandard of Ukraine. 13 p. [in Ukrainian].

9. DSTU ISO 22000:2007 (2007). Systema upravlinnya bezpechnistyu kharchovykh produktiv. Vymohy do bud′-yakykh orhanizatsiy kharchovoho lantsyuha (ISO 22000:2005, IDT). [Chynnyy vid 2007.08.01] [DSTU ISO 22000:2007. Food safety management system. Requirements for any food chain organizations (ISO 22000:2005, IDT) [Valid from 2007.08.01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2007. 30 p. [in Ukrainian].

10. DSTU 7996:2015 (2016). Syry rozsil′ni. Zahal′ni tekhnichni umovy [Chynnyy vid 2017.01.01] [DSTU 7996:2015: Salted cheeses. General technical conditions [Valid from 2017.01.01]. Kyyiv: UkrNDNC, 2016. [in Ukrainian].

11. Vasilenko G., Dorofeeva A., Golub B., Mironyuk, G. Posibnyk dlya malyh ta serednih pidpryemstv molokopererobnoi galuzi z pidgotovky ta vprovadgennya systemy upravlinnya bezpechnosti harchovyh produktiv na osnovi koncepcii HACCP [A guide for small and medium-sized enterprises of the dairy industry for the preparation and implementation of

food safety management based on HACCP concepts]. Kyyiv: International Institute of Safety and Food Quality (IIFSQ). 194 p. [in Ukrainian].

12. Nastanova MV 4.4.5.6.-000-2010 (2010) Rozrobka ta zaprovadzhennya system upravlinnya bezpechnistyu kharchovykh produktiv na osnovi pryntsypiv HACCP [Methodological Instructions (Manual) MB 4.4.5.6.-000-2010]. Development and implementation of food safety management systems based on HACCP principles. [in Ukrainian].

13. Danylenko V.O. Vykorystannya protsesiv ul′trafil′tratsiyi v tekhnolohiyakh molochnykh produktiv [Use ultrafiltration processes in technologies of dairy products]. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/16664/2/VseukrStud_2016v1_Danilenko_V_O-Use_ultrafiltration_206-207.pdf [in Ukrainian].

14. Nazarenko Y, Kitchenko L. Znachennya membrannykh protsesiv u tekhnolohiyi vyrobnytstva syriv [The importance of membrane processes in cheese production technology]. http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/5036/1/4_%D0%9D%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D0%9A%D1%96%D1%82%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE.pdf

15. Pro zatverdzhennya vymoh shchodo rozrobky, vprovadzhennya ta zastosuvannya postiyno diyuchykh protsedur, zasnovanykh na pryntsypakh Systemy upravlinnya bezpechnistyu kharchovykh produktiv (HACCP): nakaz Ministerstva ahrarnoyi polityky ta prodovol′stva Ukrayiny № 590 vid 01.10.2012 r. iz zminamy vid 25.12.2015. [On the approval of the requirements for the development, implementation and application of permanent procedures based on the principles of the Food Safety Management System (FASSR): order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine No. 590 dated 10.01.2012 as amended from 12.25.2015. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12#Text [in Ukrainian].

16. Dzyuba T., Mazur H. (2012) Prohramy-peredumovy yak zahal′novyznanyy klyuchovyy element systemy upravlinnya bezpekoyu kharchovykh produktiv [Prerequisite programs as a universally recognized key element of the food safety management system]. *Standardization Certification*. *Quality*, no. 1, pp. 50–52. [in Ukrainian].

17. Generic HACCP Model for Meat and Poultry Products with Secondary Inhibitors, not shelf stable. http://www.fsis.usda.gov/ index.htm

18. Ostapjuk S.D. (2014) Koryhuval′ni diyi dlya kozhnoyi krytychnoyi tochky kontrolyu pry vyrobnytstvi molochnykh produktiv [Corrective actions for each critical point of control in the production of dairy products]. *Technology audit and production reserves*, no. 1/5 (15), pp. 29–31. [in Ukrainian].

УДК 544.47:66.09 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.16

С. В. ПИСАРЕНКО
аспірант кафедри фізичної хімії
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
асистент кафедри хімії
Житомирський державний університет імені Івана Франка
ORCID: 0000-0002-5978-487X

О. Е. ЧИГИРИНЕЦЬ
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри фізичної хімії
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-6191-7096

ФОТОКАТАЛІТИЧНА АКТИВНІСТЬ КАЛІЙ ТИТАНАТУ ЩОДО БАРВНИКІВ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЬОГО ТА КОНГО ЧЕРВОНОГО

У роботі досліджено фотокаталітичну активність калій титанату, який одержано методом лужного плавлення ільменіту Іршанського родовища (Україна) у відношенні до різних барвників: метиленового синього, який належить до катіонного типу та конго червоного, який є барвником аніонного типу.

Фотокаталітичні агенти використовуються для розкладання органічних забруднювачів у водному середовищі за допомогою світла. Одним з сучасних та перспективних методів очистки стічних вод є фотокаталітичний розклад барвників. Даний метод фотодеструкції має ряд переваг, до яких належать: висока швидкість та ефективність процесу, просте та дешеве обладнання, невелика маса фотокаталізатора тощо. В роботі використано калій титанат як каталізатор для процесу фотокаталітичної деструкції барвників метиленового синього та конго червоного в розчинах.

Фотокаталіз проведено з використанням УФ-лампи потужністю 40 W (λ = 365–400 нм) при постійному перемішуванні (маса каталізатора – 5 мг, об'єм розчину барвника 20 мл) за температури 293 К. Після досягнення рівноваги каталізатор відділяли від розчину центрифугуванням протягом 5 хвилин за швидкості обертання 1500 об/хв. Концентрацію барвника до та після процесу фотокаталітичної деструкції визначали на спектрофотометрі UV-1200.

Визначено часові та концентраційні залежності процесу фотодеструкції барвників метиленового синього та конго червоного в розчинах поверхнею калій титанату. Ступінь фотокаталітичної деструкції барвників (X, %) розраховано за величинами зміни концентрації до та після опромінення ультрафіолетом розчинів.

Виявлено, що фотокаталітична активність калій титанату залежить від концентрації барвника в розчині та часу опромінення. Встановлено, що при 10 хвилинному опроміненні ультрафіолетом реакційної суміші каталізатор-розчин за постійного перемішування при максимальній концентрації метиленового синього 10 мг/л ступінь фотокаталітичної деструкції барвника становить 81,91%.

Показано, що на фотокаталітичну деструкцію конго червного калій титанат не впливає в порівнянні з метиленовим синім, що може бути пояснено різною будовою молекул барвників.

Ключові слова: *калій титанат, фотокаталіз, метиленовий синій, конго червоний, ільменіт.*

S. V. PYSARENKO
Postgraduate Student at the Department of Physical Chemistry
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Assistant Professor at the Department of Chemistry
Zhytomyr Ivan Franko State University
ORCID: 0000-0002-5978-487X

O. E. CHYHYRYNETS
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Physical Chemistry
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-6191-7096

PHOTOCATALYTIC ACTIVITY OF POTASSIUM TITANATE REGARDING TO METHYLENE BLUE AND CONGO RED DYES

The article deals with the photocatalytic activity of potassium titanate obtained by the alkaline melting method of Ilmenite of Irshansk deposit (Ukraine) regarding different dyes: methylene blue, which belongs to the cationic type, and Congo red, which is an anionic dye.

Photocatalytic agents are used to degrade organic pollutants in aqueous environments using light. Photocatalytic degradation of dyes is one of the modern and promising methods for wastewater treatment. This method of photocatalytic dye degradation offers several advantages, including high speed and process efficiency, simple and inexpensive equipment, and a small mass of photocatalyst, among others. In this study, potassium titanate was used as a catalyst for the photocatalytic degradation process of methylene blue and Congo red dyes in solutions.

The photocatalysis was conducted using a 40 W UV lamp (λ = 365–400 nm) with constant stirring (catalyst mass – 5 mg, dye solution volume – 20 ml) at a temperature of 293 K. After reaching equilibrium, the catalyst was separated from the solution by centrifugation at a rotation speed of 1500 rpm for 5 minutes. The dye concentration before and after the photocatalytic degradation process was determined using a UV-1200 spectrophotometer.

The article analyzes and defines the time and concentration dependencies of the photocatalytic degradation process of methylene blue and Congo red dyes on the surface of potassium titanate. The degree of dye photocatalytic degradation (X,%) was calculated based on the changes in concentration before and after ultraviolet irradiation of the solutions.

This research describes that the photocatalytic activity of potassium titanate depends on the dye concentration in the solution and the irradiation time. It was established that with a 10-minute ultraviolet irradiation of the catalyst-solution reaction mixture under constant stirring, at the maximum concentration of methylene blue (10 mg/L), the degree of dye photocatalytic degradation was 81.91%.

The paper shows that potassium titanate has no significant effect on the photocatalytic degradation of Congo red compared to methylene blue, which can be explained by the different molecular structures of the dyes.

Key words: *potassium titanate, photocatalysis, Methylene Blue, Congo Red, ilmenite.*

Постановка проблеми

Метиленовий синій та конго червоний є широко використовуваними синтетичними барвниками, що застосовуються в текстильній, фармацевтичній та харчовій промисловості. Вони можуть потрапляти у водні джерела внаслідок відходів виробництва, неконтрольованого скиду та інших джерел [1].

Як відомо, дані барвники є потенційно небезпечними для здоров'я людини та навколишнього середовища, оскільки вони мають високу стійкість та низьку біологічну деструкцію. У разі потрапляння до водних систем вони можуть спричиняти забруднення води, перешкоджати фотосинтезу водних організмів, а також викликати токсичні ефекти на тварин та людей [1, 2].

Фотокаталітична деструкція є одним зі способів очищення водойм від органічних забруднень, в тому числі, барвників. Суть процесу фотокаталізу полягає в тому, що під дією джерела світла поверхня каталізатора активується, що сприяє розкладанню органічних речовин на менш шкідливі продукти [3–6].

На процеси фотодеструкції вливають як природа фотокаталізатора, так і природа барвників, а також природа та час опромінення.

Перш за все, ефективність фотокаталітичного процесу може бути обмежена через низьку світлочутливість барвників або недостатню кількість доступного світла в системі. Деякі фотокаталізатори можуть бути неактивними або неефективними в діапазоні видимого світла, що обмежує їх застосування для деструкції таких барвників.

Крім того, стійкість фотокаталізаторів до деградації та забруднення може стати проблемою. В процесі фотокаталітичної реакції фотокаталізатори можуть піддаватися фізичним і хімічним змінам, що знижують їх ефективність і продуктивність з часом. Також існує ймовірність утворення в процесі фотокаталізу стійких побічних продуктів, які можуть бути токсичними самі по собі.

Наступною проблемою є видалення залишків фотокаталізаторів з води після процесу деструкції, оскільки їх нагромадження може мати негативний вплив на якість води та екологічну безпеку. Ефективна методика вилучення цих залишків з води є важливою для досягнення повної очистки.

Таким чином, проблема фотокаталітичної деструкції барвників, зокрема, метиленового синього та конго червоного, полягає в розробці фотокаталізаторів, які будуть стійкими, світлочутливими та ефективними для розкладання даних барвників.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Фотокаталітична деструкція метиленового синього та конго червоного з водних розчинів є актуальним об'єктом багатьох досліджень. Деякі з них фокусувалися на створенні нових фотокаталізаторів з метою покращення ефективності деструкції, таких як: модифіковані наночастинки титану, олова, срібла; оксиди цинку, ванадію та титану; магніточутливі матеріали та інші [3, 6, 7].

Авторами вивчено вплив різних параметрів, таких як pH середовища, концентрація барвників, інтенсивність світла, тип та доза фотокаталізатора на ефективність деструкції [1–4]. Оптимізація цих параметрів дозволяє досягти кращих результатів у видаленні метиленового синього та конго червоного.

Досліджено використання комбінованих систем, таких як фотокаталізатори в поєднанні з іншими процесами, наприклад, активованим вугіллям, ультразвуком або електрохімічною оксидацією, для поліпшення деструкції цих барвників [3, 7, 8].

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є оцінка здатності синтезованого калій титанату, методом лужного плавлення з ільменіту Іршанського родовища (Україна) до фотокаталітичної деструкції в розчинах барвників катіонного (метиленового синього) та аніонного (конго червоного) типів.

Викладення основного матеріалу дослідження

З метою дослідження фотокаталітичних процесів деструкції метиленового синього та конго червоного синтезовано калій титанат за методикою, описаною в [9]. Суть методу полягає в сплавлянні ільменіту Іршанського родовища (Україна) з калій гідроксидом згідно стехіометрії реакції:

$$4FeTiO_3 + 8KOH + O_2 \xrightarrow{T,453K} 4K_2TiO_3 + 2Fe_2O_3 + 4H_2O$$

Також попередньо розраховано основні термодинамічні умови проходження даного процесу, які зазначені в [10].

Одержаний сплав очищали від непрореагованих домішок та побічних продуктів реакції методом осадження в етанолі.

Зразок K_2TiO_3 досліджено за допомогою дифрактометра DRON-3M (Kα (Cu), λ = 0,1540 *nm*). На рис. 1 зображено дифрактограму калій титанату.

Для ідентифікації структури калій титанату використано програмне забезпечення «MATCH!3». Встановлено, що основні рефлекси K_2TiO_3, знаходяться в діапазоні 29–34° кутів 2θ та вказують на орторомбічну структуру кристалів.

Методом СЕМ досліджено морфологію частинок калій титанату. Як видно з рис. 2, кристаліти калій титанату мають форму близьку до орторомбічної, що також підтверджено методом рентгенівської дифракції.

Для вивчення фотокаталітичної активності K_2TiO_3 готували серію водних розчинів барвників метиленового синього та конго червоного в діапазоні концентрацій 2–10 мг/л. Фотокаталіз проводили з використанням УФ-лампи потужністю 40 W (λ = 365–400 нм) при постійному перемішуванні (маса каталізатора – 5 мг, об'єм розчину барвника 20 мл). Після досягнення рівноваги каталізатор відділяли від розчину центрифугуванням протягом 5 хвилин за швидкості обертання 1500 об/хв. Концентрацію барвника до та після фотокалізу встановлювали на спектрофотометрі UV-1200.

Дослідження фотокаталітичної активності проведено з використанням установки, що схематично зображена на рис. 3.

Ступінь фотокаталітичної деструкції барвника (X, %) визначали за формулою:

$$X = \frac{(C_0 - C_p)}{C_0} \cdot 100\%$$

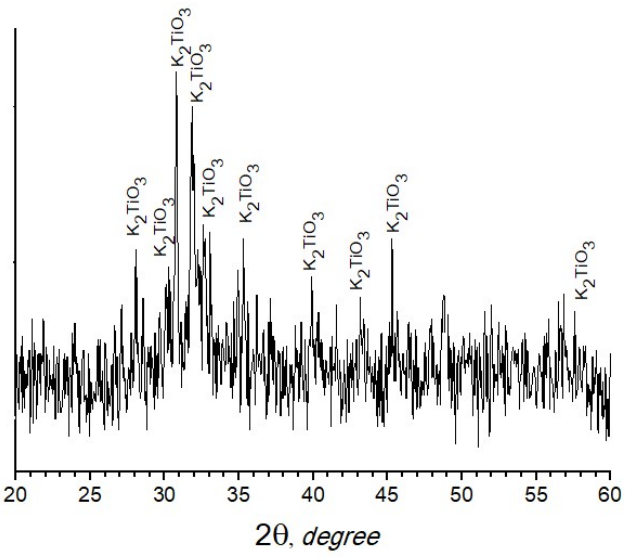


Рис. 1. Дифрактограма очищеного K_2TiO_3

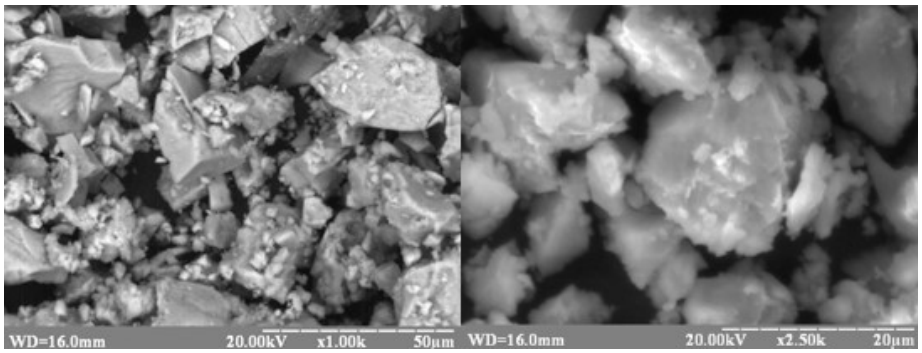


Рис. 2. СЕМ зображення зразків калій титанату

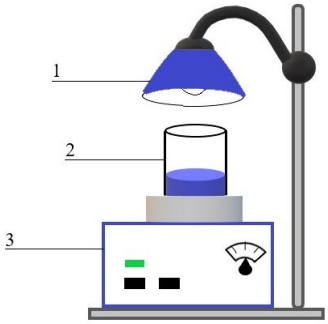


Рис. 3. Схема установки для дослідження фотокаталітичної деструкції барвників: 1 – штатив з УФ-лампою; 2 – склянка з розчином барвника та калій титанатом; 3 – магнітна мішалка

де C_0 – початкова концентрація барвника, мг/л; C_p – рівноважна концентрація після фотокаталізу, мг/л.

З метою дослідження фотокаталітичної активності калій титанату деструкцію розчинів барвників різної концентрації проведено в статичному режимі при дії ультрафіолетового випромінювання протягом 10 хвилин з температури 293 К. До 20 мл розчину барвника з концентраціями в діапазоні від 2 до 10 мг/л додавали 5 мг фотокаталітичного агента.

На рис. 4 зображено залежність ступеня фотокаталітичної деструкції барвників залежно від концентрації.

Встановлено, що за 10 хвилинного опромінення ультрафіолетом реакційної суміші каталізатор-розчин (C_0 = 10 мг/л, m (K_2TiO_3) = 5 мг) ступінь фотокаталітичної деструкції метиленового синього становить 80,11%, проте для барвника конго червоного ця величина не перевищує 0,1%. Що може бути пов'язано з різним впливом поверхні калій титанату в процесі фотокаталітичної деструкції на катіонні та аніонні барвники.

Для визначення оптимального часу процесу фотокаталізу побудовано залежність ступеня фотокаталітичної деструкції барвників від часу контакту реагентів (рис. 5).

Як видно з рис. 5, максимальний ступінь деструкції метиленового синього досягається за перші 8–10 хвилин контакту розчину барвника (C_0 = 10 мг/л, m (K_2TiO_3) = 5 мг) з поверхнею K_2TiO_3. Подальше збільшення часу контакту між реагентами суттєво не впливає на зростання ступеня фотодеструкції в процесі фотокаталізу. Протягом всього часу вимірювання в розчині конго червоного фотодеструкції практично не спостерігалося.

Висновки

У роботі одержано калій титанат методом лужного плавлення ільменіту Іршанського родовища (Україна) та доведено його структуру методами скануючої електронної мікроскопії та рентгенівської дифракції.

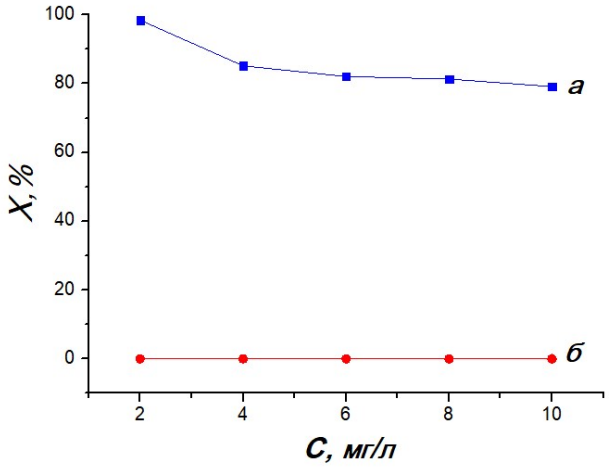


Рис. 4. Залежність ступеня фотокаталітичної деструкції метиленового синього (а) та конго червоного (б) від концентрації барвників в розчині

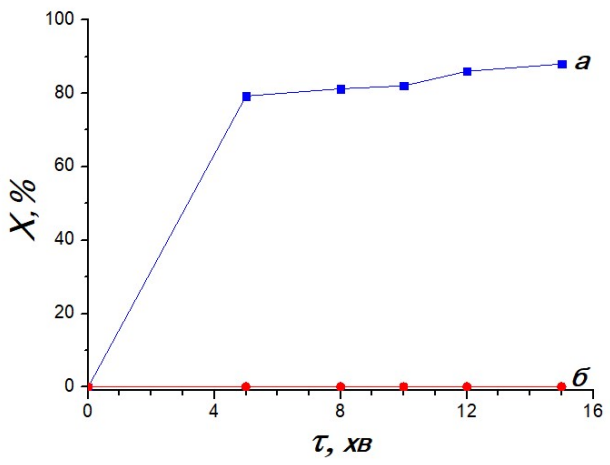


Рис. 5. Залежність ступеня фотокаталітичної деструкції метиленового синього (а) та конго червоного (б) від часу контакту реагентів

Досліджено фотокаталітичну активність калій титанату щодо барвників метиленового синього та конго червоного.

Виявлено, що фотокаталітична активність калій титанату залежить від концентрації барвника в розчині та часу опромінення. Встановлено, що при 10 хвилинному опроміненні ультрафіолетом реакційної суміші каталізатор-розчин за постійного перемішування при максимальній концентрації метиленового синього 10 мг/л ступінь фотокаталітичної деструкції барвника становить 81,91% проте для барвника конго червоного за таких самих умов ця величина не перевищує 0,1%.

Показано, що на фотокаталітичну деструкцію конго червного калій титанат не впливає в порівнянні з метиленовим синім, що може бути пояснено різною будовою молекул барвників.

Встановлено, що максимальний ступінь деструкції метиленового синього досягається за перші 8–10 хвилин контакту розчину з поверхнею калій титанату. Подальше збільшення часу контакту між реагентами суттєво не впливає на зростання ступеня фотодеструкції в процесі фотокаталізу. Протягом всього часу вимірювання в розчині конго червоного фотодеструкції практично не спостерігалося.

Експериментальні дані свідчать про перспективність використання калій титанату в якості фотокаталізатора розкладу катіонного барвника метиленового синього в порівнянні з аніонним барвником конго червоним.

Список використаної літератури

1. Tichapondwa, S., Newman, J., Kubheka O. Effect of TiO_2 phase on the photocatalytic degradation of methylene blue dye. Physics and Chemistry of the Earth 118, (2020). DOI: 10.1016/j.pce.2020.102900

2. Adnan, M., Julkapli, N., Amir, M., Maamor, A. Effect on different TiO_2 photocatalyst supports on photodecolorization of synthetic dyes: a review. Int.J. Environ. Sci. Technol. 16, (2019). DOI: 10.1007/s13762-018-1857-x

3. Al-Mamun M., Kader S., Islam M., Khan M. Photocatalytic activity improvement and application of UV- TiO_2 photocatalysis in textile wastewater treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering 7, (2019). DOI: 10.1016/j.jece.2019.103248

4. Pysarenko, S., Kaminskyi O., Chyhyrynets O., Denysiuk R., Chernenko V. Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 62. No. 15. P. 7754–7758. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.05.476

5. Wang, H., Zhang, L., Chen, Z., Hu, J., Li, S., Wang, Z., Liu, J., Wang, X. Semiconductor heterojunction photocatalysts: Design, construction, and photocatalytic performances, Chem. Soc. Rev. 2014. No. 43. P. 5234–5244. DOI: 10.1039/C4CS00126E

6. Zhu, S., Wang, D. Photocatalysis: basic principles, diverse forms of implementations and emerging scientific opportunities. Advanced Energy Materials. 2017. Vol. 7. No. 23. P. 1700841–1700841. DOI: 10.1002/aenm.201700841

7. Миронюк І. Ф. Фотокаталітична деградація Конго Червоного в присутності Fe-допованого TiO_2 / І. Ф. Миронюк, Н. В. Данилюк, Т. Р. Татарчук, І. М. Микитин, В. О. Коцюбинський // Фізика і хімія твердого тіла. 2021. Т. 22. № 4. С. 697–710.

8. Іваненко І. М. Композитний адсорбент-фотокаталізатор на основі активованого вугілля і титану (IV) оксиду / Ю. Є. Кезікова., А. А. Кух, С. Д. Нагаєвська. // Екологічні науки. 2019. №3(26). С. 138–142.

9. Писаренко С.В. Лужне вилуговування титану з ільменіту Іршанського родовища / В.Ю. Черненко, О.Е. Чигиринець, О.М. Камінський, М.О. Мироняк. // Питання хімії та хімічної технології. 2021. № 6. С. 51–56. DOI: 10.32434/0321-4095-2021-139-6-51-56

10. Писаренко С.В. Термодинаміка процесу вилуговування лейкоксенізованого ільменіту / О.М. Камінський, О.Е. Чигиринець, В.Ю. Черненко, М.О. Мироняк, В.В. Швалагін. // Питання хімії та хімічної технології. 2022. № 6. С. 83–87. DOI: 10.32434/0321-4095-2022-140-1-83-87

References

1. Tichapondwa, S., Newman, J., Kubheka O. 2020. Effect of TiO_2 phase on the photocatalytic degradation of methylene blue dye. Physics and Chemistry of the Earth 118 DOI: 10.1016/j.pce.2020.102900

2. Adnan, M., Julkapli, N., Amir, M., Maamor, A. 2019. Effect on different TiO_2 photocatalyst supports on photodecolorization of synthetic dyes: a review. Int.J. Environ. Sci. Technol. 16 DOI: 10.1007/s13762-018-1857-x

3. Al-Mamun M., Kader S., Islam M., Khan M. 2019. Photocatalytic activity improvement and application of UV- TiO_2 photocatalysis in textile wastewater treatment. Journal of Environmental Chemical Engineering 7. DOI: 10.1016/j.jece.2019.103248

4. Pysarenko, S., Kaminskyi O., Chyhyrynets O., Denysiuk R., Chernenko V. 2022. Photocatalytic destruction and adsorptive processes of methylene blue by potassium titanate. Materials Today: Proceedings. Vol. 62. No. 15. P. 7754–7758. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.05.476

5. Wang, H., Zhang, L., Chen, Z., Hu, J., Li, S., Wang, Z., Liu, J., Wang, X. 2014. Semiconductor heterojunction photocatalysts: Design, construction, and photocatalytic performances, Chem. Soc. Rev. No. 43. P. 5234–5244. DOI: 10.1039/C4CS00126E

6. Zhu, S., Wang, D. 2017. Photocatalysis: basic principles, diverse forms of implementations and emerging scientific opportunities. Advanced Energy Materials. Vol. 7. No. 23. P. 1700841–1700841. DOI: 10.1002/aenm.201700841

7. Myroniuk I. F., Danyliuk N. V., Tatarchuk T. R., Mykytyn I. M., Kotsiubynskyi V. O. 2021. Fotokatalitychna dehradatsiia Konho Chervonoho v prysutnosti Fe-dopovanoho TiO_2 [Fizyka i khimiia tverdoho tila]. T. 22. № 4. S. 697–710. (in Ukrainian)

8. Ivanenko I. M., Kezikova Yu. Ye., Kukh A. A., Nahaievska S. D. 2019. Kompozytnyi adsorbent-fotokatalizator na osnovi aktyvovanoho vuhillia i tytanu (IV) oksydu [Ekolohichni nauky]. № 3(26). S. 138–142. (in Ukrainian)

9. Pysarenko S.V., Chernenko V.Iu., Chyhyrynets O.E., Kaminskyi O.M., Myroniak M.O. 2021. Luzhne vyluhovuvannia tytanu z ilmenitu Irshanskoho rodovyshcha [Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii]. № 6. S. 51–56 DOI: 10.32434/0321-4095-2021-139-6-51-56 (in Ukrainian)

10. Pysarenko S.V., Kaminskyi O.M., Chyhyrynets O.E., Chernenko V.Iu., Myroniak M.O., Shvalahin V.V. 2022. Termodynamika protsesu vyluhovuvannia leikoksenizovanoho ilmenitu [Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii]. № 6. S. 83–87. DOI: 10.32434/0321-4095-2022-140-1-83-87(in Ukrainian)

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

UDC 519.86 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.17

T. P. BILOUSOVA
Senior Lecturer at the Department of Management and Information Technologies
Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID: 0000-0002-6982-8960

SIMULATION MODELING OF MARKET EQUILIBRIUM

There are many factors in the market that influence its behavior: tastes and preferences of consumers, interests of consumers and sellers, competition, market monopolization, legislation in the country, seasonal changes. Some are random in nature. It is impossible to take everything into account. The market of one product is considered from the point of view of the seller who sells it. At the same time, three cases are possible: a shortage of goods, a surplus of goods and an equilibrium state. A model was built, the purpose of which is to determine the optimal volume of purchases, which provides the seller with the greatest profit. Delivery delays and market inertia are also taken into account. An approach such as simulation modeling is used for market research. Application of the simulation model is of great importance for the analysis of economic phenomena. This provides advantages compared to performing experiments on a real system and using other methods. Analyzed Walras-Marshall models and web-like model. In the Walras-Marshall model, market value depends on supply and demand, that is, on the needs and funds of buyers, on the one hand, and on the labor and costs of producers, on the other. The dynamic model determines the change of market factors over time. All variables are functions of time. In the spider-like model, the volume of supply reacts to price changes with some delay. Then the analysis of the model is complicated. The amount of demand is determined by the prices of the current period, and the amount of supply is determined by the prices of the previous period, that is, the required amount of goods arrives late. Solving the task of finding optimal purchase volumes, a market model without a supply line is considered. The demand function is assumed to be constant. Delayed deliveries are taken into account. The price is determined by the market, that is, for a fixed volume of goods, the market price is set, it is this price that provides the greatest profit. By changing purchasing strategies and order volumes, you can choose the optimal strategy in such a way as to determine the optimal supply line. Market inertia means that the price is constant over a short period of time. Certain limits limit the trader from significantly increasing or decreasing the price.

Key words: *dynamical system, demand function, offer function, optimization, simulation modeling.*

Т. П. БІЛОУСОВА
старший викладач кафедри менеджменту та інформаційних технологій
Херсонський державний аграрно-економічний університет
ORCID: 0000-0002-6982-8960

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РИНКОВОЇ РІВНОВАГИ

На ринку є безліч чинників , які впливають на його поведінку: смаки та вподобання споживачів, інтереси споживачів та продавців, конкуренція, монополізація ринку, законодавство у країні, сезонні зміни. Деякі мають випадковий характер. Все врахувати неможливо. Розглянено ринок одного товару із погляду продавця, який його реалізує. При цьому можливі три випадки: дефіцит товару, надлишок товару та рівноважний стан. Побудована модель, ціль якої: визначення оптимального обсягу закупівель, що забезпечує продавцю найбільший прибуток. Також враховано запізнення постачання та інерційність ринку. Для дослідження ринку застосовано такий підхід, як імітаційне моделювання. Застосування імітаційної моделі має велике значення для аналізу економічних явищ. Це дає переваги у порівнянні з виконанням експериментів над реальною системою та використанням інших методів. Проаналізовані моделі Вальраса-Маршалла та павутиноподібна модель. У моделі Вальраса-Маршалла ринкова вартість залежить від попиту та пропозиції, тобто, від потреб і коштів покупців, з одного боку, та від праці і витрат виробників, з іншого. Динамічна модель визначає зміну ринкових чинників у часі. Усі змінні є функціями часу. У павутиноподібній моделі обсяг пропозиції реагує на зміни цін із деяким запізненням. Тоді аналіз моделі ускладнюється. Розмір попиту визначається цінами поточного періоду, а величина пропозиції визначається цінами попереднього періоду, тобто необхідний обсяг товару надходить із запізненням. Вирішуючи завдання пошуку оптимальних обсягів закупівель, розглядається ринкова модель без лінії пропозиції. Функція попиту вважається незмінною. Враховується запізнення поставок. Ціну визначає ринок, тобто за фіксованого обсягу товарів встановлюється ринкова ціна, саме вона забезпечує найбільший прибуток. Змінюючи стратегії закупівель та обсяги замовлень, можна підібрати оптимальну стратегію таким чином, щоб визначити оптимальну лінію пропозиції. Інерційність ринку означає, що у невеликому проміжку часу ціна постійна. Певні рамки обмежують торговця від значного підвищення чи зниження ціни.

Ключові слова: *динамічна система, функція попиту, функція пропозиції, оптимізація, імітаційне моделювання.*

Analysis of recent research and publications

The problem of building a market model, modeling and forecasting its development is one of the most important problems of the economy in connection with Ukraine's transition to market relations. Most of the market models were built according to the principle of establishing a competitive equilibrium, the existence of which was declared in the work of Walras [1]. Mathematical substantiation of the Walras hypothesis was carried out in the 1950s in the works of Arrow-Debre [2], McKenzie, Gale, Nikaido. Further work was carried out on the improvement of models and their generalization. These studies are considered quite fully in the monographs of Morishima, Nikaido, Lancaster and other modern authors. Most of these works analyzed the balance of aggregate supply and demand (Market equilibrium) [3, 4]. These market models established a balance between supply and demand, but could not be a market model, since, firstly, there was no competition between both producers and consumers in them, and secondly, the purposefulness of the actions of market participants was not reflected (producers and consumers), which is the basis of competition. The market model should reflect not only the balance between supply and demand, but also the purposefulness of each market participant, taking into account their overall relationship. A vector (multi-criteria) problem of mathematical programming [5] is such a mathematical model that, along with the balance sheet, can reflect the purposefulness of each market participant. To solve this problem, the methods of solving the vector problem, based on the normalization of criteria and the principle of guaranteed result, have been developed [6, 7].

Formulation of the goals of the article

Study of the effect on the dynamics of the product price of random fluctuations in demand, the position of the demand line, the purchase price of the product, the strategy of ordering the product. Statistical assessment of the seller's profit at a fixed price of the product and the strategy of ordering the product. Determination of the optimal price and order strategy taking into account the delay. Practical implementation of a mathematical model that simulates the market of one product, taking into account random fluctuations and delays, which allows you to estimate the profit of the seller, as well as to find the price of the product and the volume of purchases that provide the seller with the greatest profit.

Presenting main material

1. *Description of the modeling algorithm.* A program was used that simulated processes in the market and displaying the results in the form of graphs. The parameters of the model can be changed: the presence or absence of delay and random fluctuations. Using such a model, you can test various purchasing strategies and get visual results, explore the influence of deterministic and random factors on the process of selling goods. Modeled quantities: the number of goods in stock, the volume of purchases, demand, supply, profit, the amount of resources. Variables used in the program: penalty function coefficient, delay, quantity of goods in stock, volume of purchases, supply value, demand value, sale price, purchase price, profit, order payment, storage payment, time (discrete),time interval, average maximum profit, average profit, optimal purchase search boundaries, constant purchase value, optimal purchase. Sale of goods at the current moment at the market price, in accordance with the demand equation:

$$Qd(t) = Qd_0(t) + \xi(t) \tag{1}$$

and formulas:

$$Qs(t) = \begin{cases} Q(t) + Qz(t-\tau), & Qd(t) \geq Q(t) + Qz(t-\tau) \\ Qd(t), & Qd(t) < Q(t) + Qz(t-\tau) \end{cases} \tag{2}$$

$$Q(t+1) = \begin{cases} 0, & Qd(t) \geq Q(t) + Qz(t-\tau) \\ Q(t) + Qz(t-\tau) - Qd(t), & Qd(t) < Q(t) + Qz(t-\tau) \end{cases} \tag{3}$$

$$Q(t) \geq Qd(t), \quad Qz(t) = 0 \tag{4}$$

When finding the value of demand, a random variable is added — ξ(t). This value is generated by matlab. The program calculates the values of variables $Qs(t)$, $Qd(t)$, $J(t)$ – simulated values of demand, supply, profit and other simulated values.

$$J(t) = Qs(t) \cdot P(t) - Qz(t-\tau) \cdot P_1 - Q(t) \cdot P_2 + F(t) \tag{5}$$

Profit as a function of price, with a fixed supply volume, taking into account the penalty function with the coefficient alf. The result of the function is taken with a "minus" sign, and when searching for an extremum, the function is examined for a minimum. This is done so that when investigating a function, it is possible to use MATLAB computational functions that allow you to search only for minimum points. $Qz(t)$ – profit as a function of purchase volume. Determining the market price at each step, we sell goods, estimate the profit, thus determining what profit we will receive in the future, depending on the volume of purchases at the moment. We establish this dependence in order to search for the optimal purchase volume. Due to the action of random factors, the actual profit value will differ from the value estimated by this function. Due to fluctuations in demand, unsold goods may remain, or vice versa, there may not be enough of them, which means lost profits. The result of the function for the reason described above is taken with a negative sign. Modeling the processes

of purchasing and selling goods with a delay is implemented as follows. We set the initial quantity of goods $Q_{sk}(1)$, time interval t. During the entire time interval, we first receive supplies of goods, then we sell goods, then we set the volume of the next purchase of goods. Delivery of goods: to the number of goods in the warehouse, we add the volume of goods ordered on τ earlier. While $t < \tau$ the seller does not receive any deliveries, he only sells the initial quantity of goods. The greater the delay in deliveries, the more goods must be installed at the initial moment in order to make a profit. However, it is assumed that the initial amount has little effect on further profit or average profit over a long time interval. When $t > \tau$, the seller receives shipments and the quantity of goods offered is the sum of the balance in the warehouse and the volume of shipments received. The sale of goods is carried out in accordance with the demand model with random fluctuations, the values are calculated by formulas (2), (3) . If the volume of demand is greater than the volume of supply, then all goods are sold out, the number of goods sold is equal to the volume of supply. If the volume of demand is less than the volume of supply, then the quantity of goods sold is equal to the difference between the supply and demand. Profit is calculated according to the formula (4). Then we set the volume of purchase of goods. The purchase price is considered constant. The volume of purchases can be set based on various considerations, thus realizing various strategies.

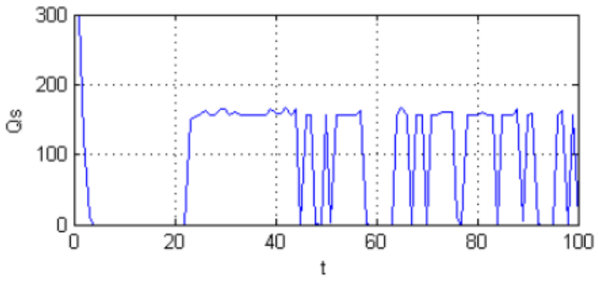
2 Simulation results. Search for the optimal supply strategy. The created model was applied to the problem of finding the optimal supply strategy. For the study and analysis of the market model, the line of demand for oranges was taken.

$Q_d(t) = 360 - 3 \cdot P(t) + \xi(t)$.Various strategies for delivering goods to the market are considered. First, the supply strategy was considered, which determines the optimal value at each point in time. Finding this value is done as a search for the extremum of the function $Qz(t)$, which estimates the future profit. Modeling this strategy showed the following results: Model parameters: $Q_d(t) = 360 - 3 \cdot P(t)$, $Q_{sk}(1) = 300$ – initial quantity of goods; $\tau = 20$ – lag; $alf = 2$ – penalty function coefficient; T=100 – time interval.

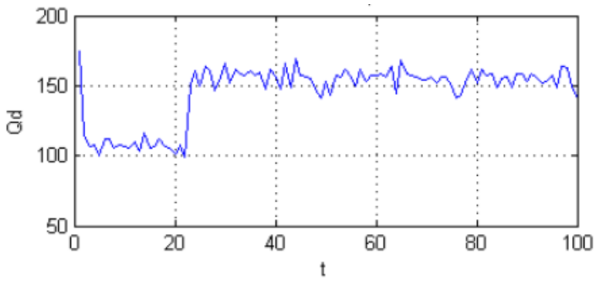
A large delay $\tau = 20$ led to a shortage of goods in the initial period. Then the ordered goods arrived, but there was no overstocking. On the purchase schedule, you can see that the amount of purchases has remained the same, but purchases have become more rare, more than zero purchases. The shortage of goods in the initial period caused the price to rise rapidly and remain at that value until supplies were delivered. At a high price, demand decreased, and increased only after its decrease. Then the price began to fluctuate around a constant value. Purchases either increased or decreased. The number of unsold goods was insignificant and arose only due to random fluctuations in demand. After the deficit was eliminated, supply and demand were about the same, except for zero intervals. Due to condition (4), some deliveries were zero, but lagged behind the appearance of unsold balances. This led to the fact that the number of goods offered and the profit were equal to 0.

Thus, the initial quantity of goods was insufficient. But then the strategy of determining purchases led to finding optimal purchases that provide more profit.

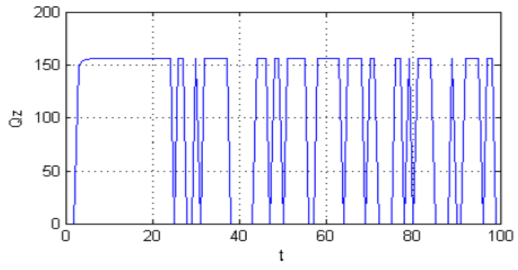
Another purchasing strategy implemented with the model is constant supply. Let us determine the optimal constant supply empirically. Before determining it, you need to evaluate the upper and lower bounds of the search. Consider the following situations: 1) Market overstocking: $Qz(t) = 300$, but subject to condition (4).



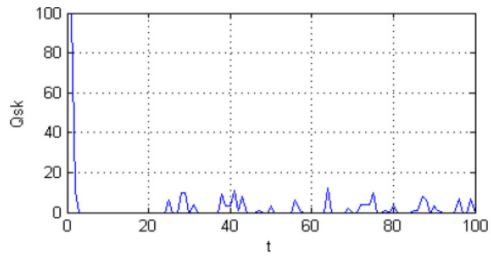
Rice 1. Schedule for changing the offer



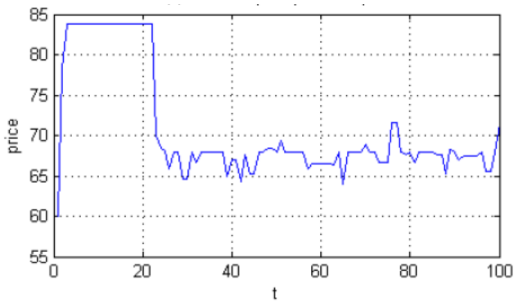
Rice 2. Graph of change in demand



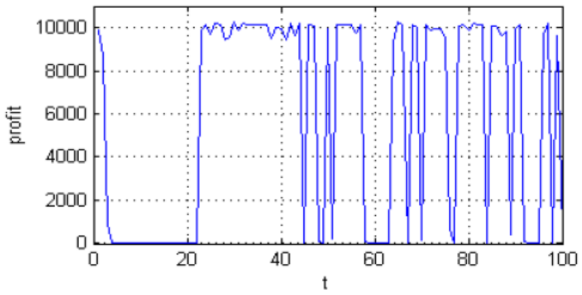
Rice 3. Schedule of purchases



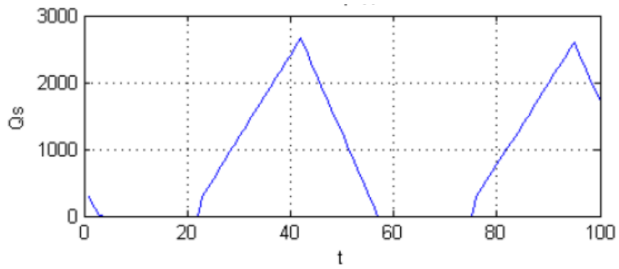
Rice 4. Schedule of unsold balances of goods



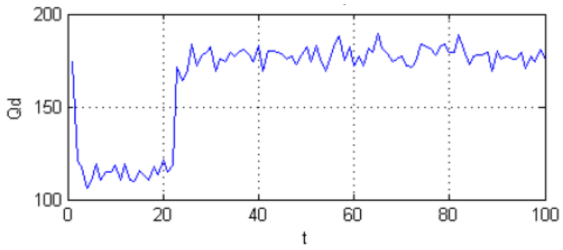
Rice. 5. Graph of price changes



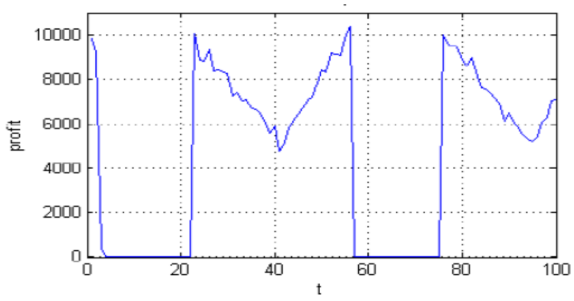
Rice 6. Graph of profit change



Rice 7. Schedule of changes in supply when overstocked



Rice 8. Graph of change in demand during overstocking

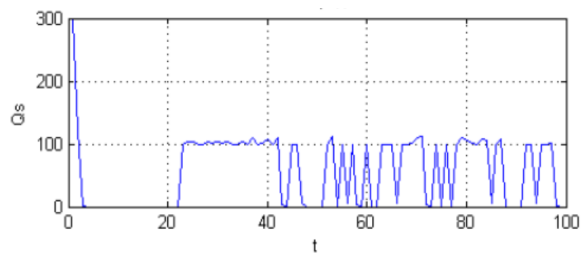


Rice 9. Graph of profit when overstocked

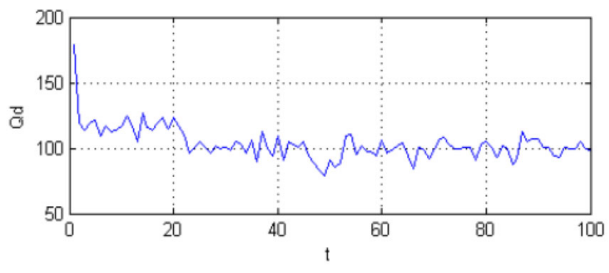
The price changes similarly to the previous situation, so the chart is not shown. Purchases: either $Q_{sk}(t) = 300$ or $Q_{sk}(t) = 0$. In this case, the supply of goods significantly exceeds the demand, which leads to the accumulation of unnecessary volumes of goods. Obviously, this leads to unnecessary storage costs. With a surplus of goods, profit is reduced by 2 times.

2) Shortage of goods on the market: $Q_{sk}(t) = 100$.

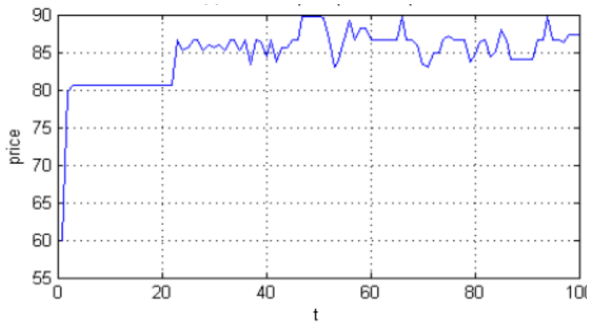
In conditions of scarcity, the price rises, because of this, demand falls. Profit falls from the initial point in time and then keeps at a lower level. Thus, with a constant value of supply equal to 300, there was an excess of goods, with a constant value of supply equal to 100, there was a shortage of goods. Next, we determine the empirically optimal amount of supplies. It turned out to be 175. By setting the supply equal to this value, taking into account condition (4), we obtain the following results.



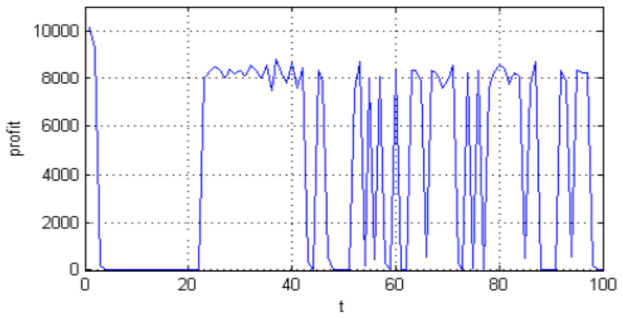
Rice 10. Supply schedule with a shortage of goods



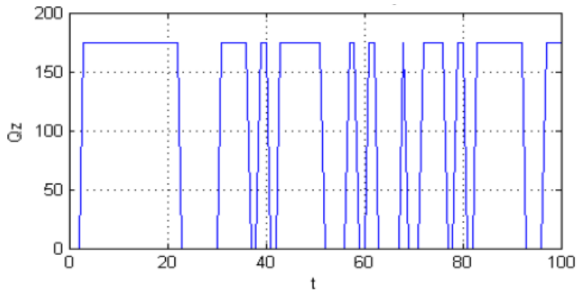
Rice 11. Demand schedule with a shortage of goods



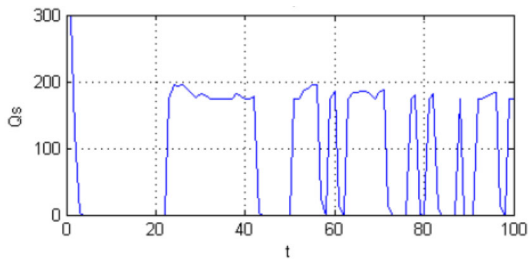
Rice 12. Price chart with a shortage of goods

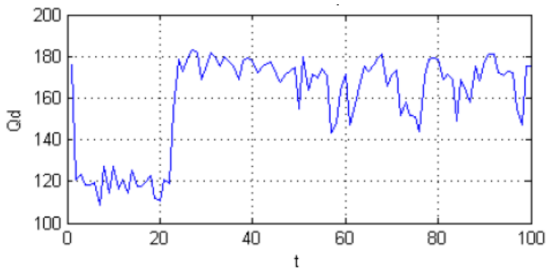


Rice 13. Graph of profit with a shortage of goods

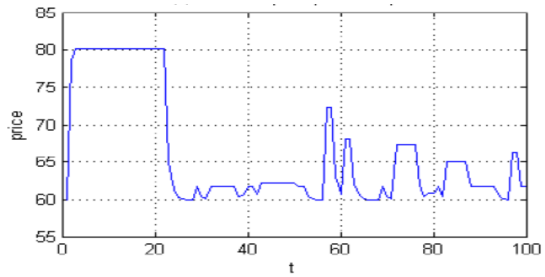


Rice 14. Graph of purchases at a constant value of purchases

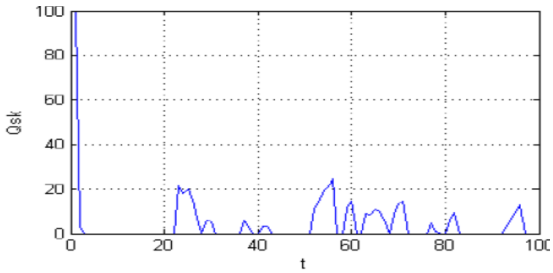




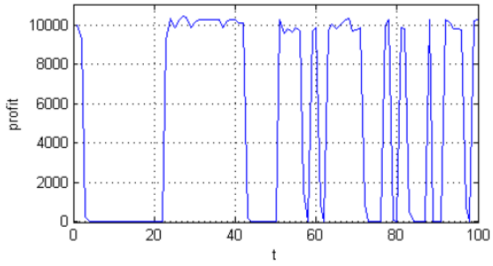
Rice. 15. Graphs of supply and demand for a constant supply of 175



Rice 16. Price chart at a constant supply value of 175



Rice 17. Graph of product balances at a constant value of purchases equal to 175



Rice 18. Graph of profit at a constant value of purchases equal to 175

Conclusions

The optimal strategy involves not only finding the supply that leads to the greatest profit, but also the fulfillment of other important conditions. The quantity of offered goods, which is the sum of the balance of goods and the supply of goods, depends on the prices of the previous period and should correspond as much as possible to the demand in currently. The price dynamics is not profitable for the trader, because this reduces his profit, so the price of the goods must be stable.

Bibliography

1. Walras L. Elements d'Economie Politique Pure. *Revue de Théologie et de Philosophie et Compte-rendu des Principales Publications Scientifiques*. 1874. Vol. 7. P. 628–632. URL: https://www.jstor.org/stable/44346456?seq =1#metadata_info_tab_contents

2. Arrow K. J., Debreu G. Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*. 1954. Vol. 22. Issue 3. P. 265–290.

3. Козак Ю. Г., Мацкул В. М. Математичні методи та моделі для магістрів з економіки. Практичні застосування: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2017. 254 с.

4. Білоусова Т. П., Лі В. Е. Математичне моделювання рівноваги функцій попиту та пропозиції. *Сучасна молодь в світі інформаційних технологій: матеріали II Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. молодих вчених та здобувачів вищої освіти, присвяченої Дню науки* (м. Херсон, 14 травня 2021 р.). Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2021. С. 152–155.

5. Дебела І. М. Економіко-математичне моделювання: навч. посіб. Херсон: 2011. 348 с.

6. Білоусова, Т. П. Математична модель оптимального ринку. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. Херсон, 2021. № 8. С. 70–75.

7. Білоусова, Т. П. Математична модель оптимального ринку одного товару. Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка. Херсон, 2021. № 9. С. 101–108.

References

1. Walras L. (1874) Elements d'Economie Politique Pure. Revue de Théologie et de Philosophie et Compte-rendu des Principales Publications Scientifiques. 7, 628–632. Retrieved from https://www.jstor.org/stable/44346456?seq=1#metadata_info_tab_contents

2. Arrow K. J., Debreu G. (1954) Existence of an equilibrium for a competitive economy. *Econometrica*. 22, 3, 265–290.

3. Kozak Yu. H. Matskul V. M. (2017) Matematychni metody ta modeli dlia mahistriv z ekonomiky. Praktychni zastosuvannia: Navch. posib. [Mathematical Methods and Models for Masters in Economics. Practical Applications: a textbook]. K.: Tsentr uchbovoi literatury.

4. Bilousova T. P., Li V. E. (2021) Matematychne modeliuvannia rivnovahy funktsii popytu ta propozytsii. [Mathematical Modeling of the Balance of Supply and Demand Functions]. *Suchasna molod v sviti informatsiinykh tekhnolohii: materialy II Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. molodykh vchenykh ta zdobuvachiv vyshchoi osvity, prysviachenoi Dniu nauky* (Kherson, 14 May, 2021). Kherson: Knyzhkove vydavnytstvo FOP Vyshemyrskyi V. S. pp. 152–155.

5. Debela I. M. (2011) Ekonomiko-matematychne modeliuvannia: navchalnyi posibnyk. [Economic and Mathematical Modeling: a textbook]. Kherson: Khersonska miska drukarnia. (in Ukrainian)

6. Bilousova T. P. (2021) Matematychna model optymalnoho rynku. [Mathematical model of the optimal market]. *Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics*, vol. 8, pp. 70–75.

7. Bilousova T. P. (2021) Matematychna model optymalnoho rynku odnoho tovaru. [Mathematical model of the optimal market of jne goods]. *Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics*, vol. 9, pp. 101–108.

УДК 004.042 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.18

Н. І. БОЙКО
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри систем штучного інтелекту
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0000-0002-6962-9363

В. Ю. МИХАЙЛИШИН
асистент кафедри систем штучного інтелекту
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0000-0003-1889-9053

АЛГОРИТМ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТОВОГО КОНТЕНТУ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕМОЦІЙНОГО ТОНУ

В роботі наведено результати досліджень та порівняння результатів застосування наївного класифікатора Баєса з використанням простих словесних ознак та векторних моделей слів. Було проаналізовано методи та середовище дослідження, визначились з набором вхідних даних. Було проведено тренування класифікатора на обраному датасеті та оцінка його точності за допомогою функції classify.accuracy з бібліотеки nltk. Також протестовано класифікатор на власному тексті та визначали правильність класифікації. Було побудовано гістограму, яка наглядно показала кількість правильно класифікованих позитивних та негативних прикладів. Була виведена confusion matrix, яка дозволила оцінити точність класифікації для кожного класу. В експериментальній частині використовувалась векторна модель слів Word2Vec з бібліотеки gensim. Проводилось тренування класифікатора та оцінювалася його точність. Здійснено значне покращення точності в порівнянні зі спрощеним підходом. В роботі обговорювались питання використання векторних моделей слів для покращення результатів класифікації тексту. Вони дозволяють краще урахувати семантику та контекст тексту, що призводить до більш точних результатів. Проаналізовано, що точність класифікації залежить від датасету, особливостей текстів та використаних методів обробки даних. В дослідженні наведений оптимальний вибір методів та підхід до класифікації, які повинні враховувати конкретну задачу та контекст застосування. В роботі розглядалися векторні моделі слів, та використання більш складних моделей класифікації. Наводились фактори, що впливають на емоційний стан тексту. Було проведено оптимізацію параметрів моделей для досягнення кращих результатів. Було підтверджено в результаті проведених експериментів, ефективність наївного класифікатора Баєса та векторних моделей слів у задачі класифікації емоційного стану тексту.

Ключові слова: *алгоритм, емоційний тон, контент, класифікація, соціальна мережа.*

N. I. BOYKO
Candidate of Economical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Artificial Intelligence
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-6962-9363

V. YU. MYKHAILYSHYN
Assistant at the Department of Artificial Intelligence
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-0060-2381

ALGORITHM FOR CLASSIFICATION OF TEXT CONTENT OF SOCIAL NETWORKS FOR DETERMINING EMOTIONAL TONE

The article presents the results of the research and a comparison of the results of the application of the naive Bayes classifier using simple verbal signs and vector word models. The research methods and environment were analyzed, and a set of input data was determined. A classifier is trained on the selected dataset and its accuracy is evaluated using the classify.accuracy function from the nltk library. The classifier was also checked on its own text and the correctness of the classification was determined. A histogram was constructed that visually showed the number of correctly classified positive and negative examples. A confusion matrix was derived, which made it possible to evaluate the classification accuracy for each class. In the experimental part, the vector word model Word2Vec from the gensim library was used. The classifier was trained and its accuracy was evaluated. A significant increase in accuracy is achieved compared to the simplified approach. The paper discussed the issue of using vector models of words to improve text classification results. They allow you to better take into account the semantics and context of the text, which leads to more accurate results.

It was analyzed that the accuracy of the classification depends on the data set, the features of the texts, and the data processing methods used. Research provides an optimal choice of methods and an approach to classification, which must take into account the specific task and context of the application. The work considered vector models of words and the use of more complex classification models. Factors affecting the emotional state of the text are given. The model parameters were optimized to achieve better results. As a result of the conducted experiments, the effectiveness of the naive Bayesian classifier and vector word models in the task of classifying the emotional state of the text was confirmed.

Key words: *algorithm, emotional tone, content, classification, social network..*

Постановка проблеми

На сьогоднішній день соціальні мережі є невід'ємною частиною сучасного суспільства. Вони також є великою платформою для вираження своїх емоцій та думок, комунікації з іншими людьми, для реклами, маркетингових кампаній, розвитку бізнесу, для формування спільнот та підтримки громадянських позицій, організації заходів, політичних дискусій тощо. Через це необхідний аналіз цієї системи, і це можливо зробити через класифікацію текстового контенту від користувачів, визначення їх емоційного тону [2, 6].

Неможливо недооцінити важливість задачі класифікації емоційного тону контенту, який публікують користувачі в соціальних мережах [3]. Це знаходить своє призначення у сфері реклами та маркетингу, соціальному моніторингу, аналізі громадської думки, тощо.

Таким чином, аналіз настроїв користувачів в соціальних мережах є досить важливою темою сьогодення, тому як очевидним є те, що соціальні мережі тісно пов'язані з бізнесом, висловлюванням своїх думок та позицій [1]. Відповідно, актуальним буде розгляд методів, який допоможе в аналізі соціальних мереж.

В рамках цієї роботи розглядалися методи машинного навчання. Для дослідження цієї теми обиралися різноманітні рішення:

– Метод опорних векторів (Support Vector Machines, SVM), який є потужним методом класифікації, що шукає оптимальну гіперплощину для розділення двох класів даних. Використання ядерних функцій дозволяє SVM працювати з нелінійно роздільними даними.

– Дерева рішень (Decision Trees) будуються на основі серії розділень, щоб класифікувати дані. Дерева можуть бути розширені до ансамблів, таких як випадковий ліс (Random Forests) або градієнтний бустинг (Gradient Boosting), для поліпшення точності класифікації.

– Ансамблеві методи поєднують декілька моделей, щоб отримати кращу загальну прогнозну точність. Наприклад, можна застосувати ансамблі, такі як голосування багатьох класифікаторів (Voting Classifier) для аналізу настроїв користувачів.

– Наївний баєсів класифікатор (Naive Bayes classifier) є популярним методом для сентимент-аналізу, який полягає в класифікації текстових документів (у цьому випадку повідомлень з соціальних мереж) на позитивний, негативний або нейтральний сентимент. Його застосовують для класифікації тексту, фільтрації спаму, класифікації зображень тощо.

Для подальшого дослідження було обрано наївний баєсів класифікатор, так як він найбільше підходить для роботи з великим обсягом даних, простий в реалізації та ідеально інтегрується з метою дослідження.

Головна ідея наївного баєсового класифікатора полягає в тому, що він вважає всі ознаки незалежними одна від одної. Це називається «наївним» припущенням. Навіть якщо це припущення не завжди відповідає реальності, наївний баєсів класифікатор часто показує задовільні результати в практичних застосуваннях, особливо коли маємо великі обсяги даних [2, 7].

Задача наївного баєсового класифікатора полягає в призначенні категорії або класу до нового прикладу на основі ймовірностей. Конкретно, він використовує ймовірності атрибутів для класифікації даних.

Основна ідея полягає в обчисленні ймовірностей, що відображають те, наскільки ймовірно приклад належить до певного класу, враховуючи значення його атрибутів. Класифікатор обчислює ці ймовірності на основі навчального набору даних, де відомі мітки класів для тренувальних прикладів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дане дослідження є актуальним та має новизну в декількох аспектах. Враховуючи, що наївний баєсів класифікатор є одним з найпростіших та ефективних методів машинного навчання, новизна полягатиме в його застосуванні саме до аналізу настроїв користувачів у соціальних мережах. Про що наголошують автори [7] в своїх дослідженнях.

В роботі [1] автором наголошується на важливості виконуваного дослідження. Ця робота є вступним посібником у галузі аналізу соціальних медіа. Дане джерело пропонує читачам основні концепції, методи та інструменти для аналізу даних з соціальних медіа. В роботі [1] можна знайти розділи, які присвячені аналізу настроїв у соціальних медіа. Ця книга описує застосування наївного баєсового класифікатора у контексті аналізу настроїв. Автори [1] обґрунтовують застосування наївного баєсового класифікатора, описують алгоритм його роботи, наводять переваги та недоліки його застосування для аналізу настроїв у текстових даних з соціальних медіа.

В дослідженні [2] наведене практичне застосування аналізу даних з соціальних мереж. У цій книзі [2] автор ділиться знаннями про збір, обробку та аналіз даних з популярних соціальних мереж, таких як Facebook, Twitter, LinkedIn та інших. Дослідження присвячене аналізу настроїв і сентименту в текстових даних соціальних мереж. У цих розділах описуються методи машинного навчання, включно наївний баєсів класифікатор, для виконання завдань аналізу настроїв користувачів.

В роботі [3] охоплюється широкий спектр тем і методів аналізу настроїв. В її змісті можна знайти докладний опис наївного баєсового класифікатора та його застосування для аналізу настроїв. Автор [3] пояснює принципи роботи наївного баєсового класифікатора, його передумови та особливості. Деякі розділи книги включають приклади коду або практичні рекомендації щодо використання наївного баєсового класифікатора для аналізу настроїв у текстових даних.

У книзі [4] автор охоплює широкий спектр методів та підходів до аналізу настроїв у тексті, включаючи такі теми, як аналіз емоцій, класифікація суб'єктивних висловів, аналіз думок та деякі приклади застосування цих методів. Джерело містить важливі концепції, методи та рекомендації для проведення аналізу настроїв, а також розглядає реальні застосування в цій галузі. Також описані різні методи машинного навчання, які використовуються для аналізу настроїв. Хоча конкретний метод наївного баєсового класифікатора не є центральною темою цієї книги, автор знайомить читачів з концепцією наївного баєсового класифікатора та включає його як один із можливих методів для виконання завдань аналізу настроїв.

Отож, **метою дослідження є** вивчення методу машинного навчання, відомого як наївний баєсів класифікатор та використати його для аналізу настроїв користувачів в соціальних мережах. Завдання дослідження є застосування набору даних для проведення класифікації за емоційним тоном текстових повідомлень користувачів з соціальних мереж.

Об'єктом нашого дослідження є текстовий контент, що генерують користувачі в соціальних мережах. Це можуть бути пости, коментарі, повідомлення, відгуки або будь-які інші форми текстових висловлювань.

Викладення основного матеріалу дослідження

Математична постановка задачі аналізу соціальних мереж для визначення настроїв користувачів може бути представлена у вигляді множини користувачів N, множини можливих настроїв M, вектор та матриця ознак для кожного користувача [5, 8].

Припустимо, що ми маємо набір даних з N користувачів, де кожен користувач має асоційований з ним вектор ознак $X = (x_1, x_2, ..., x_k)$, де кожна ознака x_i може відображати, наприклад, ключові слова, емоційні індикатори або інші деталі повідомлень користувача. Ми також маємо M можливих класів настроїв, позначимо їх як $C_1, C_2, ..., C_m$.

У математичній постановці задачі визначаються наступні змінні [9]:

– N – кількість користувачів у соціальній мережі.

– M – кількість можливих настроїв, які можуть бути визначені, наприклад, позитивний, негативний, нейтральний і т.д.

– X – матриця розміром $N \times M$, *де* $X[i, j]$ представляє настрій j-го користувача i-тої соціальної мережі. Кожен елемент матриці X відповідає настрою користувача на певному соціальному медіа.

Для розв'язання цієї задачі можна використовувати наївний баєсівський класифікатор, який є статистичним методом машинного навчання. Цей класифікатор базується на Баєсовій теоремі та припущенні про незалежність ознак [9].

Для використання наївного баєсівського класифікатора вводяться наступні ймовірності:

– $P(C|X)$ – ймовірність того, що користувач належить класу C (настрою) при заданому векторі ознак X (повідомлення користувача).

– $P(X|C)$ – ймовірність зустрічі вектора ознак X (повідомлення користувача) при заданому класі C (настрою).

– $P(C)$ – апріорна ймовірність класу C (настрою) без урахування жодних ознак.

– $P(X)$ – апріорна ймовірність вектора ознак X (повідомлення користувача) без урахування класів.

Ймовірність $P(C|X)$ обчислюється за формулою Баєса (формула 1):

$$P(C|X)=(P(X|C)\times P(C)) : P(X). \quad (1)$$

Ймовірність $P(X|C)$ визначається як добуток ймовірностей $P(x_i|C)$ для кожної ознаки x_i вектора ознак X (повідомлення користувача).

Спектр настрою визначається на основі значень ймовірностей $P(C|X)$ для кожного класу C. Якщо ймовірність $P(позитивний|X)$ більша за ймовірності $P(негативний|X)$ і $P(нейтральний|X)$, то настрій користувача вважається позитивним.

Наївний баєсів класифікатор припускає, що ознаки вхідних даних незалежні між собою, що дає можливість спростити обчислення умовних ймовірностей [4].

Основа методу наївного баєсівського класифікатора полягає в припущенні, що ознаки є незалежними одна від одної, за винятком залежності від класу. Це спрощення дозволяє ефективно моделювати залежності між ознаками та класами, зокрема у випадку великої кількості ознак.

Припустимо, ми маємо набір даних, що складається з вхідних ознак $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$, де кожна ознака представляє числове або категоріальне значення, і маємо цільову змінну y, яку потрібно класифікувати на основі цих ознак.

Метод наївного баєсового класифікатора використовує умовну ймовірність $P(y|X)$, щоб призначити клас y для новDсвих вхідних даних X. За допомогою Баєсової теореми, ця умовна ймовірність може бути виражена як (Формула 2):

$$P(y|X)=(P(X|y)\times P(y)) : P(X), \quad (2)$$

де $P(X|y)$ – умовна ймовірність вхідних ознак X при заданому класі y, $P(y)$ – апріорна ймовірність класу y, $P(X)$ – маргінальна ймовірність вхідних ознак X [13, 5].

Припущення про наївність полягає в тому, що всі ознаки X вважаються незалежними між собою при заданому класі y. Це припущення спрощує обчислення умовної ймовірності $P(X|y)$ і дозволяє представити його у вигляді добутку умовних ймовірностей кожної окремої ознаки.

Застосовуючи цей метод, ми можемо обчислити ймовірності для кожного класу y і призначити новим вхідним даним клас з найвищою ймовірністю.

Щоб покращити роботу наївного баєсового класифікатору, можна застосувати деякі з способів:

– Використання незалежних наївних баєсових класифікаторів: замість припущення про незалежність ознак, слід використовувати незалежні наївні баєсові класифікатори, де кожна ознака розглядається окремо.

– Присвоєння ваг або значимості кожній ознаці на основі її впливу на класифікацію. Це може бути зроблено, наприклад, за допомогою використання *TF-IDF* (Term Frequency-Inverse Document Frequency), де ознаки, які часто зустрічаються в документі, але не часто в інших документах, отримують вищі ваги. Формула для обчислення ваги ознаки має вигляд (формула 3):

$$weight\ (x_i)=TF(x_i)\ \times IDF(x_i), \quad (3)$$

де $TF(x_i)$ – частота ознаки x_i в документі, $IDF(x_i)$ – зворотна частота ознаки x_i в корпусі документів.

Згладжування Лапласа дозволяє більш реалістично оцінити ймовірності ознак і допомагає покращити роботу наївного баєсового класифікатора, особливо в випадках, коли маємо обмежену кількість даних. Уявимо, що деяка ознака не з'явилася у тренувальному наборі даних для певного класу, то умовна ймовірність цієї ознаки для цього класу буде рівна нулю. Це може спричинити проблеми при подальшому обчисленні ймовірностей. Згладжування Лапласа вводить маленьку константу (зазвичай 1) до кількості спостережень кожної ознаки для кожного класу, забезпечуючи, що нульових ймовірностей не виникає.

Формула для обчислення умовної ймовірності ознаки x_i для певного класу y з використанням згладжування Лапласа виглядає наступним чином (формула 4):

$$P(x_i|y)=(N_i+1)/(N+K), \quad (4)$$

де N_i – кількість спостережень ознаки x_i у класі y, N – загальна кількість спостережень у класі y, K – загальна кількість можливих значень ознаки x_i [2, 5].

Відповідно, математична модель для аналізу соціальних мереж з метою визначення настроїв користувачів може бути наступною:

1. Множина користувачів: позначимо множину користувачів як $U = \{u_1, u_2, ..., u_n\}$, де n – загальна кількість користувачів.

2. Множина повідомлень: позначимо множину повідомлень, які розміщують користувачі в соціальній мережі, як $M = \{m_1, m_2, ..., m_m\}$, де m – загальна кількість повідомлень.

3. Настрої користувачів: кожен користувач u_i має свій настрій, який може бути позитивним, негативним або нейтральним. Позначимо множину настроїв як $S = \{positive, negative, neutral\}$.

4. Ознаки повідомлень: для кожного повідомлення m_j визначимо набір ознак, які можуть бути використані для визначення настрою. Нехай $F = \{f_1, f_2, ..., f_k\}$ буде множина ознак, де k – загальна кількість ознак.

5. Матриця ознак: створимо матрицю X розміром $n \times k$, де кожен рядок відповідає користувачу, а кожний стовпчик відповідає ознаці. Кожен елемент X_{ij} матриці представляє значення ознаки f_j для користувача u_i.

6. Класифікатор: Використовуємо наївний баєсів класифікатор для класифікації настроїв користувачів на основі їх повідомлень. Припустимо, що P(y) є апріорною ймовірністю настрою y, а $P(x_j|y)$ є умовною ймовірністю ознаки f_j при настрої y. Класифікація здійснюється на основі формули Байеса (формула 5):

$$P(y|X)=P(y)\times P(x_i|y)/P(X), \quad (5)$$

де $P(y|X)$ – умовна ймовірність настрою y при використанні набору ознак X, $P(y)$ – апріорна ймовірність настрою y, $P(x_j|y)$ – умовна ймовірність ознак, $P(X)$ – ймовірність набору ознак X.

7. Класифікація настроїв: на основі отриманої умовної ймовірності $P(y|X)$, класифікуємо настрої користувачів на позитивний, негативний або нейтральний.

8. Оцінка точності: для оцінки точності класифікації можна використовувати метрики, такі як точність, відновлення та F-міру.

Ця математична модель дозволяє аналізувати соціальні мережі з метою визначення настроїв користувачів на основі їх повідомлень. Застосування наївного баєсового класифікатора дозволяє здійснити класифікацію настроїв з використанням ймовірнісних моделей.

Для аналізу було обрано набір даних Sentiment Analysis on Twitter. Цьому вибору посприяло ряд причин:

• Доступність.

Sentiment Analysis on Twitter є широко відомим та легко доступним датасетом, який можна знайти онлайн. Він використовується у багатьох дослідженнях та проектах з аналізу настроїв, що дозволяє отримати доступ до різноманітних ресурсів та підходів, пов'язаних з цим датасетом.

• Розмічені дані.

Датасет містить твіти, які були розмічені на позитивні, негативні або нейтральні. Це значно полегшує розробку та тренування моделей аналізу настроїв, оскільки існують вже готові мітки настрою для навчання та оцінки ефективності моделі.

• Репрезентативність.

Twitter є популярною соціальною мережею, де користувачі активно висловлюють свої думки, враження та емоції. Тому аналіз настроїв на основі твітів дозволяє отримати значимі інсайти щодо думок та настрою групи користувачів.

Цей датасет містить в собі 10000 унікальних твітів та 3 категорії. Він має інформацію, який з настроїв (позитивний, негативний або нейтральний) притаманний цьому твіту, та його ID.

Таблиця 1

Категорії твітів датасету Sentiment Analysis on Twitter

Назва поля	Тип	Опис
Tweet ID	Integer	Містить цифровий ідентифікатор поста в соціальній мережі Твіттер.
Sentiment	String	Оцінка емоційного тону тексту, що написав користувач.
Tweet content	String	Зміст самого текстового повідомлення від користувача.

Для подальшого аналізу потрібно здійснити перетворення тексту в числовий вектор, який можна використовувати для навчання моделей машинного навчання. Це може бути досягнуто за допомогою методів, таких як *TF-IDF* (term frequency-inverse document frequency) або векторизації слів на основі Word2Vec чи GloVe.

Загалом, наведені методи попередньої обробки даних можуть збільшити якість та достовірність даних, покращити ефективність моделей та зробити їх більш стійкими до шуму та випадкових варіацій у вхідних даних.

Для початку, натренуємо наш класифікатор, на обраному нами датасеті, та дізнаємось наскільки він точний. Для оцінки точності використаємо **classify.accuracy** з бібліотеки **nltk**, виведемо цю точність в консоль (рис. 1), та для наглядності прокласифікуємо текст, написаний нами. Результат представлений на рис. 2.

```
Accuracy: 0.7346666666666667
I love this product! : Positive
```

Рис. 1. Точність класифікатора

```
custom_tweet = "I love this product!"
custom_tokens = remove_noise(word_tokenize(custom_tweet))
print(custom_tweet, ":", classifier.classify(dict([token, True] for token in custom_tokens)))
```

Рис. 2. Приклад коду до представлених результатів

Результати досить точні, можна помітити, що коментар "I love this product!", був визначений як позитивний, що є правильним.

Далі, на основі тестувальних даних, побудуємо гістограму, в якій покажемо, скільки результатів було правильно визначені як позитивні, та скільки результатів було правильно визначено як негативні, покажемо гістограму за допомогою matplotlib, а дані для неї підготуємо за допомогою написаної функції, функцію наведемо нижче (рис. 3):

```python
def calculate_accuracy(reference_set, predicted_set, sentiment):
    correct = [tweet for tweet in predicted_set if tweet[1] == sentiment]
    accuracy = len(correct) / len(reference_set) * 100
    return accuracy
```

Рис. 3. Код для пошуку результатів виконання відносно емоцій

Далі виведемо саму гістограму, побудовану за допомогою matplotlib (рис. 4):

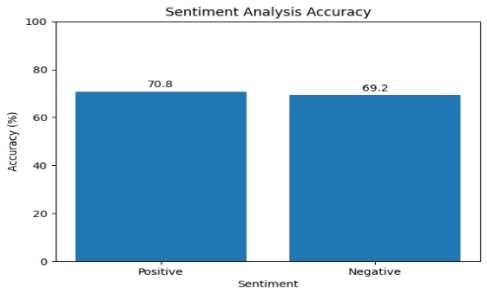


Рис. 4. Гістограма точності класифікатора відносно емоції, яку він передбачає

Виведемо також confusion matrix (рис. 5), для наших даних, ця матриця є інструментом для оцінки точності моделі класифікації. Вона допомагає визначити, як добре модель працює у відношенні розпізнавання різних класів.

У матриці переконань можна побачити чотири основні значення:

– True Positive (TP): Кількість прикладів, для яких модель правильно передбачила позитивний клас.

– True Negative (TN): Кількість прикладів, для яких модель правильно передбачила негативний клас.

– False Positive (FP): Кількість прикладів, для яких модель неправильно передбачила позитивний клас (тобто вказала наявність позитивного класу, хоча його немає).

– False Negative (FN): Кількість прикладів, для яких модель неправильно передбачила негативний клас (тобто вказала наявність негативного класу, хоча його немає).

Тому важливо також показати її, для більшого розуміння отримання результатів.

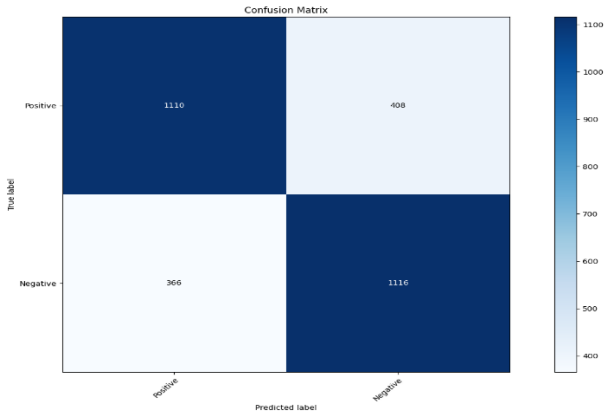


Рис. 5. Матриця переконань для нашого класифікатора

Спробуємо покращити результати нашої моделі, для цього використаємо векторну модель слів (Word Embeddings) замість простого підходу з використанням словесних ознак.В цьому випадку, ми будемо використовувати модель слів Word2Vec, з бібліотеки gensim.

Натренуємо знову наш класифікатор, та дізнаємось наскільки наш класифікатор точний (рис. 6).

```
Accuracy: 0.8275
I love this product! : Positive
```

Рис. 6. Точність класифікатора та написаний нами текст, навпроти нього його зміст

Можна помітити, що точність значно зросла, що може вказувати на те, що використання векторних моделей слів, значно покращує результати. Виведемо ще гістограму, для візуалізації точності відносно класів (рис. 7).

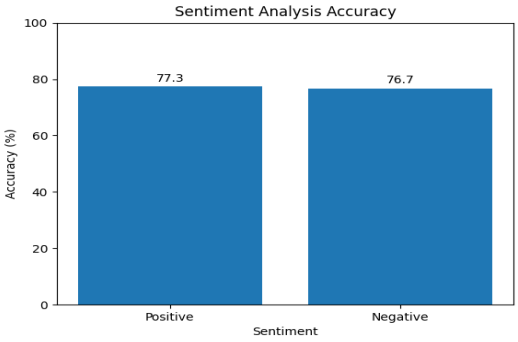


Рис. 7. Гістограма точності класифікатора відносно емоції, яку він передбачає

Висновки

Наївний класифікатор Баєса є простим і ефективним методом для класифікації тексту, основаним на застосуванні теореми Баєса. Він припускає, що кожна ознака (у випадку тексту – слово) незалежна від інших ознак при заданому класі. Наївний класифікатор Баєса заснований на ймовірності того, що документ належить до певного класу, враховуючи наявність певних ознак (слів) у документі.

Під час тренування нашого класифікатора з використанням наївного класифікатора Баєса, ми використали датасет з мітками класів (позитивний або негативний) для навчання моделі. Кожен текст (коментар) у датасеті розбивається на окремі слова, і знаходяться частоти появи кожного слова у позитивних і негативних текстах. Для класифікації нового тексту модель використовує отримані ймовірності та формулу теореми Баєса для обчислення ймовірності належності тексту до позитивного або негативного класу.

Після навчання класифікатора, ми оцінюємо його точність, використовуючи функцію classify.accuracy з бібліотеки NLTK. Ця функція порівнює передбачені мітки класу з фактичними мітками у тестовому наборі даних і обчислює відсоток правильно класифікованих прикладів.

Для візуалізації кількості правильно класифікованих позитивних і негативних прикладів побудували гістограму. Для цього ми використовуємо бібліотеку Matplotlib та готуємо дані за допомогою власної написаної функції.

Confusion matrix є інструментом для оцінки точності моделі класифікації. Вона надає інформацію про кількість правильно і неправильно класифікованих прикладів для кожного класу. У матриці переконань є чотири значення: TP, TN, FP і FN, які дозволяють оцінити ефективність моделі у розпізнаванні різних класів.

В наступній частині експерименту ми використовуємо векторну модель слів (Word Embeddings), зокрема модель Word2Vec з бібліотеки Gensim. Векторна модель слів дозволяє представити слова у векторному просторі, враховуючи семантичні залежності між ними. Ми повторюємо той самий процес тренування та оцінки точності, використовуючи цю векторну модель слів.

Точність класифікатора з використанням векторної моделі слів значно зросла порівняно з попереднім підходом. Це може свідчити про те, що використання векторних моделей слів дозволяє краще врахувати семантику та контекст тексту, що сприяє покращенню точності класифікації.

Загалом, експеримент показує, що використання наївного класифікатора Баєса в поєднанні з векторними моделями слів може покращити результати класифікації тексту. Однак, для досягнення ще кращих результатів можуть бути застосовані інші методи або оптимізації, наприклад, використання більш складних моделей класифікації або врахування інших факторів, які можуть впливати на емоційний стан тексту.

Список використаної літератури

1. Pang B., Lee L., Vaithyanathan S. Thumbs up: sentiment classification using machine learning techniques. Proceedings of the ACL 2002 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Vol. 10. Association for Computational Linguistics. 2002. Pp. 321–342.

2. Maas A.L., Daly R.E., Pham P.T., Huang D., Ng A.Y., Potts C. Learning Word Vectors for Sentiment Analysis. The 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. ACL 2011. 2011. Pp. 23–36.

3. Rennie J.D. Tackling the poor assumptions of naive bayes text classifiers. Machine Learning-International Workshop then Conference. 2003.Vol. 20(2). Pp. 56–62.

4. Tseng C., Patel N., Paranjape H., Lin T. Y., Teoh S. Classifying twitter data with naive bayes classifier. IEEE International Conference on Granular Computing. 2012. Pp. 89–101.

5. Estivill-Castro V., Lee I. Amoeba: Hierarchical clustering based on spatial proximity using Delaunay diagram. 9th Intern. Symp. on spatial data handling, Beijing, China. 2000. Pp. 26–41.

6. Guo D., Peuquet D.J., Gahegan M. ICEAGE: Interactive clustering and exploration of large and high-dimensional geodata. Geoinformatica. 2003. Vol. 3. N. 7. Pp. 229–253.

7. Harel D., Koren Y. Clustering spatial data using random walks. Proc. of the 7th ACM SIGKDD Intern. conf. on knowledge discovery and data mining, San Francisco, California. 2000. Pp. 281–286.

8. Boyko N., Pylypiv O., Peleshchak Yu., Kryvenchuk Yu., Campos J. Automated Document Analysis for Quick Personal Health Record Creation. The 2 nd International Workshop on Informatics & Data-Driven Medicine (IDDM 2019). Lviv, Ukraine, November 11-13. 2019. Vol. 1. Pp. 208–221.

9. Yakovyna V., Peleshchyshyn A., Albota S. Discussions of wikipedia talk pages: Manipulations detected by lingual-psychological analysis, CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2392. Pp. 309–320.

References

1. Pang, B., Lee, L., Vaithyanathan, S. (2002). Thumbs up?: sentiment classification using machine learning techniques. Proceedings of the ACL 2002 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Vol. 10. Association for Computational Linguistics, 321–342 [in English].

2. Maas, A.L., Daly, R.E., Pham, P.T., Huang, D., Ng, A.Y., Potts, C. (2011). Learning Word Vectors for Sentiment Analysis. The 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. ACL 2011, 23–36 [in English].

3. Rennie, J.D. (2003). Tackling the poor assumptions of naive bayes text classifiers. Machine Learning-International Workshop then Conference, 20(2), 56–62 [in English].

4. Tseng, C., Patel, N., Paranjape, H., Lin, T. Y., Teoh, S. (2012). Classifying twitter data with naive bayes classifier. IEEE International Conference on Granular Computing, 89–101 [in English].

5. Estivill-Castro, V., Lee, I. (2000). Amoeba: Hierarchical clustering based on spatial proximity using Delaunay diagram. 9th Intern. Symp. on spatial data handling, Beijing, China, 26–41 [in English].

6. Guo, D., Peuquet, D.J., Gahegan, M. (2003). ICEAGE: Interactive clustering and exploration of large and high-dimensional geodata. Geoinformatica, 3(7), 229–253 [in English].

7. Harel, D., Koren, Y. (2000). Clustering spatial data using random walks. Proc. of the 7th ACM SIGKDD Intern. conf. on knowledge discovery and data mining, San Francisco, California, 281–286 [in English].

8. Boyko, N., Pylypiv, O., Peleshchak, Yu., Kryvenchuk, Yu., Campos, J. (2019). Automated Document Analysis for Quick Personal Health Record Creation. The 2 nd International Workshop on Informatics & Data-Driven Medicine (IDDM 2019), Lviv, Ukraine, November 11–13, 1, 208–221 [in English].

9. Yakovyna, V., Peleshchyshyn, A., Albota, S. (2019). Discussions of wikipedia talk pages: Manipulations detected by lingual-psychological analysis, CEUR Workshop Proceedings, 2392, 309–320 [in English].

УДК 517.9 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.19

Д. О. КРИЩЕНКО
аспірант кафедри автоматизації
та комп'ютерних технологій систем управління
Національний університет харчових технологій
ORCID: 0009-0005-1030-3800

О. М. РОМАЩУК
аспірант кафедри автоматизації
та комп'ютерних технологій систем управління
Національний університет харчових технологій
ORCID: 0009-0007-4298-5193

СЦЕНАРНЕ КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

У статті розглядаються проблеми організації процесів керування технологічними комплексами провідних галузей харчової промисловості: цукрової та спиртової. Охарактеризовані особливості таких обєктів керування як багатофакторність, нестаціонарність, висока ступінь невизначеності, що має характер як стохастичності, так і нечіткості; складний характер поведінки, визваний суттєвою нелінійністю, що приводить до виникнення нештатних режимів функціонування об'єктів через явища детермінованого хаосу. Разом з тим в таких об'єктах наявна здатність до самоорганізації, яка може забезпечити при відповідних заходах превентативного характеру організацію ефективних ресурсоощадних стратегій керування, побудованих не з примусових позицій, а з урахуванням природної направленості технологічних процесів, Таку передбачуваність систем керування забезпечує застосування сценаріїв керування, за допомогою яких окреслено усі можливі виробничі ситуації і рішення по керуванню в цих ситуаціях. Метою даної роботи є розробка сценаріїв керування технологічними комплексами цукрової та спиртової галузі з урахуванням різних факторів виробництва та ситуаційної обстановки в об'єктах керування. Розроблена методологія побудови сценаріїв керування складнми технологічними об'єктами керування з урахуванням специфіки протікання технологічних процесів природного характеру. На основі побудованих факторно-цільових діаграм і експертного опитування сформовані сценарії керування для різних умов функціонування обладнання та виробничих завдань. Сценарії керування представлені у вигляді графових моделей, переходи в яких здійснюються на основі якісної оцінки в нечітких категоріях. Розроблені сценарії керування технологічними комплексами провідних галузей харчової промисловості стали основою алгоритмів керування в автоматизованих системах комп'ютерного управління цукровим та спиртовим виробництвами. Реалізація таких систем забезпечила поліпшення якості продукції, зменшення питомих витрат ресурсів виробництва та підвищення продуктивності обладнання.

Ключові слова: *харчова промисовість, цукрове виробництво, виробництво спирту, сценарій керування, система керування, організаційно-технічна система.*

D. O. KRYSHCHENKO
Postgraduate Student at the Department of Automation
and Computer Technologies of Control Systems
National University of Food Technologies
ORCID: 0009-0005-1030-3800

O. M. ROMASHCHUK
Postgraduate Student at the Department of Automation
and Computer Technologies of Control Systems
National University of Food Technologies
ORCID: 0009-0007-4298-5193

SCENARIO MANAGEMENT OF COMPLEX TECHNOLOGICAL COMPLEXES

The article examines the problems of organizing the processes of managing technological complexes of the leading branches of the food industry: sugar and alcohol. Features of such control objects are characterized as multifactorial, nonstationary, high degree of uncertainty, which has the character of both stochasticity and vagueness; the complex nature of behavior caused by significant nonlinearity, which leads to the emergence of abnormal modes of operation of objects due to the phenomena of deterministic chaos. At the same time, such objects have the ability to self-organize, which can ensure, with appropriate measures of a preventive nature, the organization of effective resource-saving management strategies, built not from forced positions, but taking into account the natural direction of technological processes. Such predictability of control

systems is ensured by the use of control scenarios, with the help of which all possible production situations and management decisions in these situations are outlined. The purpose of this work is to develop scenarios for managing technological complexes of the sugar and alcohol industry, taking into account various factors of production and the situation in the management facilities. A methodology for building control scenarios for complex technological control objects has been developed, taking into account the specifics of the flow of technological processes of a natural nature. On the basis of constructed factor-objective diagrams and expert survey, control scenarios were formed for various conditions of equipment operation and production tasks. Management scenarios are presented in the form of graph models, transitions in which are carried out on the basis of qualitative assessment in fuzzy categories. Developed scenarios for managing technological complexes of the leading branches of the food industry became the basis of control algorithms in automated computer control systems for sugar and alcohol production. The implementation of such systems ensured the improvement of product quality, reduction of the specific costs of production resources and improvement of equipment productivity.

Key words: *food industry, sugar production, alcohol production, management scenario, management system, organizational and technical system.*

Постановка проблеми

Технологічні комплекси харчових виробництв мають всі характерні ознаки складної організаційно-технічної системи [1]. Серед цих ознак можна виділити: багатофакторність, нестаціонарність, висока ступінь невизначеності, що має характер як стохастичності, так і нечіткості; проблематична природа поведінки, яка визивається наявністю дисипативних просторово-часових структур, включаючи воєдино регулярну, стохастичну і хаотичну складові; схильність до самоорганізації; наявність в контурі керування активних елементів у вигляді людського фактору. Такі особливості наведених об'єктів зобов'язують застосування вельми ефективних передових методів сучасної теорії та практики керування, а також їх реалізації на базі сучасних комп'ютерних технологій [2]. Новий клас організаційно-технічних систем має риси як технічних, так і організаційних систем, найбільш важливими серед них є: багатомірність, складність та непостійність структури, присутність і змінність цілей та їх пріоритетності в залежності від виробничої ситуації. Тому при створенні ефективних систем керування організаційно-технічними процесами пропонуються комбіновані підходи, які інтегрують переваги як формалізованих, так і інтелектуальних методів і евристик. Дані методи забезпечують можливість багатоаспектної, повноцінної оцінки динаміки і перспектив розвитку складних об'єктів технологічного та організаційного характеру в умовах виробництва зі змінною ситуаційною поведінкою. Найбільш ефективний результат в цьому аспекті дають сценарії, за допомогою яких формально генеруються та аналізуються альтернативні варіанти (магістралі) розвитку ситуаційної обстановки в об'єкті керування при заданих чи ситуаційно-залежних цілях, а також ситуаційного змінювання пріоритетності критеріїв їх оцінки [3]. Сценарії розвитку складної системи належать до класу так званих неповних математичних моделей, тобто. моделей, до яких включено лише суттєві фактори, які можуть бути формалізовані з прийнятним ступенем точності [4]. Ключевою задачею використання такого роду моделей є визначення істотних оцінок характеристик об'єктів керування з різних точок зору: песимістичного, реалістичного та оптимічного спрямування, і, що особливо, формування відповідного комплексу стратегій рішень по керуванню. Елементи сценарного підходу необхідні, коли дослідник стикається з можливістю вибору різних варіантів управління, із змінними критеріями оцінки результатів, з невизначеністю поведінки системи, що вивчається, та її середовища, з недостатністю інформації про досліджуваний об'єкт [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В останні роки, окремим важливим напрямком досліджень, в рамках якого розглядаються ряд принципових для сценарного підходу в системах керування методологічних та практичних питань, є тема аналізу сценаріїв, зокрема шляхом когнітивного моделювання, та прийняття рішень в багатокритеріальній постановці в умовах ситуаційних змінювань в об'єкті керування [6]. Так, в роботі [7] прийнятий багатоатрибутний метод аналізу ризику для вибору стратегії керування, а також розв'язані проблеми прийняття рішень на основі динамічних та ризикованих характеристик. В роботі [8] розроблена система аналізу рішень за кількома критеріями для дисперсної групи, здійснений нечіткий багатокритеріальний аналіз та спільне прийняття рішень у багатокритеріальному аналізі за участю багатьох учасників. В статті [9] розроблені діаграми впливу, які широко використовуються для представлення багатоетапних проблем прийняття рішень, у яких кожне рішення є вибором із дискретного набору альтернативних варіантів дій, невизначені випадкові події мають дискретні результати, а попередні рішення можуть ендогенно впливати на розподіли ймовірностей невизначених випадкових подій. В роботі [10] розглядається підхід до перетворення чітких оцінок, отриманих від респондентів, у форму сірих інтервальних чисел на основі медіани зібраних балів шляхом застосування певної форми шкали Лайкерта.

Побудова сценаріїв керування технологічними комплексами з використанням наведених наукових результатів з відповідним удосконаленням дозволить підвищити ефективність систем керування.

Формулювання мети досліджень

Метою даної роботи є розробка сценаріїв керування технологічними комплексами цукрової та спиртової галузі з урахуванням різних факторів виробництва та ситуаційної обстановки в об'єктах керування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Розроблені сценарії керування технологічними комплексами цукрової та спиртовової галузей харчової промисловості. У загальному задумі можна запропонувати отаке визначення задачі побудування сценаріїв: зобразити допустимі спрямування переміни в об'єктах керування декількома різновидами так, щоб у межах поставленого змістовного завдання дати максимальне всеосяжне бачення про дозволені майбутні стани та траєкторії розвитку системи. Ключовим поняттям методології сценарного підходу є поняття невизначеності. Під невизначеністю розуміють ситуацію, коли частково чи повністю відсутня інформація про структуру та можливі стани системи та (або) її середовища. Побудова сценаріїв має дві мети щодо невизначеності: по-перше, максимально можливе в рамках цього підходу її зниження; по-друге, опис не усуненої частини невизначеності за допомогою ряду сценарних варіантів. Тим самим закладається основа для подальшого зменшення невизначеності розвитку систем у процесах прогнозування, планування та управління. Вирізняють різні компоненти невизначеності: об'єктивну невизначеність перебігу процесів у часі, суб'єктивний фактор, що полягає у процесі прийняття рішень, неповноту інформації, що враховується, невизначеність впливу середовища на систему, неоднозначність, критеріїв вибору у процесі прийняття рішень.

У змістовному плані з точки зору теорії управління сценарієм поведінки об'єкта є модель зміни обстановки, пов'язаної з виникненням та розвитком тієї чи іншої ситуації та визначається в дискретному часовому просторі із заданим часовим кроком [2].

За допомогою сценарію здійснюється первинне впорядкування проблеми, виявлення даних про її передісторію, поточний стан та зв'язки з зовнішнім середовищем, також може будуватись прогноз перспектив розвитку процесу. Сценарій – засіб, за допомогою якого забезпечується досягнення визначеної мети функціонування системи, При цьому враховуються різноманітні чинники оточення, в якому перебуває система, зокрема, операції та зв'язки між ними. Існують два різновиди сценаріїв: абстракний (А) та структурний (С). В першому моменті дії здійснюються з неструктурованими об'єктами (ігнорується структура об'єкта). С-сценарій базується на відомій структурі об'єктів, які характеризуються комплектуваннями властивостей-атрибутів. Атрибути піддаються змінам шляхом реалізації певних правил.

Першочерговим кроком в побудові сценаріїв управління технологічними процесами підприємства є розробка факторно-цільової діаграми [2].

Розглянемо, для прикладу, факторно–цільову діаграму для технологічного комплексу (ТК) цукрового заводу, зображену на рисунку 1. На ній вказані цілі, що характерні для технологічного комплексу цукрового заводу, засоби досягнення цілей та фактори впливу Φ_i (табл. 1).

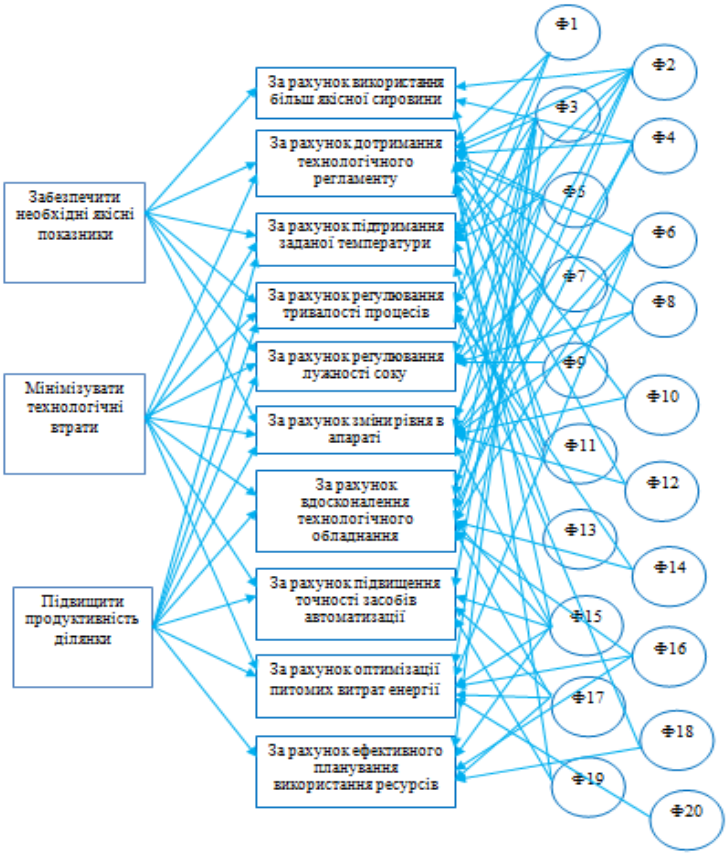


Рис. 1. Факторно-цільова діаграма ТК цукрового заводу

Таблиця 1

Позначення основних факторів виробництва цукру

Фактор	Зміст
Ф1	Цукристість буряку
Ф2	Якість стружки
Ф3	Співвідношення стружка-вода
Ф4	Температурний режим дифузії
Ф5	Вміст сухих речовин
Ф6	Тривалість дифузії
Ф7	Концентрація сатураційного газу
Ф8	Концентрація вапнякового молока
Ф9	Кількість газу, що подається на сатурацію
Ф10	Температурний режим дефекації та сатурації
Ф11	Якість дифузійного соку
Ф12	Тривалість дефекації та сатурації
Ф13	Інтенсивність обробки вапняковим молоком
Ф14	Кількість сухих речовин у відфільтрованому соку
Ф15	Кількість пари на отримання сиропу
Ф16	Розрахунок обладнання, визначення кількості проміжних ємностей
Ф17	Врахування завантаження попереднього та наступного обладнання
Ф18	Вибір способу керування ТК
Ф19	Виконання своєчасної повірки засобів вимірювання
Ф20	Енергоємність обладнання

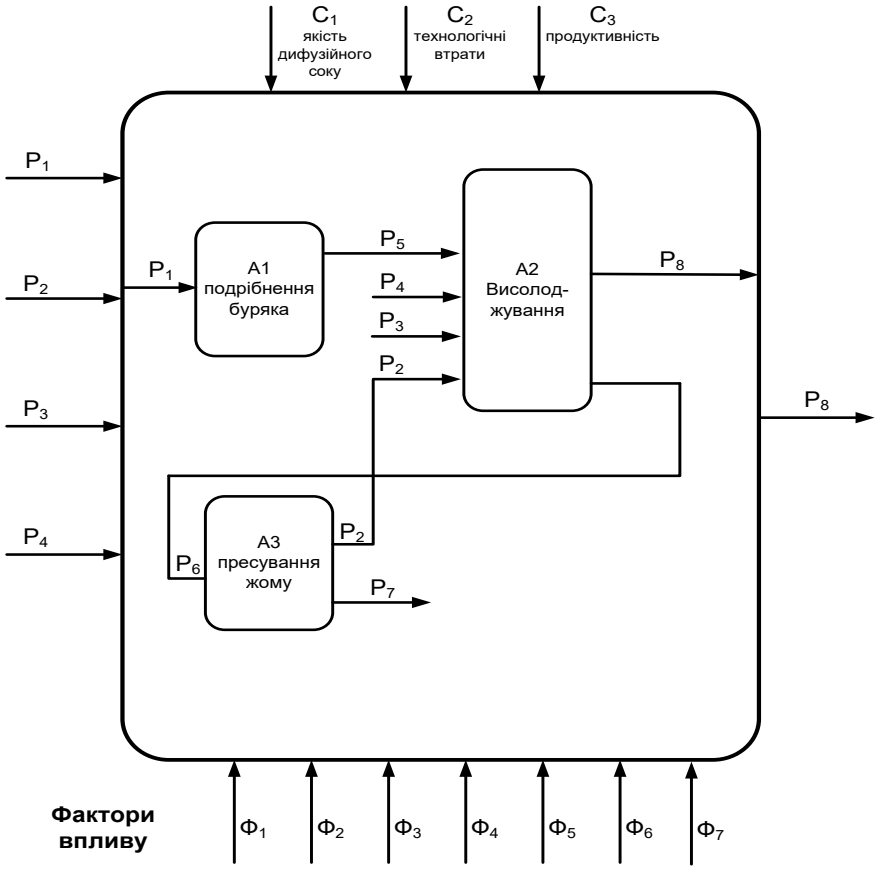


Рис. 2. А – сценарій процесу одержання дифузійного соку

Покажемо представлення А – сценарію процесу одержання дифузійного соку на рисунку 2, при цьому виділяємо об’єктні потоки, що показано в табл. 2.

Таблиця 2

Основні об'єктні потоки

Позначення	Зміст
P1	Витрата буряку
P2	Витрата жомопресової води
P3	Витрата живильної води
P4	Витрата пари
P5	Витрата стружки
P6	Витрата сирого жому
P7	Витрата пресованого жому
P8	Витрата дифузійного соку

На рисунку 3 наведений С-сценарій, при якому досягається максимальна продуктивность брагоректифікаційної установки спиртового заводу.

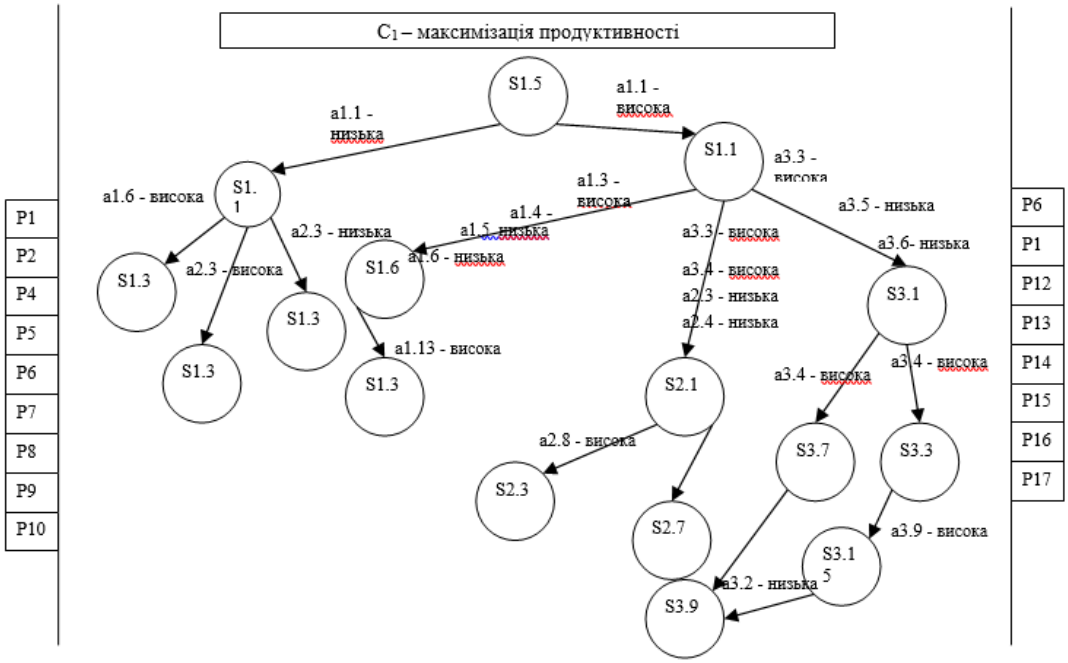


Рис. 3. Узагальнений С – сценарій максимізації продуктивності брагоректифікаційної установки

С-сценарій являє собою деталізацію А – сценарію з урахуванням еволюції об'єкта при здійсненні операцій та передачі об'єктів від одних операцій до інших. Еволюція об'єктів при здійсненні операцій виявляється у переміні змістів їх ознак (атрибутів) [2].

Висновки

Розроблені сценарії керування технологічними комплексами провідних галузей харчової промисловості стали основою алгоритмів керування в автоматизованих системах комп'ютерного управління цукровим та спиртовим виробництвами. Реалізація таких систем забезпечила поліпшення якості продукції, зменшення питомих витрат ресурсів виробництва та підвищення продуктивності обладнання.

Список використаної літератури

1. Ладанюк А.П., Решетюк В.М., Кишенько В.Д., Смітюх Я.В. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: Монографія. Київ: Центр учбової літератури. 2014. 280 с.

2. Смітюх Ярослав, Ладанюк Анатолій, Кишенько Василь. Сценарний підхід при автоматизації технологічних процесів: Монографія. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019. 184 с.

3. Yoo T.S., Lafotune S. (2010).A general architecture for decentralized supervisory control of discrete event systems. *Discrete Event Dynamic Systems: Theory & Applications.* 12(3). 335–337. doi:10.1023/A:1015625600613

4. Z. Hong, J. Lingzi. (2000). Scenario analysis in an automated tool for requirements engineering. *Requirements Engineering Journal.* 5(1). 2–22. doi: 10.1007/PL00010341

5. A. Duran, A. Ruiz-Cortez, R. Corchuelo, and M. Toro. (2002). Supporting requirements verification using xslt. *In Proceedings of IEEE Joint International Conference on on Requirements Engineering (RE02).* 165–172. doi: 10.1109/ICRE.2002.1048519

6. Geldermann J., Bertsch V., Treitz M., French S., Papamichail K. (2009). Multi-criteria decision support and evaluation of strategies for nuclear remediation management. *Omega.* 37, 238–251. DOI: 10.1016/j.omega.2006.11.006

7. Ahti Salo, Raimo P. Hämäläinen, Tuomas Juhani Lahtinen (2021). Multicriteria Methods for Group Decision Processes: An Overview. Handbook of Group Decision and Negotiation. 1–29. DOI:10.1007/978-3-030-12051-1_16-1

8. Reema Sharma, Prashant Kumar, Subhasis Bhaumik, Praveen K. Thakur (2022). Optimization of weights and ratings of DRASTIC model parameters by using multi-criteria decision analysis techniques, *Arabian Journal of Geosciences*. 15(10). DOI:10.1007/s12517-022-10034-4

9. Ahti Salo, Juho Andelmin, Fabricio Oliveira. (2022). Decision Programming for Mixed-Integer Multi-Stage Optimization under Uncertainty. *European Journal of Operational Research* .299(7). 550-565. DOI:10.1016/j.ejor.2021.12.013

10. D. Stanujkic, D. Karabasevic, G. Popovic, P. Stanimirovic (2021). An Innovative Grey Approach for Group Multi-Criteria Decision Analysis Based on the Median of Ratings by Using Python. Axioms, 10(2), 124. DOI: 10.3390/axioms10020124

References

1. Ladanyuk A.P., Reshetyuk V.M., Kyshen′ko V.D., Smityukh YA.V. Innovatsiyni tekhnolohiyi v upravlinni skladnymy biotekhnolohichnymy ob″yektamy ahropromyslovoho kompleksu: Monohrafiya. Kyyiv: Tsentr uchbovoyi literatury. 2014. 280 s

2. Smityukh Yaroslav, Ladanyuk Anatoliy, Kyshen′ko Vasyl′. Ctsenarnyy pidkhid pry avtomatyzatsiyi tekhnolohichnykh protsesiv: Monohrafiya. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2019. 184 s

3. Yoo T.S., Lafotune S. (2010).A general architecture for decentralized supervisory control of discrete event systems. *Discrete Event Dynamic Systems: Theory & Applications.* 12(3). 335–337. doi:10.1023/A:1015625600613

4. Z. Hong, J. Lingzi. (2000). Scenario analysis in an automated tool for requirements engineering. *Requirements Engineering Journal.* 5(1).2–22. doi: 10.1007/PL00010341

5. A. Duran, A. Ruiz-Cortez, R. Corchuelo, and M. Toro. (2002). Supporting requirements verification using xslt. *In Proceedings of IEEE Joint International Conference on on Requirements Engineering (RE02).* 165–172. doi: 10.1109/ICRE.2002.1048519

6. Geldermann J., Bertsch V., Treitz M., French S., Papamichail K. (2009). Multi-criteria decision support and evaluation of strategies for nuclear remediation management. *Omega.* 37, 238–251. DOI:10.1016/j.omega.2006.11.006

7. Ahti Salo, Raimo P. Hämäläinen, Tuomas Juhani Lahtinen (2021). Multicriteria Methods for Group Decision Processes: An Overview. Handbook of Group Decision and Negotiation. 1-29. DOI:10.1007/978-3-030-12051-1_16-1

8. Reema Sharma, Prashant Kumar, Subhasis Bhaumik, Praveen K. Thakur (202**2**). Optimization of weights and ratings of DRASTIC model parameters by using multi-criteria decision analysis techniques, *Arabian Journal of Geosciences*. 15(10). DOI: 10.1007/s12517-022-10034-4

9. Ahti Salo, Juho Andelmin, Fabricio Oliveira. (2022). Decision Programming for Mixed-Integer Multi-Stage Optimization under Uncertainty. *European Journal of Operational Research* .299(7). 550-565. DOI:10.1016/j.ejor.2021.12.013

10. D. Stanujkic, D. Karabasevic, G. Popovic, P. Stanimirovic (2021). An Innovative Grey Approach for Group Multi-Criteria Decision Analysis Based on the Median of Ratings by Using Python. Axioms, 10(2), 124. DOI: 10.3390/axioms10020124

УДК 004.8 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.20

О. О. КУБАЙЧУК
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-5135-3688

ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАЕВРИСТИЧНОГО ПІДХОДУ В КРИПТОАНАЛІЗІ

Криптографічний захист інформації є важливою складовою інформаційної безпеки. Розробка нових методів криптоаналізу допомагає зрозуміти межі стійкості наявних криптосистем. Сучасний криптоаналіз опирається на різні математичні дисципліни, зокрема, на теорію та методи оптимізації. Враховучи загальновизнані вимоги до стійкості шифрів, задача розшифрування може розглядатися як задача комбінаторної оптимізації.

Методи та алгоритми комбінаторної оптимізації сьогодні відіграють важливу роль у дослідженнях, пов'язаних з колом проблем, що безпосередньо впливають на інформаційну безпеку. Задача криптографічного захисту інформації вирішується створенням нових та вдосконаленням існуючих алгоритмів шифрування. З іншого боку, стрімко зростаючі можливості обчислювальної техніки відкривають практичні передумови впровадження технологій криптоаналізу, недоступних раніше. Зокрема, до актуальних технологій криптоаналізу можна віднести застосування оптимізаційних рандомізованих алгоритмів для інтелектуального дослідження простору пошуку з метою отримання прийнятного результату. Теоретично обгрунтовано, що такі алгоритми, за певних умов, дозволяють отримати розв'язок, коли ймовірність успіху дуже мала. Основним інструментом аналізу ефективності оптимізаційних рандомізованих алгоритмів є обчислювальний експеримент.

Аналіз можливості, особливостей та меж застосування метаевристичних алгоритмів криптоаналітиками вказує на перспективу використання метаевристичного підходу як універсального методу криптоаналізу.

В роботі обгрунтовується необхідність розвитку нових методів криптоаналізу із застосуванням метаевристик, міститься ретрспективний огляд публікацій за останній період в даній області. Число публікацій свідчить про актуальність напрямку досліджень.

Ключові слова: *криптоаналіз, криптографія, шифр, комбінаторна оптимізація, алгоритм, метаевристика.*

O. O. KUBAYCHUK
Candidate of Sciences in Mathematics (Ph.D.), Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Mathematical Analysis
and Probability Theory
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-5135-3688

REVIEW OF THE APPLICATIONS OF METAHEURISTIC APPROACH IN CRYPTANALYSIS

Cryptographic protection of information is an important component of information security. The development of new methods of cryptanalysis helps to understand the limits of stability of existing cryptosystems. Modern cryptanalysis relies on various mathematical disciplines, in particular, on the theory and methods of optimization. Taking into account the generally accepted requirements for the stability of ciphers, the decryption problem can be considered as a combinatorial optimization problem.

Methods and algorithms of combinatorial optimization today play an important role in research related to a range of problems directly affecting information security. The task of cryptographic protection of information is solved by creating new and improving existing encryption algorithms. On the other hand, the rapidly growing capabilities of computer technology open up practical prerequisites for the implementation of cryptanalysis technologies that were not available before. In particular, up-to-date cryptanalysis technologies include the use of optimization randomized algorithms for intelligent exploration of the search space in order to obtain an acceptable result. It is theoretically justified that such algorithms, under certain conditions, allow obtaining a solution when the probability of success is very small. The main tool for analyzing the effectiveness of optimization randomized algorithms is a computational experiment.

Analysis of the possibility, features and limits of the use of metaheuristic algorithms by cryptanalysts indicates the prospect of using the metaheuristic approach as a universal method of cryptanalysis.

The paper substantiates the need for the development of new methods of cryptanalysis using metaheuristics, contains a retrospective review of publications in the last period in this area. The number of publications indicates the relevance of the research direction.

Key words: *cryptanalysis, cryptography, cipher, combinatorial optimization, algorithm, metaheuristics.*

Постановка проблеми

Задачі комбінаторної оптимізації виникають у багатьох областях застосування обчислювальних методів, зокрема, таких як дослідження операцій, біоінформатика, маршрутизація, розподіл ресурсів і у криптоаналізі. Більшість практично важливих задач комбінаторної оптимізації належать до числа NP-важких, що, враховуючи можливі похибки у вхідних даних та можливість існування багатьох локальних екстремумів цільової функції, робить недоцільним використання точних алгоритмів розв'язання. Ці та інші аспекти, разом з прогресом обчислювальної техніки обумовили інтенсивний розвиток класу наближених методів, названих метаевристичними. Метаевристичні методи в силу своєї структури і гнучкості дозволяють конструювати на базі єдиної обчислювальної схеми наближені алгоритми розв'язання доволі широкого класу задач за прийнятний час. Такі алгоритми називають метаевристиками. Метаевристика є стратегією, яка повинна ефективно управляти дослідженням простору пошуку з метою отримання (суб)оптимального розв'язку. Дослідження простору пошуку здійснюється, зокрема, на основі евристик – процедур (функцій), які не вимагають строгого теоретичного обгрунтування. Ефективність тих чи інших евристик встановлюють емпіричним шляхом.

Метаевристика не є проблемно-орієнтованою, але вона може використовувати знання з певної предметної області у формі евристик. В результаті пошуку накопичуться нові знання, які автоматично враховуються на наступних етапах, тобто відбувається направлений інтелектуальний пошук. Результати інтелектуального пошуку можна перевіряти в рамках конкретної практичної задачі криптоаналізу.

В основі метаевристичних методів часто лежать висновки з результатів спостережень над процесами, які відбуваються у живій та неживій природі. Ці процеси характеризуються, зокрема, повторюваністю та випадковістю, а їх результати (оптимальність) оцінюються самою природою. Частину метаевристичних алгоритмів складає клас популяційних алгоритмів, – алгоритмів, у яких, на відміну від траекторних, на кожній ітерації опрацьовується не один, а одразу декілька варіантів розв'язку. Можливість розпаралелювання обчислень позитивно впливає на результати криптоаналізу.

Формулювання мети дослідження

На даний момент накопичено значний досвід (як позитивний так і негативний) застосування метаевристичних методів до аналізу симетричних і несиметричних шифрів. Огляд сучасного стану та оцінка перспектив застосування метаевристичного підходу до вирішення практичних задач криптоаналізу є основною метою даного дослідження.

Викладення основного матеріалу дослідження

Результати сучасних досліджень із розробки й упровадження прикладних методів комбінаторної оптимізації, питання класифікації, підходи до розв'язування та оцінки обчислювальної складності задач комбінаторної оптимізації представлено Гуляницьким Л. Ф. та Мулесою О. Ю. в [1]. Застосування метаевристичних методів комбінаторної оптимізації дозволяє автоматизувати процес розв'язання задачі криптоаналізу, сформульованої як задача оптимізації. Класичні шифри першими потрапили під приціл даної технології криптоаналізу. Серед робіт у цьому напрямку важливе місце займає робота Кларка та Доусона [2], що присвячена криптоаналізу класичних шифрів з використанням генетичного алгоритму, імітації відпалу та пошуку табу. До цієї ж задачі Кларк разом з Расселом та Степні розглядають застосування алгоритму ACO в [3]. Дімовські та Глігорські в [4], Тоймех і Арамахем у [5] продовжили дослідження Кларка, експериментуючи з різними параметрами оптимізаційної евристики з [2]. Юддін та Юсуф у [6] реалізують атаку на шифр простої підстановки застосовуючи ACO, аналогічно до [3]. Приблизно у той же період Сонг та ін. в [7] фокусуються на диференціальному криптоаналізі шифру DES4, застосовуючи генетичний алгоритм. Герг у [8] доводить переваги міметичного алгоритму перед генетичним у випадку атаки на SDES (Simplified DES). Для атаки блокового шифру TEA, Вей Ху в [9] застосовує підхід, що поєднує квантові і еволюційні обчислення, а саме, використовує алгоритм QGA. Була показана ефективність QGA у випадку TEA4 і TEA5 у той час, як звичайний GA виявився неспроможним.

Атаку на DES з використанням методу оптимізації роєм частинок (PSO) описано Елмонімом та ін. в [10]. Інший приклад застосування роєвого інтелекту – криптоаналіз класичних шифрів методом оптимізації колонією мурах представлено Мехазні Т. та ін. у [11].

Боричка та ін. в [12] на прикладі класичних шифрів показують, що застосування еволюційних алгоритмів є доцільним для розв'язання задач криптоаналізу. Можливість атаки на DES4 за фрагментом шифротексту вивчають Дадліч та ін.у [13]. При цьому, для обчислення оптимального ключа використовуються роєві алгоритми оптимізації. Садехзадеш і Тагербахал, здійснюючи криптоаналіз шифрів перестановок, у [14] порівнюють ефективність використання детермінованого і стохастичного локального пошуку для прискорення роботи генетичного алгоритму. Критичні зауваження щодо можливості застосування еволюційних алгоритмів для криптоаналізу блокового шифру SDES можна знайти у Тейтауда і Фонлапта [15].

Алгоритм пошуку, що імітує політ зозулі (Cuckoo Search) для обчислення ключа шифру Віженера, застосовано Ашоком та ін. [16]. Тахар у [17] дослідив можливість криптоаналізу шифрів SDES, DES4, DES за допомогою популяційного алгоритму оптимізації, що імітує полювання кажанів у повній темряві – алгоритму BAT.

Дворак і Боричка у [18] описують диференціальний криптоаналіз блокового шифру FEAL4 (Four-rounded Fast Data Encipherment Algorithm) з використанням еволюційного алгоритму. У [19] вони ж разом із Налєпою та Кавулком показують атаку на SDES із застосуванням генетичного алгоритму і експериментально доводять ефективність міметичного підходу, який дозволяє суттєво скорочувати час роботи алгоритму за рахунок використання процедури детермінованого локального пошуку. Пізніше, у [20], Дворак і Боричка використовують генетичний алгоритм, як знаряддя для диференціального аналізу, атакуючи уже DES6.

Амік та ін. у [21] застосовують технологію роєвого інтелекту, що базується на поведінці колонії світляків (Binary Firefly Algorithm) до атаки на DES, а у [22] ці ж автори досліджують можливості метаевристики, що імітує поведінку домашньої кішки (Binary Cat Swarm Optimization (BCSO)) до задач криптоаналізу.

До відкритого доступу потрапляє мало публікацій присвячених криптоаналізу актуальної криптосистеми з відкритим ключем RSA. Одним з перспективних напрямків у пошуках підходу до вирішення задачі факторизації є застосування методів комбінаторної оптимізації. Кандра, Ракшмаваті та ін. у [23] провели серію обчислювальних експериментів, які показали, що табуйований пошук можна застосовувати, але цей метод не є ефективним для розв'язання проблеми факторизації.

Прикладом успішної атаки на ранцеву криптосистему Меркля-Хеллмана є застосування Грері та ін. у [24] алгоритму MH-ACO, що є незначною модифікацією ACO. Згодом, той же колектив авторів описав можливість застосування ACO до криптоаналізу шифрів підстановки та блокових шифрів SDES і SAES у [25], [26] і [27].

Джейн та ін. у [28] порівнювали Cuckoo Search та GA, досліджуючи атаки на шифри підстановки. Алгоритм, що імітує стратегію зграї дельфінів під час полювання, застосовували Амік та ін. до шифру DES у [29].

Ракшмаваті та ін. [30] продовжили спроби вирішення проблеми факторизації, застосовуючи метаевристичний підхід. Цього разу в якості інструменту криптоаналізу було обрано генетичний алгоритм. Обчислювальні експерименти довели спроможність GA до атак на RSA, причому було показано, що підбір параметрів генетичного алгоритму має істотний вплив на швидкість отримання результату.

Сабончі і Акай у [31] в рамках диференціального криптоаналізу наводять можливості застосування еволюційного підходу та алгоритмів роєвого інтелекту до атак на класичні шифри. Вони ж у [32] до шифру Віженера, застосовують гібридизацію алгоритму оптимізації колонією бджіл, додаючи операцію біноміального кросоверу. В оглядовій статті [33] Сабончі та Акай підсумовують результати застосування різноманітних метаевристик до криптоаналізу класичних шифрів.

Серед останніх публікацій – роботи Грері та ін. [34], Дворак і Боричка [35] які продовжили свої дослідження щодо застосування метаевристик у криптоаналізі. Зокрема, у [34] для атаки шифру Меркля Хеллмана розглядається алгоритми MH-BACO (binary ant colony optimization) та MH-MACO, який є гібридизацією алгоритмів MH-BACO та MH-ACO з [24]. Есперементально показано, що гібридний алгоритм MH-MACO має переваги. Також доведено, що цей алгоритм має переваги і перед генетичним алгоритмом, і перед PSO. У [35] Дворак і Боричка узагальнюють свої результати, здобуті у [18], [19], [20]. Для диференціального криптоаналізу DES6 вони модифікують міметичний алгоритм, застосовуючи імітаційний відпал замість процедури детермінованого локального пошуку.

Опубліковані приклади застосування метаевристичного підходу до вирішення проблем криптоаналізу доводять спроможність даного підходу.

Висновки

Метаевристичні підходи до розв'язання задач комбінаторної оптимізації дозволяють отримувати прийнятні результати. Їхня вага значно зростає у випадках, коли застосування інших методів ускладнене. Задачею криптографічного захисту інформації якраз і є максимальне ускладнення можливостей для успішного криптоаналізу. Рандомізовані алгоритми, за певних умов, дозволяють знаходити розв'язок навіть тоді, коли ймовірність успіху дуже мала. Метаевристики, які використовують властивості рандомізованих процедур пошуку, стають потужним знаряддям криптоаналіу. Кожна з публікацій, наведених вище є реалізацією метаевристичного підходу до криптоаналізу. Спектр атакованих шифрів, від класичних до сучасних шифрів з відкритим ключем, доводить універсальність методу.

Список використаної літератури

1. Гуляницький Л. Ф., Мулеса О.Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Київ: ВПЦ «Київський університет». 2016. 142 с.

2. Andrew Clark, Ed Dawson, Optimisation Heuristics for the Automated Cryptanalysis of Classical Ciphers. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing.* Vol. 28. 1998. pp. 63–86.

3. M. D. Russell, J. A. Clark and S. Stepney. Making the most of two heuristics: breaking transposition ciphers with ants. *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC '03*., Canberra, ACT, Australia Vol. 4. 2003. pp. 2653–2658. https://doi.org/10.1109/CEC.2003.1299423

4. Dimovski A., Gligoroski D. Attacks on the Transposition Ciphers Using Optimization Heuristics. *International Scientific Conference on Information, Communication Energy Systems,Technologies.* ICEST 2003.

5. Toemeh R., Arumugam S. Breaking Transposition Cipher with Genetic Algorithm. *Elektronika Ir Elektrotechnika.* 79(7). 2007. pp. 75–78. https://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/10844

6. Uddin M. F., Youssef A. M. An artificial life technique for the cryptanalysis of simple substitution ciphers. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. IEEE.* 2006. pp. 1582–1585. http://dx.doi.org/10.1109%2FCCECE.2006.277769

7. Song J., Zhang H., Meng Q., Zhangyi W. Cryptanalysis of Four-Round DES Based on Genetic Algorithm. *Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput. IEEE*, 2007, 10. pp. 2326–2329. https://doi.org/10.1109/WICOM.2007.580

8. Garg P. A. Comparison between Memetic algorithm and Genetic algorithm for the cryptanalysis of Simplified Data Encryption Standard algorithm. *Int. J. Netw. Secur. Its Appl. (IJNSA).* 1. 2009. pp. 34–42. https://doi.org/10.48550/arXiv.1004.0574

9. Hu W. Cryptanalysis of TEA using quantum-inspired genetic algorithms. J. *Softw. Eng. Appl.* 3. 2010. pp. 50–57. http://dx.doi.org/10.4236/jsea.2010.31006

10. Abd-Elmonim W.G., Ghali N.I., Hassanien A.E., Abraham. A. Known-Plaintext Attack of DES16 Using Particle Swarm Optimization. *In Proceedings of the Third IEEE World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing. Salamanca.* Spain. 2011. pp. 12–16. https://doi.org/10.1109/NaBIC.2011.6089410

11. Mekhaznia T., Menai M. Cryptanalysis of classical ciphers with ant algorithms. *International Journal of Metaheuristics*. 3(3). 2014. pp. 175–198. https://doi.org/10.1504/IJMHEUR.2014.065159

12. Boryczka U., Dworak K. Genetic Transformation Techniques in Cryptanalysis. In: Nguyen, N.T., Attachoo, B., Trawiński, B., Somboonviwat, K. (eds) *Intelligent Information and Database Systems. ACIIDS 2014. Lecture Notes in Computer Science*. vol. 8398. 2014. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05458-2_16

13. Dadhich A., Gupta A., Yadav S. Swarm Intelligence based linear cryptanalysis of four-round Data Encryption Standard algorithm. *International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT),* 2014, pp. 378–383. http://dx.doi.org/10.1109%2FICICICT.2014.6781312

14. Sadeghzadeh M, Taherbaghal M. A new method for decoding an encrypted text by genetic algorithms and its comparison with tabu search and simulated annealing. *Management Science Letters.* 4(2). 2014. pp. 213–220. https://doi.org/10.5267/j.msl.2013.12.037

15. Teytaud F., Fonlupt, C. A. Critical Reassessment of Evolutionary Algorithms on the cryptanalysis of the simplified data encryption standard algorithm. 2014. ArXiv, abs/1407.1993. https://doi.org/10.5121/IJCIS.2014.4201

16. Ashok K. Bhateja, Aditi Bhateja, Santanu Chaudhury, P.K. Saxena. Cryptanalysis of Vigenere cipher using Cuckoo Search. *Applied Soft Computing,* Vol. 26. 2015. pp. 315–324. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.10.004

17. Tahar, M. BAT algorithm for Cryptanalysis of Feistel cryptosystems. 3(2). 2015. pp. 82–85. https://doi.org/10.18201/ijisae.82426

18. Dworak K., Boryczka U. Differential Cryptanalysis of FEAL4 Using Evolutionary Algorithm. In: Nguyen, N., Iliadis, L., Manolopoulos, Y., Trawiński, B. (eds) *Computational Collective Intelligence. ICCCI 2016. Lecture Notes in Computer Science.* 2016. vol. 9876. Springer. Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45246-3_10

19. Dworak, K., Nalepa, J., Boryczka, U., Kawulok, M. Cryptanalysis of SDES Using Genetic and Memetic Algorithms. In: Król, D., Madeyski, L., Nguyen, N. (eds) *Recent Developments in Intelligent Information and Database Systems. Studies in Computational Intelligence.* vol 642. 2016. Springer. Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31277-4_1

20. Dworak, K., Boryczka, U. Genetic Algorithm as Optimization Tool for Differential Cryptanalysis of DES6. In: Nguyen, N., Papadopoulos, G., Jędrzejowicz, P., Trawiński, B., Vossen, G. (eds) *Computational Collective Intelligence. ICCCI* 2017. Lecture Notes in Computer Science. vol. 10449. Springer. Cham. 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67077-5_11

21. Amic S., Soyjaudah K.S., Mohabeer H., Ramsawock. G. Cryptanalysis of DES16 using binary firefly algorithm. In Proceedings of the 2016 *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies.* IEEE: Balaclava. Mauritius. 2016. pp. 94–99. https://doi.org/10.1109/EmergiTech.2016.7737318

22. Amic S., Soyjaudah K.S., Ramsawock G. Binary cat swarm optimization for cryptanalysis. In Proceedings of the 2017 *IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*. Bhubaneswar. India. 2017. pp. 1–6. https://doi.org/10.1109/ANTS.2017.8384120

23. Candra A., Budiman M.A., Rachmawati D. On Factoring The RSA Modulus Using Tabu Search. *Journal of Computing and Applied Informatics*, vol. 1(1). 2017. pp. 30–37. https://doi.org/10.32734/JOCAI.V1.I1-65

24. Grari H., Azouaqui A., Zine-Dine K., Bakhouya M., Gaber J. Cryptanalysis of Knapsack Cipher Using Ant Colony Optimization. *Smart Application and Data Analysis for Smart Cities*. 2018. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3185322

25. Grari H., Azouaoui A., Zine-Dine K. A Novel Ant Colony Optimization Based Cryptanalysis of Substitution Cipher. In: Abraham, A., Haqiq, A., Ella Hassanien, A., Snasel, V., Alimi, A. (eds) Proceedings of the *Third International*

Afro-European Conference for Industrial Advancement AECIA 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing. vol. 565. 2016. pp. 180–187. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60834-1_19

26. Grari H., Azouaoui A., Zine-Dine K. Ant colony optimization for cryptanalysis of simplified-DES. In *Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2018)* Vol. 2: Advanced Intelligent Systems Applied to Energy. 2019. pp. 111–121. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12065-8_11

27. Grari H., Azouaoui A., Zine-Dine K. A cryptanalytic attack of simplified-AES using ant colony optimization. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*. 9(5). 2019. pp. 4287–4295. https://doi.org/10.11591/ijece.v9i5.pp4287-4295

28. Jain A., Chaudhari N. S. An improved genetic algorithm and a new discrete cuckoo algorithm for solving the classical substitution cipher. *International Journal of Applied Metaheuristic Computing (IJAMC)*. 10(2). 2019. pp. 109–130. DOI: 10.4018/IJAMC.2019040105

29. Amic S., Soyjaudah K.S., Ramsawock G. Dolphin swarm algorithm for cryptanalysis. In Information Systems Design and Intelligent Applications; Satapathy, S., Bhateja, V., Somanah, R., Yang, X.S., Senkerik, R., Eds.; *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 863. 2019. pp. 149–163. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5_15

30. D. Rachmawati, H. Tamara, S. Sembiring, M. Budiman. RSA public key solving technique by using genetic algorithm. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology,* Vol. 98. 15. 2020. pp. 2990–2999.

31. Sabonchi A. K. S., Akay B. Cryptanalysis of polyalphabetic cipher using differential evolution algorithm. Tehnički vjesnik. 27(4). 2020. pp. 1101–1107. https://doi.org/10.17559/TV-20190314095054

32. Akay B. A binomial crossover based artificial bee colony algorithm for cryptanalysis of polyalphabetic cipher. *Tehnički vjesnik*. 27(6). 2020. pp. 1825–1835. https://doi.org/10.17559/TV-20190422225110

33. Sabonchi A. K. S., Akay B. A survey on the Metaheuristics for Cryptanalysis of Substitution and Transposition Ciphers. *Computer Systems Science And Engineering*, vol. 39. 1. 2021. pp. 87–106. http://doi.org/10.32604/csse.2021.05365

34. Grari H., Lamzabi S., Azouaoui A., Zine-Dine K. Cryptanalysis of Merkle-Hellman cipher using ant colony optimization. *Int J Artif Intell*. 2021. pp. 490–500. DOI: 10.11591/ijai.v10.i2

35. Dworak K., Boryczka U. Breaking Data Encryption Standard with a Reduced Number of Rounds Using Metaheuristics Differential Cryptanalysis. *Entropy*. vol. 23. 12. 2021. pp. 1697–1718. https://doi.org/10.3390/e23121697

References

1. Hulianytskyi L., Mulesa O. (2016). Applied methods of combinatorial optimization. Kyiv, P. 142. [in Ukrainian]

2. Andrew Clark, Ed Dawson. (1998).Optimisation Heuristics for the Automated Cryptanalysis of Classical Ciphers. *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*. Vol. 28. pp. 63–86.

3. M. D. Russell, J. A. Clark and S. Stepney. (2003). Making the most of two heuristics: breaking transposition ciphers with ants. *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC '03.,* Canberra, ACT, Australia. Vol.4. pp. 2653–2658. https://doi.org/10.1109/CEC.2003.1299423

4. Dimovski A., Gligoroski D. (2003). Attacks on the Transposition Ciphers Using Optimization Heuristics. *International Scientific Conference on Information, Communication Energy Systems, Technologies ICEST* 2003, Sofia, Bulgaria, October 2003.

5. Toemeh R., Arumugam S. (2007). Breaking Transposition Cipher with Genetic Algorithm. *Elektronika Ir Elektrotechnika*. 79(7). pp. 75–78. https://eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/10844

6. Uddin M. F., Youssef A. M. An artificial life technique for the cryptanalysis of simple substitution ciphers. In 2006 *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. IEEE.* 2006. 1582 1585). http://dx.doi.org/10.1109%2FCCECE.2006.277769

7. Song, J.; Zhang, H.; Meng, Q.; Zhangyi, W. (2007). Cryptanalysis of Four-Round DES Based on Genetic Algorithm. *Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput. IEEE.* 10. pp. 2326–2329. https://doi.org/10.1109/WICOM.2007.580

8. Garg P. (2009). A Comparison between Memetic algorithm and Genetic algorithm for the cryptanalysis of Simplified Data Encryption Standard algorithm. *Int. J. Netw. Secur. Its Appl. (IJNSA)*. 1. pp. 34–42. https://doi.org/10.48550/arXiv.1004.0574

9. Hu W. (2010). Cryptanalysis of TEA using quantum-inspired genetic algorithms. *J. Softw. Eng. Appl.* 3. pp. 50–57. http://dx.doi.org/10.4236/jsea.2010.31006

10. Abd-Elmonim W.G., Ghali N.I., Hassanien A.E., Abraham. A. (2011). Known-Plaintext Attack of DES16 Using Particle Swarm Optimization. *In Proceedings of the Third IEEE World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, Salamanca, Spain.* pp. 12–16. https://doi.org/10.1109/NaBIC.2011.6089410

11. Mekhaznia T., Menai M. (2014). Cryptanalysis of classical ciphers with ant algorithms. *International Journal of Metaheuristics*. 3(3). pp. 175–198. https://doi.org/10.1504/IJMHEUR.2014.065159

12. Boryczka U., Dworak K. (2014). Genetic Transformation Techniques in Cryptanalysis. In: Nguyen, N.T., Attachoo, B., Trawiński, B., Somboonviwat, K. (eds) *Intelligent Information and Database Systems. ACIIDS 2014. Lecture Notes in Computer Science*. vol. 8398. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05458-2_16

13. Dadhich A., Gupta A., Yadav S. (2014). Swarm Intelligence based linear cryptanalysis of four-round Data Encryption Standard algorithm. In 2014 *International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT)*. pp. 378–383. http://dx.doi.org/10.1109%2FICICICT.2014.6781312

14. Sadeghzadeh M, Taherbaghal M. (2014). A new method for decoding an encrypted text by genetic algorithms and its comparison with tabu search and simulated annealing.Management Science Letters. 4(2). pp. 213–220. https://doi.org/10.5267/j.msl.2013.12.037

15. Teytaud F., Fonlupt, C. (2014). A Critical Reassessment of Evolutionary Algorithms on the cryptanalysis of the simplified data encryption standard algorithm. ArXiv, abs/1407.1993. https://doi.org/10.5121/IJCIS.2014.4201

16. Ashok K. Bhateja, Aditi Bhateja, Santanu Chaudhury, P.K. Saxena (2015). Cryptanalysis of Vigenere cipher using Cuckoo Search. *Applied Soft Computing*. Vol. 26. pp. 315–324. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.10.004

17. Tahar, M. (2015). BAT algorithm for Cryptanalysis of Feistel cryptosystems. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*. 3(2). pp. 82–85. https://doi.org/10.18201/ijisae.82426

18. Dworak K., Boryczka U. (2016). Differential Cryptanalysis of FEAL4 Using Evolutionary Algorithm. In: Nguyen, N., Iliadis, L., Manolopoulos, Y., Trawiński, B. (eds) *Computational Collective Intelligence. ICCCI 2016. Lecture Notes in Computer Science*. vol. 9876. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45246-3_10

19. Dworak, K., Nalepa, J., Boryczka, U., Kawulok, M. (2016). Cryptanalysis of SDES Using Genetic and Memetic Algorithms. In: Król, D., Madeyski, L., Nguyen, N. (eds) *Recent Developments in Intelligent Information and Database Systems. Studies in Computational Intelligence*, vol 642. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31277-4_1

20. Dworak, K., Boryczka, U. (2017). Genetic Algorithm as Optimization Tool for Differential Cryptanalysis of DES6. In: Nguyen, N., Papadopoulos, G., Jędrzejowicz, P., Trawiński, B., Vossen, G. (eds) *Computational Collective Intelligence. ICCCI 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10449. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67077-5_11

21. Amic S., Soyjaudah K.S., Mohabeer H., Ramsawock. G. (2016). Cryptanalysis of DES16 using binary firefly algorithm. In Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies, Balaclava, Mauritius, 3–6 August 2016; IEEE: Balaclava, Mauritius. pp. 94–99. https://doi.org/10.1109/EmergiTech.2016.7737318

22. Amic S., Soyjaudah K.S., Ramsawock G. (2017). Binary cat swarm optimization for cryptanalysis. In Proceedings of the *2017 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), Bhubaneswar, India*. pp. 1–6. https://doi.org/10.1109/ANTS.2017.8384120

23. Candra A., Budiman M.A., Rachmawati D. (2017). On Factoring The RSA Modulus Using Tabu Search. J*ournal of Computing and Applied Informatics*. vol. 1. n. 1. pp. 30–37. https://doi.org/10.32734/JOCAI.V1.I1-65

24. Grari H., Azouaqui A., Zine-Dine K., Bakhouya M., Gaber J. (2018). Cryptanalysis of Knapsack Cipher Using Ant Colony Optimization. *Smart Application and Data Analysis for Smart Cities*. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3185322

25. Grari H., Azouaoui A., Zine-Dine K. (2016). A Novel Ant Colony Optimization Based Cryptanalysis of Substitution Cipher. In: Abraham, A., Haqiq, A., Ella Hassanien, A., Snasel, V., Alimi, A. (eds) Proceedings of the *Third International Afro-European Conference for Industrial Advancement AECIA 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*. vol. 565. pp. 180–187 https://doi.org/10.1007/978-3-319-60834-1_19

26. Grari H., Azouaoui A., Zine-Dine K. (2019). Ant colony optimization for cryptanalysis of simplified-DES. In Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2018) Vol 2: *Advanced Intelligent Systems Applied to Energy*. pp. 111–121. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12065-8_11

27. Grari H., Azouaoui A., Zine-Dine K. (2019). A cryptanalytic attack of simplified-AES using ant colony optimization. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*. 9(5). pp. 4287–4295. https://doi.org/10.11591/ijece.v9i5.pp4287-4295

28. Jain A., Chaudhari N. S. (2019). An improved genetic algorithm and a new discrete cuckoo algorithm for solving the classical substitution cipher. *International Journal of Applied Metaheuristic Computing (IJAMC).* 10(2), 109 130. DOI: 10.4018/IJAMC.2019040105

29. Amic S., Soyjaudah K.S., Ramsawock G. (2019). Dolphin swarm algorithm for cryptanalysis. In Information Systems Design and Intelligent Applications; Satapathy, S., Bhateja, V., Somanah, R., Yang, X.S., Senkerik, R., Eds.; *Advances in Intelligent Systems and Computing.* Vol. 863. pp. 149–163. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3338-5_15

30. D. Rachmawati, H. Tamara, S. Sembiring, M. Budiman. (2020). RSA public key solving technique by using genetic algorithm. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 98. No. 15. pp .2990–2999. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053419786&partnerID=40&md5=1072f49ab20414f2288933fefbef056e

31. Sabonchi A. K. S., Akay B. (2020). Cryptanalysis of polyalphabetic cipher using differential evolution algorithm. *Tehnički vjesnik.* 27(4). pp. 1101–1107. https://doi.org/10.17559/TV-20190314095054

32. Akay B. (2020). A binomial crossover based artificial bee colony algorithm for cryptanalysis of polyalphabetic cipher. *Tehnički vjesnik*. 27(6). pp. 1825–1835. https://doi.org/10.17559/TV-20190422225110

33. Sabonchi A. K. S., Akay B. (2021). A survey on the Metaheuristics for Cryptanalysis of Substitution and Transposition Ciphers. *Computer Systems Science And Engineering*. vol. 39. no. 1. pp. 87–106. http://doi.org/10.32604/csse.2021.05365

34. Grari H., Lamzabi S., Azouaoui A., Zine-Dine K. (2021). Cryptanalysis of Merkle-Hellman cipher using ant colony optimization. *Int J Artif Intell.* pp. 490–500. DOI: 10.11591/ijai.v10.i2

35. Dworak K., Boryczka U. (2021). Breaking Data Encryption Standard with a Reduced Number of Rounds Using Metaheuristics Differential Cryptanalysis. *Entropy*. vol. 23. no. 12 pp. 1697–1718. https://doi.org/10.3390/e23121697

УДК 681.586 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.21

Г. В. КУЛІНЧЕНКО
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління
Сумський державний університет
ORCID: 0000-0002-8501-5636

П. В. ЛЕОНТЬЄВ
кандидат технічних наук,
завідувач кафедри комп'ютеризованих систем управління
Сумський державний університет
ORCID: 0000-0002-9494-9078

А. В. САВЕНКО
студент кафедри комп'ютеризованих систем управління
Сумський державний університет
ORCID: 0000-0002-7621-2777

О. В. ЛЕВКОВСЬКИЙ
аспірант, асистент кафедри комп'ютеризованих систем управління
Сумський державний університет
ORCID: 0009-0005-3073-2952

МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ ПОЗИЦІОНУВАННЯМ ПЛАТФОРМИ БУДІВЕЛЬНОГО ПРИНТЕРА

У будівельній галузі, використання будівельних 3D принтерів радіального типу стає все більш популярним. Ці інноваційні принтери вже успішно застосовуються в п'яти країнах світу. Вони дозволяють зменшити витрати людських, енергетичних і часових ресурсів, в порівнянні з традиційними методами будівництва. Радіальні принтери компактні й не потребують додаткових каркасних конструкцій. Якість та швидкість будівництва залежать від працездатності принтера та точності його позиціонування. Дослідники активно працюють над вдосконаленням цих параметрів, з метою поліпшення результатів будівництва.

Керування висотою підйому платформи грає важливу роль у досягненні високої точності позиціонування принтера, враховуючи вимоги до якості будівництва. Для ефективного розв'язання цих завдань застосовуються передові інформаційні технології, такі як імітаційне моделювання, автоматизоване керування. Результати експериментів і досліджень використовуються для вдосконалення функціональних характеристик системи підйому будівельного принтера і можуть бути застосовані при розробці систем керування для інших підйомних механізмів, таких як гідравлічний підйомник, гідравлічний прес або телескопічний вантажний кран.

Основною метою проведення досліджень є підвищення точності позиціювання платформи будівельного принтера в умовах дії збурень. У рамках роботи було проведено аналіз технологічних параметрів об'єкта керування, сформульовано вимоги до регуляторів, розроблена імітаційна модель системи підйому та налаштовані регулятори моделі позиціонування платформи. Результатом дослідження є опрацювання методики структурно параметричного синтезу керуючих пристроїв позиціонуванням платформи будівельного принтера.

Ключові слова: *алгоритм, режими керування, гідравлічний привод, нечіткий регулятор, система керування, позиціонування, PID регулятор, імітаційна модель.*

H. V. KULINCHENKO
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Computerized Management Systems
Sumy State University
ORCID: 0000-0002-8501-5636

P. V. LEONTIEV
Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department of Computerized Management Systems
Sumy State University
ORCID: 0000-0002-9494-9078

A. V. SAVENKO
Student at the Department of Computerized Management Systems
Sumy State University
ORCID: 0000-0002-7621-2777

O. V. LEVKOVSKYI
Postgraduate Student,
Assistant at the Department of Computerized Control Systems
Sumy State University
ORCID: 0009-0005-3073-2952

MODELING OF CONTROL ALGORITHMS POSITIONING OF THE CONSTRUCTION PRINTER PLATFORM

In the construction industry, the use of radial-type construction 3D printers is becoming more and more popular. These innovative printers are already successfully used in five countries of the world. They make it possible to reduce the costs of human, energy and time resources, compared to traditional construction methods. Radial printers are compact and do not require additional frame structures. The quality and speed of construction depend on the performance of the printer and the accuracy of its positioning. Researchers are actively working on improving these parameters in order to improve construction results.

Platform lift height control plays an important role in achieving high printer positioning accuracy, taking into account build quality requirements. Advanced information technologies, such as simulation modeling and automated control, are used to effectively solve these tasks. The results of experiments and research are used to improve the functional characteristics of the lifting system of the construction printer and can be applied in the development of control systems for other lifting mechanisms, such as a hydraulic lift, a hydraulic press or a telescopic loading crane.

The main goal of the research is to increase the accuracy of the positioning of the construction printer platform under conditions of disturbances. As part of the work, the technological parameters of the control object were analyzed, the requirements for regulators were formulated, a simulation model of the lifting system was developed, and the regulators of the platform positioning model were adjusted. The result of the study is the elaboration of the method of structural parametric synthesis of control devices by positioning the construction printer platform.

Key words: *algorithm, control modes, hydraulic drive, fuzzy controller, control system, positioning, PID controller, simulation model.*

Постановка проблеми

Можливості реалізації заданих параметрів систем позиціонування визначаються відповідно до результатів моделювання цієї системи [1]. Крім вирішення задач розробки регулятора, який забезпечує необхідні параметри роботи приводу, при модернізації засобів підйому будівельної платформи доводиться оптимізувати конструктивно – технологічні параметри цього обладнання. Підхід до оптимізації параметрів технологічного обладнання, заснований на представленні об'єкта керування (ОК) у вигляді мехатронного агрегату [2], дозволяє визначити структуру регулятора. Аналізуючи результати моделювання, можна узагальнити критерій керування, який би враховував взаємовплив технологічних параметрів мехатронного модуля. Це узагальнення дозволяє збалансувати вимоги до складових системи керування та задовільнити вимоги до параметрів регулятора без ускладнення системи керування приводом.

Жорсткі вимоги до точності позиціювання платформи, що розглядається, витікають із специфіки технології контурного будівництва та забезпечення надійності будівлі, що створюється за вибраною технологією. Прагнення спростити реалізацію системи керування платформою обумовлює певний функціональний розподіл між окремими складовими системи (технічна та програмна). Тому формулювання меж та об'ємів розподілу функцій системи керування визначає актуальність таких досліджень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Виконавчим органом системи підйому платформи є привод, який складається з електромеханічної і гідравлічної частини. Розглядаючи варіанти побудови систем підйому, можна констатувати, що вони в основному використовуються в системах спрямованих на підйом великих вантажів [3]. Враховуючи необхідність точного позиціонування системи підйому будівельного принтера, на відміну від згаданих систем, рух штоків гідроциліндрів здійснюється за рахунок подачі малих фіксованих об'ємів гідравлічної рідини. Точне дозування малих об'ємів робочої рідини в гідравлічну систему можна отримати, якщо керувати обертами насоса певного об'єму [4].

Звертаючи увагу на енергозберігаюче керування електроприводом насоса гідравлічного крана, в якому використовується асинхронний двигун з частотним перетворювачем [5], розглядаються варіанти налаштування робочих швидкостей головного насоса. При цьому за допомогою моделі «досліджуються можливості збільшення інтенсивності перехідних процесів з метою скорочення часу розгону насосу до технологічно припустимих

значень. Більш точне керування головним насосом може бути реалізоване шляхом завдання в системі тиску, необхідного для роботи з конкретним значення моменту навантаження кожного з механізмів».

Одним із недоліків використання такого типу двигуна у гідравлічних системах є його м'яка механічна характеристика. Тому під час різкої зміни механічного навантаження на гідромотор спостерігаються збурення моменту асинхронного двигуна. Для подолання провалів обертаючого моменту доводиться використовувати асинхронні двигуни великої потужності, що суттєво знижує ККД системи.

Порівняно з двигуном змінного струму, двигун постійного струму має відмінні характеристики регулювання швидкості, великий крутний момент, добру продуктивність на низькій швидкості та високу ефективність [6]. Проте, вплив умов експлуатації – наявність вологи, пилу та вібрації, що характерно для будівельних робіт, значно обмежує можливості його використання в системі підйому будівельного принтера. До того ж, при вирішенні задач точного дозування робочої рідини необхідно використовувати додаткові гальмівні елементів, які дозволяють запобігти утворенню надлишкового тиску в гідравлічній системі.

Альтернативою до згаданих двигунів при побудові приводу точних насосів може бути кроковий двигун (КД), який має фіксований кут повороту і момент утримання положення валу, незалежно від наявності живлення [7].

Отже, вибір КД в якості приводу гідравлічної системи підйому дозволяє сформувати завдання досліджень системи керування позиціонуванням платформи будівельного принтера.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розробка математичної моделі системи керування платформи будівельного принтера на базі КД, а також оцінка можливостей розробки алгоритму керування мікропроцесорними засобами системи, який забезпечить максимальну точність позиціонування платформи.

Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів системи підйому.

На основі аналізу результатів моделювання оцінити характеристики побудованого приводу та здійснити параметричний синтез регулятора, який забезпечить рівномірний підйом платформи із заданою точністю.

Виконання цих завдань сприяє відпрацюванню взаємодії апаратної та програмної складових системи в аспекті розподілення її функцій.

Крім того, дослідження методів та каналів керування елементами і апаратами подачі гідравлічної рідини дає змогу оптимізувати параметри механічної частини установки підйому та сформувати шляхи подальшої модернізації.

Матеріали дослідження

Схема ОК, що представляє собою систему підйому платформи будівельного принтера зображена на рис. 1. Ця схема складається з двох частин: гідравлічної підсистеми та електромеханічного приводу.

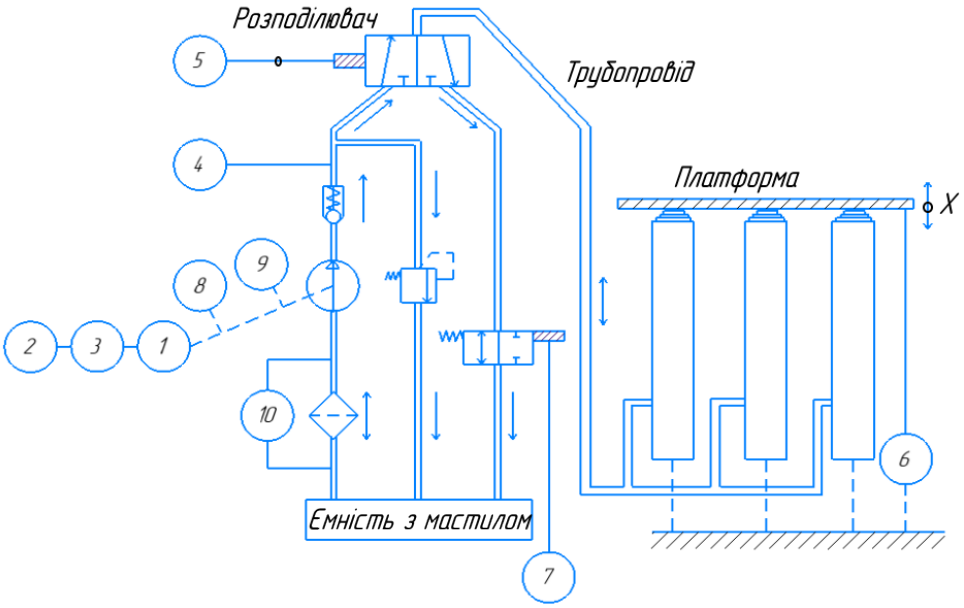


Рис. 1. Функціональна схема гідравлічної системи підйому: 1 – КД; 2 – драйвер; 3 – давач струму в обмотках КД; 4 – давач тиску; 5 – контролер розподільника; 6 – давач висоти підйому платформи; 7 – контролер клапана зливної магістралі; 8 – давач швидкості обертання валу КД; 9 – давач кута повороту валу КД; 10 – диференціальний давач тиску

Електромеханічний привод будується на базі КД, який, механічно зв'язаний з насосом. При їх обертанні в напірній магістралі системи створюється необхідний тиск гідравлічної рідини, якого достатньо для руху платформи. Для опускання платформи конструктивно передбачена зливна магістраль, в якій встановлено електричний клапан. Відкриття клапану 7 (рис. 1) знижує тиск, в результаті чого тиск в магістралі зменшується, і платформа принтера змінює напрямок руху. Стабілізація положення здійснюється за рахунок компенсації втрат тиску, який контролюється давачем тиску 4.

Структурна схема системи підйому (СП) платформи будівельного принтера представлена на рис. 2.

Частота керуючих імпульсів fi, що надходять з мікроконтролера (МК), задає швидкість обертання ω КД, який обертає шестерінчастий насос (НШ). Тиск гідравлічної рідини P, що утворюється в трубопроводі гідроприводу, визначає переміщення штоку гідроприводу. Від тиску *P* і витрати *q* залежить швидкість переміщення штоку гідроциліндра V та висота підйому платформи *h*.

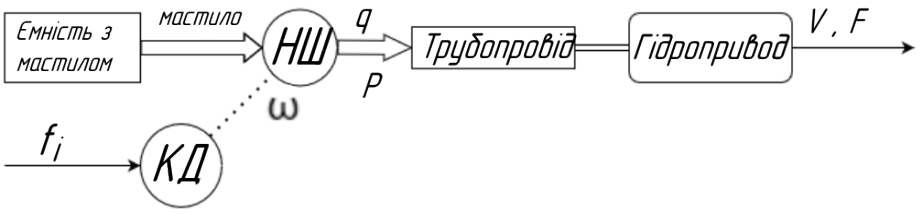


Рис. 2. Структурна схема СП

Електромеханічний модуль складається з наступних функціональних вузлів: приводний КД; шестерінчастий насос (НШ); трубопровід; гідропривод.

Відповідно до відомих методів моделювання КД [8] в середовищі MATLAB побудовано функціональний блок «ПРИВОД», який входить до складу підсистеми електромеханічного перетворювача. Схема електромеханічного перетворювача зображена на рис. 3. До складу цієї схеми також входить блок «Speed controller», який через блок «ПРИВОД» видає керуючі впливи до гідророзподілювача підйомника.

Схема моделювання гідравлічного підйомника, яка використовує мнемоніку MATLAB Simhydraulic [9], зображена на рис. 4. На схемі показана взаємодія гідронасосу, гідроциліндру і гідророзподілювача. Керуючий вплив на насос надходить із підсистеми електромеханічного перетворювача.

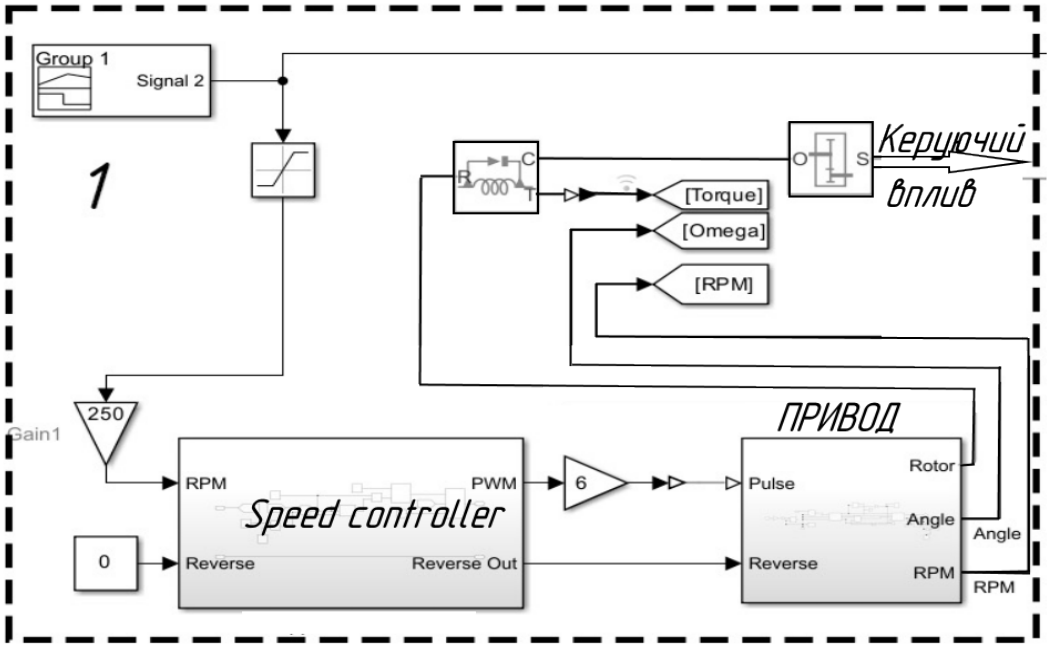


Рис. 3. Імітаційна модель електромеханічного перетворювача

В процесі досліджень імітаційної моделі виявилося [10], що процес переміщенні платформи супроводжується коливаннями, які виникають в результаті взаємодії елементів конструкції платформи будівельного принтера.

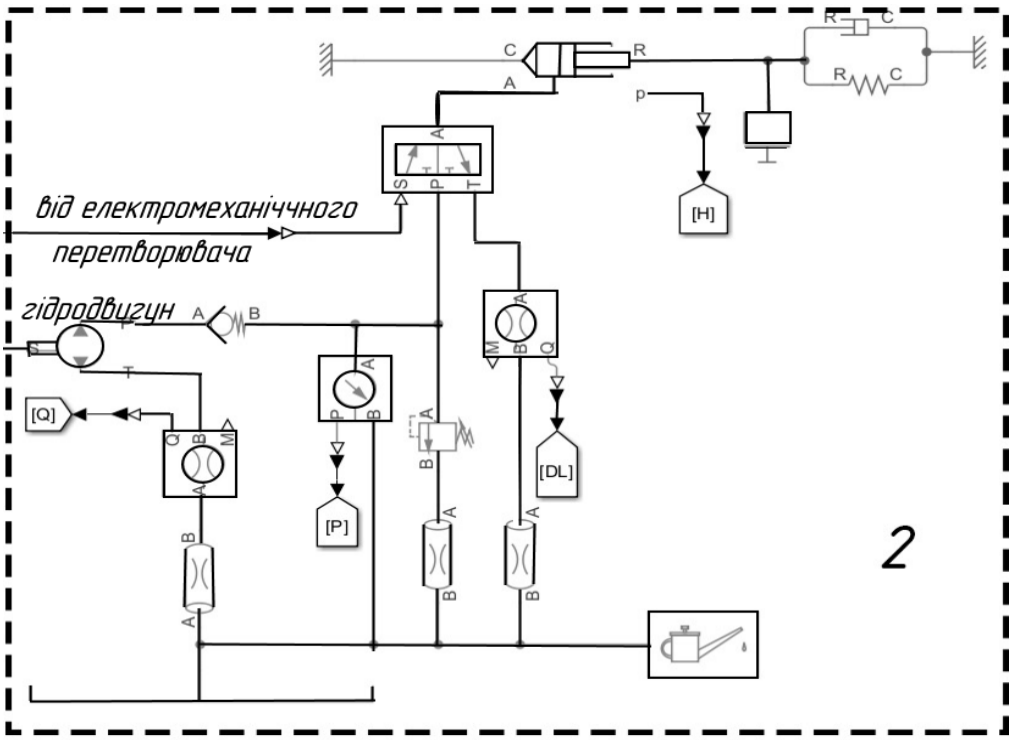


Рис. 4. Імітаційна модель гідравлічного підйомника

Як видно із осцилограм, що показані на рис. 5, коливання заданої висоти (рис. 5а) виникають під час різкої зміни швидкості руху платформи (рис. 5б). Коливання висоти, що спостерігаються, мають певний час згасання і залежать від сталих часу ОК. Зменшення величини коливань які впливають на точність позиціонування, відповідно, на якість роботи будівельного принтера, є додатковим завданням регулятора цього параметру.

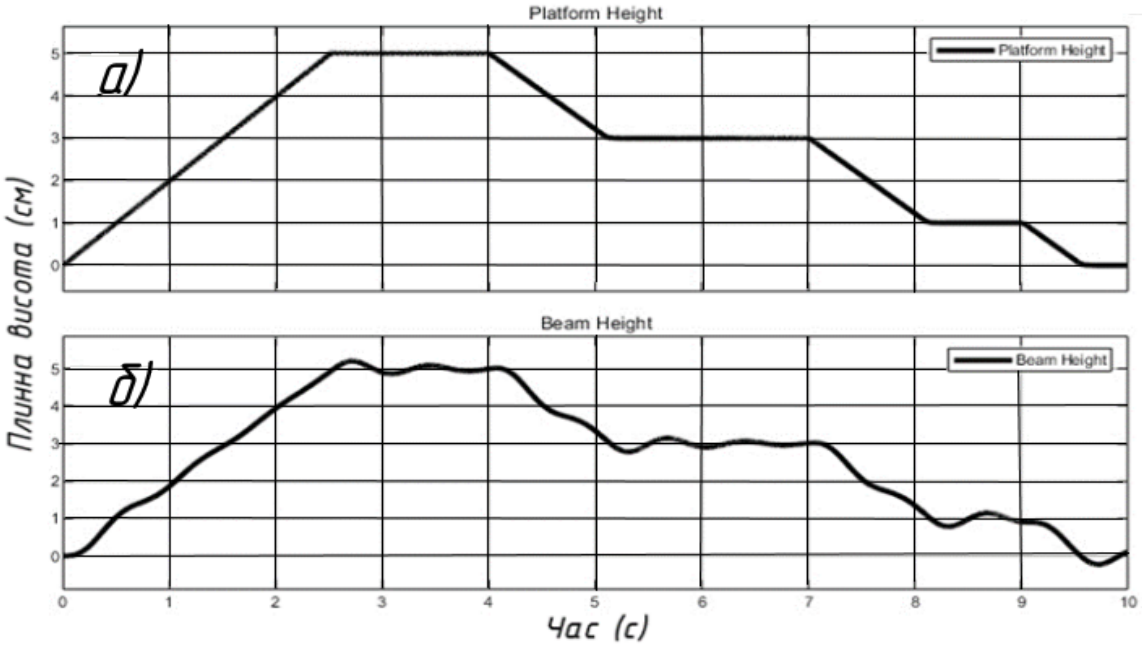


Рис. 5. Осцилограми зміни висоти підйому платформи: а – осцилограма заданої висоти; б – плинне значення висоти платформи

Традиційний підхід щодо компенсації збурень шляхом використання ПІД регулятора висоти по каналу витрат виявляється неефективним, як це видно із рис. 6.

Одною із причин, що впливають на якість регулювання, може бути відмінність сталих часу каналу керування по висоті та каналу збурень. Така ситуація обумовлює побудову додаткового каналу керування, який би забезпечив компенсацію коливань.

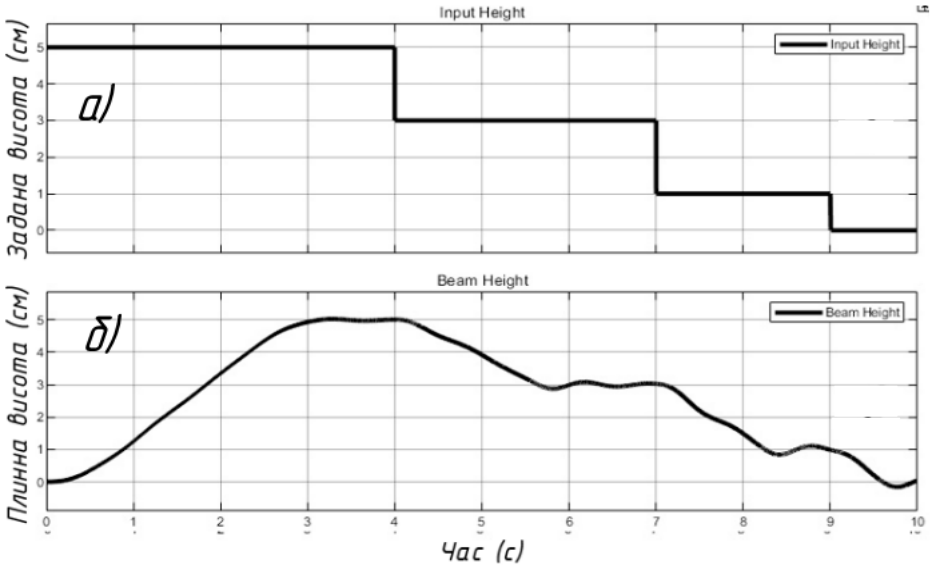


Рис. 6. Осцилограми зміни висоти з використанням ПІД регулятора: а – осцилограма заданої висоти; б – плинне значення висоти платформи

Недостатня ефективність традиційних ПІД регуляторів пояснюється тим, що зміна параметрів ОК або зміна характеру зовнішніх збурень вимагає ручного налаштування коефіцієнтів регулятора. Додаткові складнощі налаштувань виникають у випадках, коли необхідно забезпечити взаємодію цього регулятора із іншими контурами, наприклад, пов'язаного керування. Нелінійність та нестаціонарність рівнянь, що описують реальні переміщення в ОК, призводять до того, що при керуванні такими переміщеннями параметри налаштувань регулятора вибирають шляхом компромісу. Оптимізація системи здійснюється у декількох точках, відповідно до вибраного режиму шляхом корегувань параметрів регулятора.

Враховуючи, що коливальність перехідних процесів переміщення платформи залежить від декількох взаємопов'язаних параметрів гідроприводу, можна припустити, що аналітичний опис додаткового каналу керування буде мати складний характер. Тому для реалізації внутрішнього контуру керування системи вибрано регулятор з нечіткою логікою (Fuzzy Controller), який на першому етапі розробки будується в програмному середовищі MATLAB Simulink. Схема моделювання нечіткого регулятора тиску (контур стабілізації тиску гідроприводу) зображено на рис. 7.

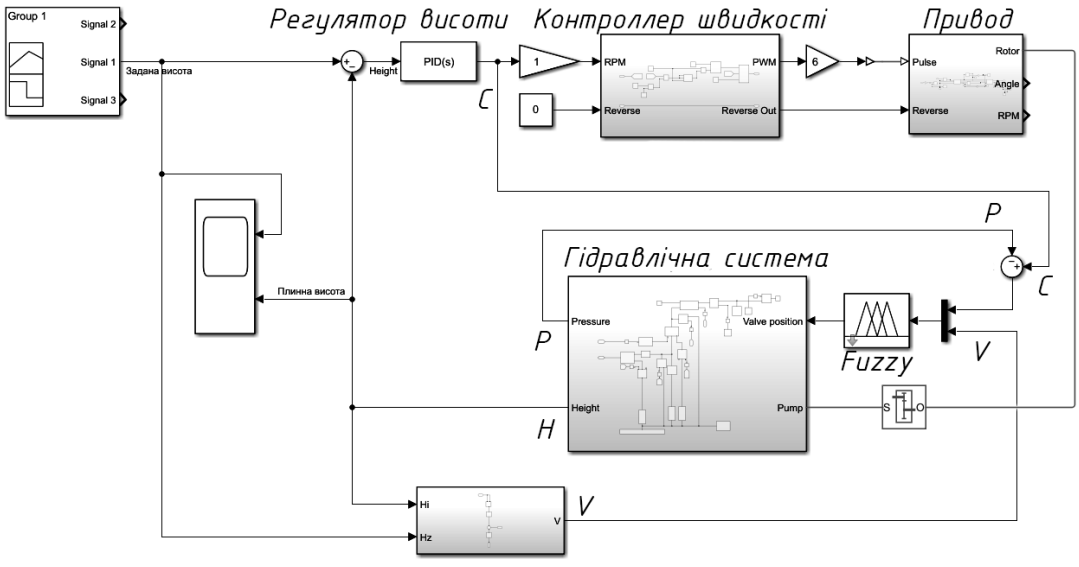


Рис. 7. Схема керування з використанням Fuzzy регулятора

Цей Fuzzy Controller на вході приймає два параметри: V – різниця між висотою на початку руху платформи і плинною висотою, C – керуючий вплив регулятора висоти (завдання Fuzzy регулятора тиску P).

Для мінімізації коливань висоти підйому формується набір правил, що дозволяють змінювати вихідне значення тиску в залежності від різниці плинної висоти платформи від заданої і коливань тиску в гідравлічному циліндрі. Ефективність дії регуляторів ілюструється рис. 8, де показано рівень коливань з використанням регулятора та без нього.

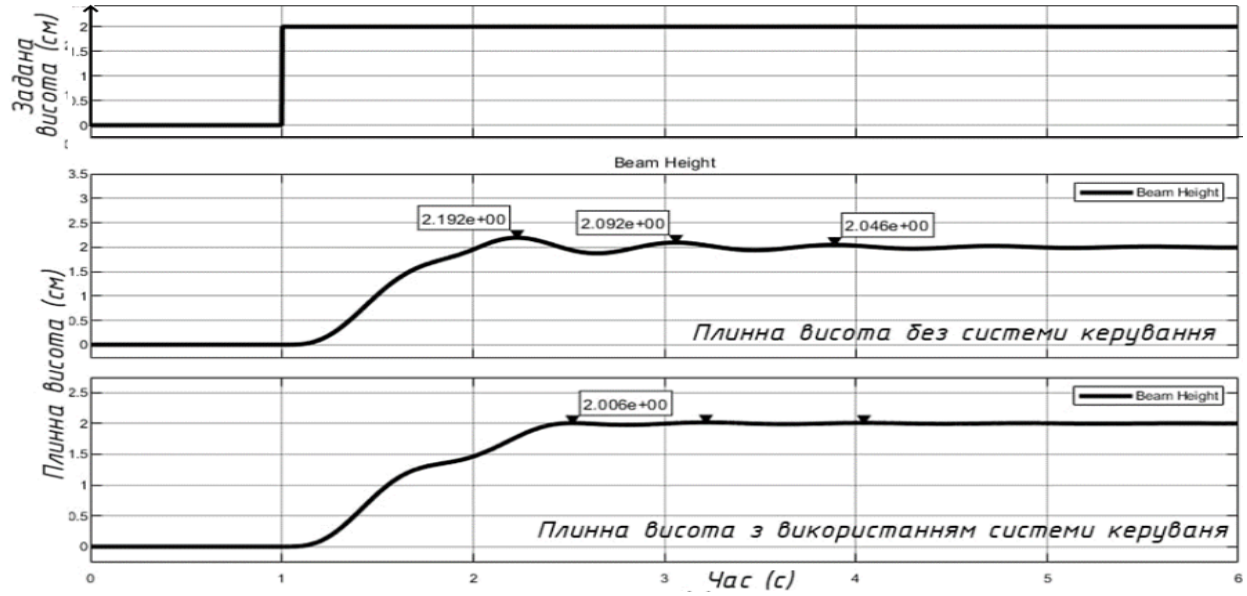


Рис. 8. Відображення процесу переміщення платформи

Результати тестування відпрацювання заданих значень висоти платформи показані на рис. 9.

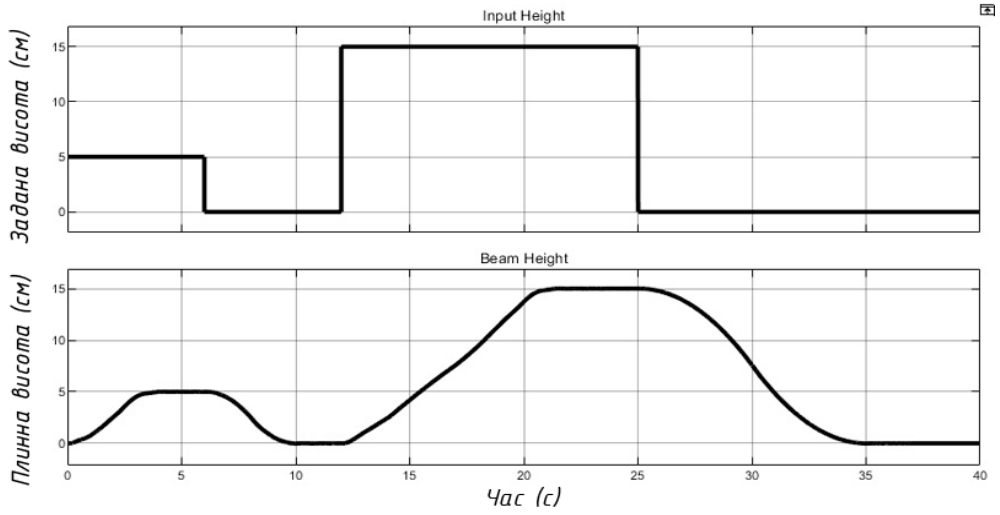


Рис. 9. Осцилограми зміни заданої і плинної висоти платформи

На осцилограмі рис. 9 видно, що під час імітації переміщення платформи на висоту 5 і 15 см коливання висоти мінімізовані в результаті адаптації виконавчого механізму до змін швидкості переміщення платформи. При цьому значення висоти платформи на виникнення коливань не впливають.

Підсумовуючи результати моделювання руху платформи будівельного принтера, можна констатувати, що точність позиціонування платформи забезпечується наступними вимогами:

– регулятор переміщення будується за багатоконтурною структурою;

– регулювання позиціонуванням платформи повинно реалізовувати процедури адаптації при зміні параметрів ОК;

– вибір енергетичних показників швидкість/вага повинен здійснюватися, виходячи із ККД, що досягається при реалізації системи керування.

Висновки

1. Розроблена модель переміщення платформи будівельного принтера радіального типу з урахуванням коливань висоти платформи.

2. На базі моделі проведена оцінка динамічних характеристики ОК, що дало змогу сформулювати вимоги до системи керування насосом та клапаном гідравлічної системи підйому платформи.

3. Дані, що отримані в результаті моделювання, забезпечили проведення структурно параметричний синтез регуляторів.

4. В результаті використання нечіткого регулятора мінімізовано рівень коливань платформи, що викликані зовнішніми збуреннями.

Список використаної літератури

1. Лупина І.Б., Клочко Т.Р., Скицюк В.І. Моделювання багатокритеріальної системи контролю роботи металообробного cnc-обладнання. Київ : *Вісник* Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування. 2021. № 61(1). С. 52–60.

2. Panchenko A., Voloshina A., Kiurchev S. and others. Development of the universal model of mechatronic system with a hydraulic drive. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 4/7(94). P. 51–60. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.129577

3. Stastny J. Motycka V. Design Optimization of Lifting Mechanisms. WMCAUS 2018. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 471 (2019) 062032. DOI:10.1088/1757-899X/471/6/062032

4. Андренко П. М. Гідравлічні пристрої мехатронних систем. Харків: НТУ «ХПІ». 2014. С. 7–34.

5. Мельнікова Л.В., Шестака А.І., Калінін О.Г. Енергозберігаюче керування електроприводом насоса гідравлічного крана . Електротехнічні та комп'ютерні системи. 2018. № 27. С. 82–90.

6. Morales R., Somolinos J.A., Sira-Ramírez H. Control of a DC Motor using Algebraic Derivative Estimation with Real Time. Experiments Measurement. 2014. Vol. 47. P. 401–417.

7. Кулінченко Г.В, Леонтьєв П.В., Панич А.О., Савенко А.В. Керування підйомом платформи будівельного принтера. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. Видавничий дім «Гельветика». 2022. Вип. 1. С. 30–38.

8. Кухарчук В. В., Ведміцький Ю. Г., Граняк В. Ф. Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідних режимах роботи. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. 2018. С. 35–45.

9. Vechet, Stanislav, Jirı Krejsa. Hydraulic arm modeling via matlab simhydraulics. Svratka, Czech Republic : National Conference with International Participation. Engineering Mechanics 16.4. 2009. С. 287–296.

10. Кулінченко Г.В., Леонтьєв П.В, Савенко А.В., Папета А.О. Керування стрілою будівельного принтера з допомогою крокового двигуна. Кременчук : XX Міжнародна науково-технічна конференція "Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів": матеріали конференції. 2021. С. 14–16.

References

1. Lupina I. B., Klochko T. R., Skytsyuk V. I. (2021) Modeliuvannia bahatokryterialnoi systemy kontroliu roboty metaloobrobnoho cnc-obladnannia. [Modeling of a multi-criteria control system for the operation of metalworking CNC equipment]. Kyiv: Visnyk Kyivskoho politekhnichnoho instytutu. Seriia Pryladobuduvannia. № 61(1). P. 52–60.

2. Panchenko A., Voloshina A., Kiurchev S. and others. (2018) Development of the universal model of mechatronic system with a hydraulic drive. [Development of the universal model of mechatronic system with a hydraulic drive]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 4/7(94). P. 51–60. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.129577

3. Stastny J., Motycka V. (2019) Design Optimization of Lifting Mechanisms. [Design Optimization of Lifting Mechanisms]. WMCAUS 2018. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 471 062032. DOI: 10.1088/1757-899X/471/6/062032

4. Andrenko P. M. (2014) Hidravlichni prystroyi mekhatronnykh system. [Hydraulic devices of mechatronic systems]. Kharkiv: NTU "KhPI". P. 7–34.

5. Melnikova L. V., Shestaka A. I., Kalinin O. G. (2018) Enerhozberezhennia keruvannia elektropryvodom nasosa hidravlichnoho krana. [Energy-saving control of the electric drive of a hydraulic crane pump]. Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy. № 27. P. 82–90.

6. Morales R., Somolinos J. A., Sira-Ramírez H. (2014) Control of a DC Motor using Algebraic Derivative Estimation with Real Time. [Control of a DC Motor using Algebraic Derivative Estimation with Real Time]. Experiments Measurement. Vol. 47. P. 401–417.

7. Kulinchenko H. V., Leontiev P. V., Panych A. O., Savenko A. V. (2022) Keruvannia pidiomom platformy budivelnoho druku. [Control of platform lifting for a construction printer]. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. Vidavnichyi dim "Helvetika". Vyp. 1. P. 30–38.

8. Kukharchuk V. V., Vedmitskyi Yu. H., Graniak V. F. (2018) Vymiriuvannia parametriv obertalnoho rukhu elektromekhanichnykh peretvoriuvachiv enerhii v perekhidnykh rezhymakh roboty. [Measurement of parameters of rotational motion of electromechanical energy converters in transient modes of operation]. Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia. P. 35–45.

9. Vechet, Stanislav, Jirı Krejsa. (2009) Hydraulic arm modeling via Matlab SimHydraulics. [Hydraulic arm modeling via Matlab SimHydraulics]. Svratka, Czech Republic: National Conference with International Participation. Engineering Mechanics 16.4. P. 287–296.

10. Kulinchenko H. V., Leontiev P. V., Savenko A. V., Papeta A. O. (2021) Keruvannia striloiu budivelnoho druku z dopomohoiu krokovoho dvyhuna. [Control of the boom of a construction printer using a stepper motor]. Kremenchuk: XX Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia "Fizychni protsesy ta polia tekhnichnykh i biolohichnykh obiektiv": materialy konferentsii. P. 14–16.

UDC 519.86 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.22

O. V. LARCHENKO
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Management
and Information Technologies
Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID: 0000-0001-7857-0802

THE EFFICIENCY ANALYSIS OF THE MATHEMATICAL MODELING METHODS APPLICATION IN THE ECONOMY

The article analyzes the relevance and effectiveness of the use of mathematical modeling methods in the modern economy. Also, in the article the basic stages of the process of mathematical modeling, classical economic problem that can be solved using this method. The article presents arguments proving the need to use mathematical modeling techniques as an integral part of effective management of the enterprise. It should be noted that a huge impact on the development and application of mathematical methods in the economy was and continues to be provided by the improvement of computing technology. Mathematical modeling also does not stand still, and develops in step with the improvement of personal computers. Yes, it is now possible to use those methods that could previously be described only theoretically or using simpler examples. Thanks to computer technology, the risk of errors in solving tasks is reduced and the time spent on solving them is significantly reduced.

Solving tasks of economic analysis by mathematical methods is possible only when constructing mathematical, that is, real economic relations and dependencies of expressions using mathematical analysis. This calls for the development of mathematical models. Mathematical methods play an important role in economic analysis, as they can provide accurate calculations and full accounting of the influence of factors using short-term forecasting methods and management decision-making at the enterprise. The article highlights the results of research and development in the field of analysis of economic processes and systems based on the use of economic and mathematical methods and tools. The mathematical apparatus of economic research was developed and it was proposed to integrate applied methods and solutions into efficiency improvement tools.

The research presented in the article will be useful to everyone who is interested in the theory of mathematical methods of economics. Some of the presented methods and models can be used directly by practitioners in this field.

Key words: *mathematical modeling, economic analysis, models of economic processes, mathematical programming, mathematical programming stages.*

О. В. ЛАРЧЕНКО
кандидат сільсько-господарських наук,
доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій
Херсонський державний аграрно-економічний університет
ORCID: 0000-0001-7857-0802

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

У статті проаналізовано актуальність та ефективність використання методів математичного моделювання в сучасній економіці. Також у роботі розглянуті основні етапи процесу математичного моделювання, класичні економічні завдання, які можна вирішити, використовуючи даний метод. У статті наведено аргументи, які б підтверджували необхідність використання математичних методів моделювання як невід'ємної частини ефективного управління підприємством. Слід зазначити, що величезний вплив на розвиток і застосування математичних методів в економіці надавало і продовжує надавати вдосконалення обчислювальної техніки. Математичне моделювання також не стоїть на місці, а розвивається в ногу з удосконаленням персональних комп'ютерів. Так, тепер можна використовувати ті методи, які раніше можна було описати лише теоретично або на більш простих прикладах. Завдяки комп'ютерним технологіям знижується ризик помилок при розв'язуванні завдань та значно скорочуються витрати часу на їх вирішення.

Вирішення завдань економічного аналізу математичними методами можливе лише при побудові математичних, тобто реальних економічних відносин та залежностей виразів з використанням математичного аналізу. Це викликає необхідність розробки математичних моделей. Математичні методи відіграють важливу роль в економічному аналізі, оскільки вони можуть забезпечити точні розрахунки та повний облік впливу факторів за допомогою короткострокових методів прогнозування та прийняття управлінських рішень на підприємстві. В статті висвітлено результати досліджень та розробок у галузі аналізу економічних процесів та систем на основі використання економіко-математичних методів та інструментів. Розроблено математичний

апарат економічних досліджень та запропоновано інтегрувати прикладні методи та рішення до інструментів підвищення ефективності.

Представлені в статті дослідження будуть корисні для всіх, хто цікавиться теорією математичних методів економіки. Деякі з представлених методів та моделей можуть бути використані безпосередньо практикуючими фахівцями у цій галузі.

Ключові слова: *математичне моделювання, економічний аналіз, моделі економічних процесів, завдання математичного програмування, етапи математичного програмування.*

Formulation of the problem

Mathematical methods can be confidently called one of the most important tools for analyzing the phenomena and processes occurring in the economy. On the basis of mathematical methods, theoretical models are built that make it possible to identify the presence of a relationship between various economic indicators, to predict the behavior of economic entities and the dynamics of economic activity in general. Mathematical modeling can be considered as the modern language of economic theory, which is equally understandable for scientists and economists from all over the world [1].

In economics, mathematical methods are accepted as one of the scientific directions of this branch, which is aimed at research using mathematical models of economic processes and systems.

No less significant is the use of mathematical methods in the field of management, where they are aimed at improving management systems and determining the effectiveness of the management process itself. With the help of mathematical methods, it is possible to significantly reduce the time spent on conducting an economic analysis, while these methods contribute to a more complete account of factors that influence the results of the enterprise, company or holding. Also, a significant advantage of using mathematical methods is the minimization of the risk of erroneous conclusions and the accuracy of calculations. They play an important role in establishing the goals and orientations of the company's development, as they allow you to objectively assess the economic efficiency of the enterprise and determine the most acceptable ways of managing the enterprise.

Specialists in almost all fields today work in conditions of information overload. Therefore, the use of new information technologies, which change not only the processes of creation, transmission, processing of information and decision-making based on it, but also the entire activity of an enterprise, organization or institution, is becoming especially relevant. An integral component in the process of using any information technology is the ability to apply basic knowledge, firstly, in economic mathematics, and secondly, the ability to think logically. Students of higher educational institutions, when studying the disciplines of economic and technical, physical, engineering specialties, according to the curriculum, study the discipline "Economic and mathematical methods". The purpose of this discipline is to familiarize and master modern mathematical methods necessary for solving theoretical and practical problems of economics (elasticity of functions, production functions, limit analysis, etc.); development of skills in mathematical research of applied problems, construction of economic-mathematical models and formation of mathematical knowledge for mastering other disciplines of the mathematical cycle; development of students' ability to independently deepen and expand mathematical knowledge and implement it in the analysis of applied problems. However, an important problem arises – this is the quality of studying the discipline, the level of acquisition and assimilation of basic general knowledge by students. The ability to analyze problems of various nature depends on this.

Analysis of recent research and publications

A large number of works by foreign and domestic scientists are devoted to the issues of economic and mathematical methods, their meaningful essence and scope of application. A researcher or a person who plans to engage in entrepreneurial activity faces the most important task at the first stage of choosing an economic-mathematical method that will provide the most complete and justified results. However, the methods of system analysis and methods that make it possible to determine the space of qualitative characteristics of the studied quantities and take into account manifestations of economic risk are universal. Such methods include methods of multivariate statistical analysis.

Formulation of the goals of the article

It is also worth noting the universality of the possibility of applying mathematical methods of analysis. The reason for this is the universality of the language of mathematics. It is often possible to notice that scientists and researchers talk about the same phenomenon or problem in different ways, take into account its various features and cannot reach a consensus. The solution to this problem can be its translation into a mathematical language, with the help of which general regularities will immediately be revealed and even ready-made solutions obtained earlier in another field of knowledge and for other purposes can be obtained. Formalization of the quantitative and qualitative aspects of the problem is the main prerequisite for using mathematics to solve various problems.

In parallel with the development of economic systems, the mathematical methods themselves are being developed, which will be established in the economy. With so much evidence that new methods inevitably betray the old, it's unbelievable. Most often, in such a situation, interpenetration of methods, incorporation of old theories into new ones, as well as many fluctuations are observed.

The main task of financial mathematics is the construction of behavioral models of economic processes, which in one way or another are related to borrowing funds in one form or another (investment activity, various lending). The goal of optimizing the system is to minimize the risk of providing funds and maximize the investor's profit.

Presenting main material

The study of economic operations is carried out with the help of constructed models of optimal decision-making in conditions of limited resources (models of linear and nonlinear programming, models of network planning, models of inventory management).

The advantages of using mathematical models describing economic processes and systems include the following arguments:

When constructing a mathematical model, connections and parameters that are essential and non-essential for a specific economic system will be determined.

The use of a mathematical model allows you to reveal the relationship between various components of the system, as well as to describe the influence of various parameters on a friend.

Unlike the verbal model, the mathematical model can describe the researched process compactly, using a set of mathematical ratios [2].

The mathematical model can serve as a numerical basis for the analysis of the studied system using a personal computer. With its help, alternative scenarios of system development can be identified.

With the help of a mathematical apparatus, the researcher can obtain new knowledge about the studied system, which is accurate to the same extent as the original model is accurate.

Considering the process of mathematical modeling itself, it is possible to distinguish 4 main stages:

- At the I st stage, the characteristics of the main objects of the models, the processes of their connection are recorded using mathematical terms that reflect the data of the relationship. In other words, the analyzed phenomenon or process is recorded in mathematical language using special signs and symbols.

– II stage of inducing mathematical models of field at the previous mathematical tasks, to which mathematical models are created. The basis of this stage is the solution of a direct task, that is, the selection of theoretical data for the support of the analysis of the model, which is based on the results of the warning of the manifestations that are being developed.

– The third stage of building a mathematical division involves adjusting the obtained model by comparing the results of observations with the theoretical consequences of the model within the accuracy of observations. In the case when the model was fully defined and all its parameters were known to us, the solution of the direct problem can be obtained by determining the deviation of the theoretical consequences from the observations, with the subsequent evaluation of the deviations. If the deviations exceed the accuracy of the observations, then the model cannot be accepted. Often, when building a model, some of its characteristics remain undefined

To draw a conclusion about the correctness of the provisions, which is the basis for studying the model, helps to apply the criterion of practice to evaluate the mathematical model.

– The essence of the IV stage is the next analysis of the model in connection with the accumulation of data on the studied phenomena and modernization of the model.

The appearance of software played a huge role in the development of mathematical modeling. Thanks to computerization, this method took one of the leading places among other research methods. Mathematical modeling is especially important for modern economic science.

The application of this research in economics has found a large area of application. Mathematical modeling makes it possible to compile forecast values of various macroeconomic indicators in view of the impact on them of one or another factor of the world economy.

It is also useful to apply mathematical modeling in microeconomics, in terms of any specific enterprise or organization. Under these conditions, it allows you to analyze the efficiency of any department of the company or the risk of the enterprise as a whole, to make forecast values of the main financial indicators of the enterprise, taking into account possible risks. Mathematical modeling allows you to save business plans for the further work of organizations even in conditions of an unstable economic situation, which is especially important in our time [3].

It is worth considering in more detail those tasks that help to solve mathematical programming in the everyday life of organizations:

Tasks of network planning and management

This type of tasks considers the relationship between the deadlines for the completion of a large complex of operations (works) and the moment of the beginning of all operations of the complex. The tasks of network planning and management are designed to determine the minimum duration of a complex of operations, the optimal ratio of the price and the cost of the work performed or the services provided.

We can see an example of solving this type of problem during the construction of any large object. Any construction company uses mathematical modeling methods for the price and delivery terms of the object under construction.

The task of mass service

These tasks study and analyze the problem of service systems with queues of requests or requests. Their purpose is to determine the performance indicators of systems, their optimal characteristics, for example, in determining the number of service channels, service time, etc.

The most important criteria for the effectiveness of mass service systems are:

– possibility of application service or service delay;

– mathematical expectation of the number of satisfied (delayed) applications for a fixed time;

– mathematical expectation of the number of busy channels;

– mathematical expectation of queue length.

The most important criterion of optimality is:

– average total losses from waiting for requirements, on the one hand, and downtime of service channels, on the other.

In real life, these tasks can be faced with determining the optimal number of company branches in a specific region. Also, using this type of tasks, you can determine the required number of cash registers in a supermarket, or the required number of service counters in a bank.

Inventory management tasks

The purpose of these tasks is to find the optimal values of the stock level (order points) and order sizes. The peculiarity of this task is that with an increase in the volume of stocks, the costs of their storage increase, but, on the other hand, at the same time, losses due to a possible shortage of the stocked goods will be reduced.

This problem is faced by any company that has warehouse facilities in its department, whether it is a food warehouse, a building materials warehouse, a pharmacy warehouse, and others.

Resource allocation tasks

The problem of resource allocation becomes relevant when there is a certain set of works that must be performed in conditions of limited resources. The goal of such tasks is to find the optimal combination of resource allocation between operations.

The issue of resource allocation is relevant at enterprises whose main activity is the production of any product. People can also act as a resource, the so-called human resource.

Equipment repair and replacement tasks

This problem is relevant in connection with the moral and physical wear and tear of the equipment, the need to improve the technical base of the enterprise. The main purpose of tasks of this type is to determine the optimal terms and moments of replacement and equipment, to determine the terms and number of preventive works.

Any enterprise during its work faces such problems: whether it is the replacement of specialized equipment in a production workshop, or the planned replacement of morally obsolete or office equipment that has failed.

The task of making a schedule (calendar planning)

The purpose of these tasks is to determine the optimal sequence of operations (for example, processing parts) of various types of equipment.

Planning and placement tasks

Such tasks are designed to solve problems related to determining the optimal number and location of new objects, taking into account their interaction with existing objects and with each other.

Managers and store owners face such questions in everyday life, and this task may also be related to the placement of specialized equipment.

Route selection tasks or network tasks

Such questions are most often encountered during the study of various tasks in the transport and communication system. The main goal of solving the problem is to determine the most economical routes.

This problem is particularly acute in logistics companies engaged in the transportation of various goods, or in enterprises that own vehicles.

Having considered the above-mentioned tasks that can be solved with the help of mathematical modeling methods, there is no doubt about the necessity and relevance of using these methods. With their help, you can solve most of the problems that arise before the organization in the modern world [4, 5].

It is known that the main functions of the enterprise are reduced to meeting the needs of consumers in certain types of products and services and maximizing profit. The latter is at the same time the goal of the enterprise's economic activity. This goal can only be achieved if there is an optimal combination of innovation policy, economic risk and all production factors that are applied. Therefore, knowledge of the basics of economic mathematics and economic-mathematical methods play a key role in the basis of the considered approaches to entrepreneurial activity. The deeper the level of knowledge of economic and mathematical disciplines of a person engaged in business, the more resistant his business will be to the foreign economic, political and social environment, factors of their influence. The ability to apply economic and mathematical methods (estimation of the current financial situation, forecasting of future activities taking into account the influence of various factors) makes entrepreneurial activity more competitive and sustainable. After all,

modern directions and approaches in modeling the economy, modeling of economic and production systems, econometric models and forecasting methods provide an opportunity to carry out a deep and detailed analysis of the impact of various factors on business activity, to identify actual problems, to carry out a comprehensive analysis of activities, and therefore to adopt an objective management decision. The most important part of entrepreneurial activity is the analysis of the use of capital, which is the process of researching the main performance indicators of the efficiency of its functioning at the enterprise with the aim of identifying reserves for further improvement of this efficiency.

Conclusions

It should be noted that a huge impact on the development and application of mathematical methods in the economy was and continues to be provided by the improvement of computing technology. Mathematical modeling also does not stand still, and develops in step with the improvement of personal computers. Yes, it is now possible to use those methods that could previously be described only theoretically or using simpler examples. Thanks to computer technology, the risk of errors in solving tasks is reduced and the time spent on solving them is significantly reduced.

Bibliography

1. Димова Г.О., Ларченко О.В. Моделі і методи інтелектуального аналізу даних: навчальний посібник. Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2021. 142 с. http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7396

2. Димова Г.О., Ларченко О.В. Використання методу декомпозиції для моделювання багатогалузевої економічної системи. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон: ХНТУ, 2021. С. 193–199 с. https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.2.24 http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/7241

3. Білоусова Т.П. Математична модель оптимального ринку . *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*, *Херсонський державний аграрно-економічний університет*. Херсон: ХДАЕУ, № 8, 2021 р. С. 70–75.

4. Димова Г.О. Методи і моделі упорядкування експериментальної інформації для ідентифікації і прогнозування стану безперервних процесів: монографія. Херсон: Книжкове видавництво ПП Вишемирський В. С., 2020. 176 с. http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/1161

5. Dymova H., Larchenko O. Sensitivity analysis of dynamic systems models. International security studios: managerial, economic, technical, legal, environmental, informative and psychological aspects. International collective monograph. Georgian Aviation University. Tbilisi, Georgia 2023. Pp. 283–298. DOI 10.5281/zenodo.7825520.

References

1. Dymova H.O., Larchenko O.V. Modeli i metody intelektual′noho analizu danykh: navchal′nyy posibnyk. Kherson: Knyzhkove vydavnytstvo FOP Vyshemyrs′kyy V. S., 2021. 142 s. [in Ukrainian].

2. Dymova H.O., Larchenko O.V. Vykorystannya metodu dekompozytsiyi dlya modelyuvannya bahatohaluzevoyi ekonomichnoyi systemy. Visnyk Khersons′koho natsional′noho tekhnichnoho universytetu. Kherson: KHNTU, 2021. S. 193–199. [in Ukrainian].

3. Bilousova T.P. (2021). Matematychna model optymalnoho rynku [Mathematical model of the optimal market]. Taurian Scientific Bulletin. Series: Economics, 8, 70–75. [in Ukrainian].

4. Dymova H. O. (2020). Metody i modeli uporyadkuvannya eksperymental′noyi informatsiyi dlya identyfikatsiyi i prohnozuvannya stanu bezperervnykh protsesiv: monohrafiya [Methods and models for ordering experimental information for identifying and predicting the state of continuous processes]. Kherson: Publishing house FOP Vyshemyrskyy V.S. [in Ukrainian].

5. Dymova H., Larchenko O. Sensitivity analysis of dynamic systems models. International security studios: managerial, economic, technical, legal, environmental, informative and psychological aspects. International collective monograph. Georgian Aviation University. Tbilisi, Georgia 2023. Pp. 283–298. DOI 10.5281/zenodo.7825520.

УДК 004.896;504.064 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.23

П. П. ЛОБОДА
аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-0808-8014

І. С. СТАРОВІТ
аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-6511-4610

МОДЕЛЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТУ ЧАЕС НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ

Для захисту населення та оточуючого середовища від наслідків аварії на ЧАЕС у 1986 році була побудована спеціальна споруда під назвою «об'єкт Укриття». Враховуючи, що «об'єкт Укриття» був розрахований на використання лише протягом 30 років, було побудовано та введено у 2019 році в експлуатацію нову захисну споруду, названу «Новий безпечний конфайнмент» (НБК). Ця споруда ізолювала «об'єкт Укриття» від навколишнього середовища та забезпечила можливість його перетворення на екологічно-безпечну систему. Однією з основних задач управління НБК є запобігання витоків повітря з його основного об'єму до навколишнього середовища через наявні протічки та систему вентиляції при виникненні нестаціонарних термогазодинамічних процесів під впливом вітру та перепадів температури. Для моніторингу та управління процесами НБК була розроблена спеціалізована багаторівнева інформаційна система. Однак необхідність візуалізації інформації щодо стану НБК, забезпечення підтримки прийняття рішень та автоматизації управління його процесами обумовлює актуальність розробки нових інформаційних технологій. Для вирішення даної задачі доцільно застосувати сучасну технологію цифрових двійників. Метою даної роботи є розробка підходів до управління системою вентиляції НБК та проектування і моделювання програмного забезпечення цифрового двійника для їх реалізації. Проведено аналіз наявних підходів до управління вентиляційними установками НБК та запропоновано метод його автоматизації шляхом застосування засобів нечіткого управління та штучних нейронних мереж на основі масиву статистичної інформації щодо прийнятих персоналом рішень. Створено моделі програмного забезпечення цифрового двійника НБК у вигляді діаграм UML. Результати роботи можуть бути використані під час розробки цифрового двійника НБК для підтримки прийняття рішень щодо управління його процесами та навчання персоналу.

Ключові слова: *новий безпечний конфайнмент, цифровий двійник, управління вентиляцією, модель програмного забезпечення.*

P. P. LOBODA
Postgraduate Student at the Department of Software Engineering
for Power Industry
National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-0808-8014

I. S. STAROVIT
Postgraduate Student at the Department of Software Engineering
for Power Industry
National Technical University of Ukraine
"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0000-0002-6511-4610

SIMULATION AND MANAGEMENT OF PROCESSES OF THE NEW SAFE CONFINEMENT OF CHNPP BASED ON THE TECHNOLOGY OF DIGITAL TWINS

To protect the population and the surrounding environment from the consequences of the accident at the CHNPP, a special building called the "Shelter facility" was built in 1986. Considering that the "Shelter facility" was designed to be used only for 30 years, a new protective construction named " New Safe Confinement" (NSC) was built and put into operation in 2019. This structure isolated the "Shelter object" from the environment and provided the possibility of its transformation into an ecologically safe system. One of the main tasks of NSC management is to prevent air leaks from its

main volume to the environment through existing leaks and the ventilation system in the event of non-stationary thermo-gas-dynamic processes under the influence of wind and temperature changes. A specialized multi-level information system was developed to monitor and manage NSC processes. However, the need to visualize information about the state of the NSC, provide support for decision-making and automate the management of its processes determines the urgency of developing new information technologies. To solve this problem, it is advisable to use the modern technology of digital twins. The purpose of this paper is the development of approaches to the management of the ventilation system of the NSC and the design and software modeling of the digital twin for their implementation. An analysis of existing approaches to the management of NSC ventilation systems was carried out and a method of its automation was proposed through the use of fuzzy control tools and artificial neural networks based on an array of statistical information regarding the decisions made by the staff. Software models of the NSC's digital twin have been created in the form of UML diagrams. The results of the paper can be used during the development of a digital twin of the NSC to support decision-making regarding the management of its processes and staff training.

Key words: *new safe confinement, digital twin, ventilation control, software model.*

Постановка проблеми

Після аварії на ЧАЕС у 1986 році для захисту населення та довкілля від її наслідків була побудована спеціальна споруда під назвою «об'єкт Укриття». Враховуючи, що «об'єкт Укриття» був розрахований на використання лише протягом 30 років, нашою державою за допомогою світового співтовариства було побудовано та введено у 2019 році в експлуатацію нову захисну споруду, названу «Новий безпечний конфайнмент» (НБК). На рисунку 1 схематично представлено загальний вид НБК та ОУ в поперечному розрізі [1].

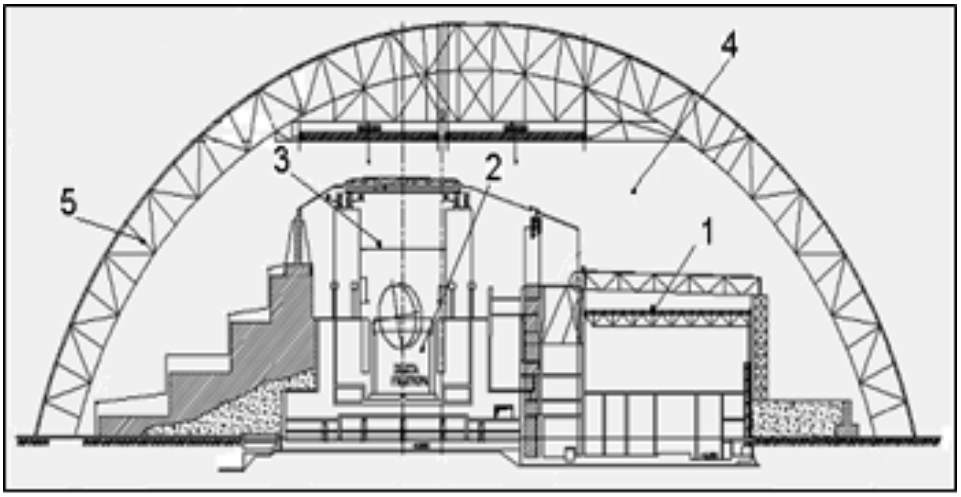


Рис. 1. Схема НБК та ОУ у поперечному перерізі: 1 – турбінна зала; 2 – зруйнований реактор; 3 – центральна зала; 4 – основний об'єм та 5 – кільцевий простір НБК [1]

Як видно з рисунку 1, НБК ізолював «об'єкт Укриття» від навколишнього середовища та забезпечив можливість проведення робіт з його перетворення на екологічно-безпечну систему. Для моніторингу та управління процесами НБК була розроблена спеціалізована багаторівнева інформаційна система, однак рішення щодо управління вентиляційним установками приймаються оператором. Необхідність візуалізації інформації щодо стану НБК, забезпечення підтримки прийняття рішень та автоматизації управління його процесами обумовлює актуальність розробки нових інформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Слід зазначити, що НБК є надвеликою складною інженерною спорудою, яка облаштована різноманітним обладнанням та устаткуванням, що має забезпечити його функціонування протягом 100 років. Однією з основних задач управління НБК є запобігання витоків повітря з його основного об'єму разом з радіоактивними аерозолями до навколишнього середовища через наявні протічки при виникненні під впливом вітру та перепадів навколишньої температури нестаціонарних термогазодинамічних процесів. Розроблено моделі з використанням CFD (Computational Fluid Dynamics) моделей та штучних нейронних мереж для оцінки неорганізованих витрат повітря з радіоактивними аерозолями за межі НБК в оточуюче середовище при довільних напрямках і швидкостях вітру [1], запропоновано модель оцінки тисків всередині НБК та підходи до управління гідравлічними потоками при умові відключення вхідних вентиляційних установок, що забезпечують мінімізацію витрат електроенергії та неконтрольованих викидів повітря з радіоактивними аерозолями [2]. Для реалізації прогнозування місць та концентрацій радіоактивних аерозолів в НБК розроблено варіант архітектури інформаційної системи з врахуванням

потреби версіонування програмного забезпечення [3]. Потрібно зазначити, що представлені результати націлені на окремі процеси НБК й не дозволяють реалізувати комплексне управління його станом. Одним з варіантів вирішення цієї задачі є застосування технології цифрових двійників. В загальному розумінні цифровий двійник – це віртуальний прототип реального фізичного об'єкту, виробу, групи виробів чи процесу, який виконує збір та повторне використання цифрової інформації [4, 5]. Запропоновано архітектуру цифрового двійника НБК ЧАЕС [6], моделі структури його бази даних та знань [7]. Необхідно розглянути питання застосування цифрових двійників в задачі управління термогазодинамічними процесами НБК.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є розробка підходів до управління системою вентиляції НБК та проектування і моделювання програмного забезпечення цифрового двійника для їх реалізації. Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз наявних підходів до управління вентиляційними установками НБК та розробити метод його автоматизації, виконати проектування і моделювання програмного забезпечення цифрового двійника.

Викладення основного матеріалу дослідження

При управлінні вентиляційними системами НБК ставляться задачі мінімізації неконтрольованих витоків повітряних мас разом з радіоактивними аерозолями з його основного об'єму (ОО) до кільцевого простору (КП), а звідти до навколишнього середовища через наявну мережу протічок. Під час проектування НБК були оцінені теоретичні значення площ протічок на початку та в кінці 100-річного строку експлуатації об'єкту, однак в 2017–2018 рр. були проведені гідравлічні тести та попередньо оцінені наявні площі протічок, що вже на той час значно перевищували значення площ протічок, які мають бути в кінці терміну експлуатації НБК. Прогнозується, що значення наявних площ протічок з часом будуть також суттєво збільшуватись [1]. На рисунку 2 представлено умовну гідравлічну схему перетікання повітряних мас НБК [2].

Як видно на рисунку 2, повітряні маси надходять до КП та ОО та видаляються з них системою вентиляційних установок, розташованих на його циліндричній поверхні, східній та західній стіні, також наявний рух повітряних мас через протічки, розмір яких точно не визначено.

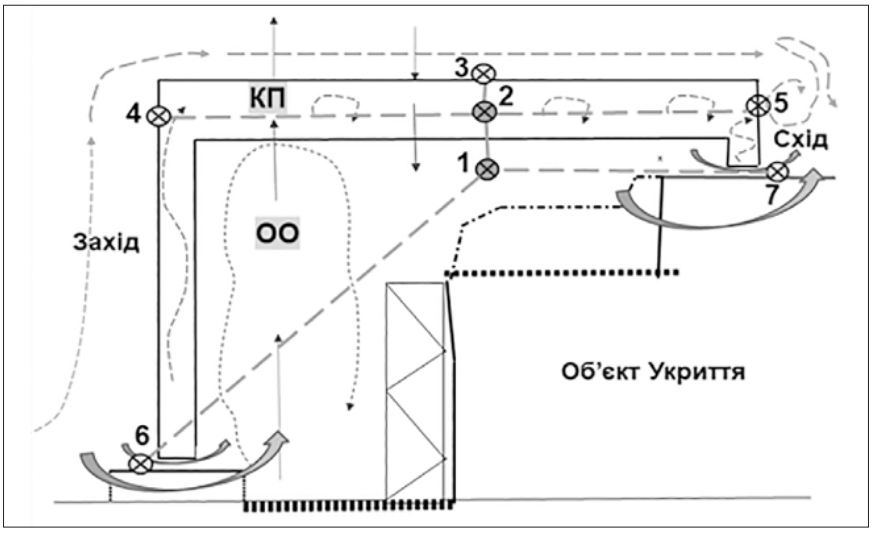


Рис. 2. Умовна гідравлічна схема перетікання повітряних мас НБК у поздовжньому перерізі: 1 – вузол ОО, 2 – вузол КП, 3 – вузол на зовнішній циліндричній поверхні, 4 – вузол на зовнішній поверхні західної стіни, 5 – вузол на зовнішній поверхні східної стіни, 6 – вузол на зовнішній частині західних протічок, 7 – вузол на зовнішній частині східних протічок [2]

Особи, що керують вентиляційними установками НБК, приймають рішення щодо обсягів витрат повітря, виходячи з поточних даних про тиски в ОО й КП, витрати вентиляторів в КП та ОО, та про кліматичні умови (напрям та швидкість вітру).

Для створення цифрового двійника НБК необхідно розробити метод автоматизації управління його вентиляційними установками. Враховуючи складність процесу та наявність невизначеності, при вирішенні цієї задачі доцільно використовувати інтелектуальні інформаційні технології з елементами нечіткої логіки [8]. Оскільки наявний великий масив історичних даних щодо прийнятих рішень з управління системою вентиляції, можна застосувати методи нейро-нечіткого моделювання. Беручи до уваги аналіз підходів до нейро-нечіткого моделювання, для вирішення задачі обрано адаптивну систему нейро-нечіткого виводу ANFIS, реалізовану засобами MATLAB [9].

Основними показниками, які визнаються особами, що приймають рішення з управління системою вентиляції НБК, є витрати повітря для КП та ОО. На рисунку 3 представлено структуру модуля управління витратами повітря КП, побудовану в редакторі ANFIS.

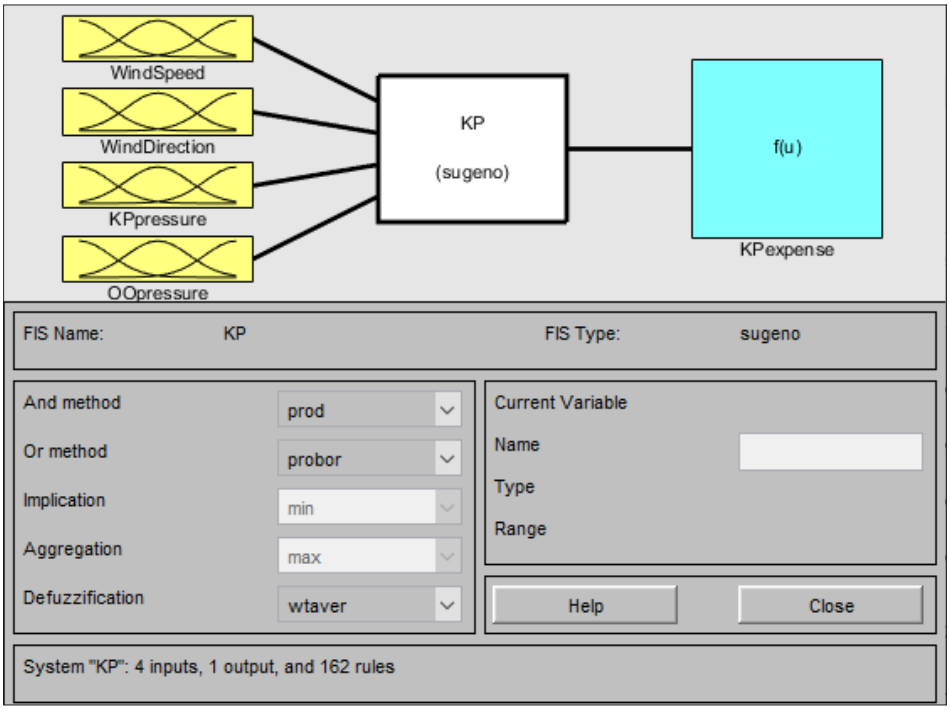


Рис. 3. Структура модуля управління витратами повітря КП

Як видно на рисунку 3, витрати повітря КП визначаються швидкістю та напрямом вітру, перепадами тиску КП та ОО з оточуючим середовищем. Під час навчання моделі управління на основі статистичних даних було сформовано 162 правила нечіткого логічного виведення, що дозволяють розраховувати на основі методу Сугено значення витрат повітря КП. Результати навчання нейро-нечіткої моделі наведено на рисунку 4.

Як видно на рисунку 4, навчання здійснювалося гібридним методом оптимізації, який дозволив отримати показник середньоквадратичної точності 0,50196, що відповідає відносній похибці приблизно у 3,7%. Перевірка на контрольній вибірці даних показала відносну похибку, рівну 3,2%, що свідчить про адекватність та можливість використання нейро-нечіткої моделі на практиці.

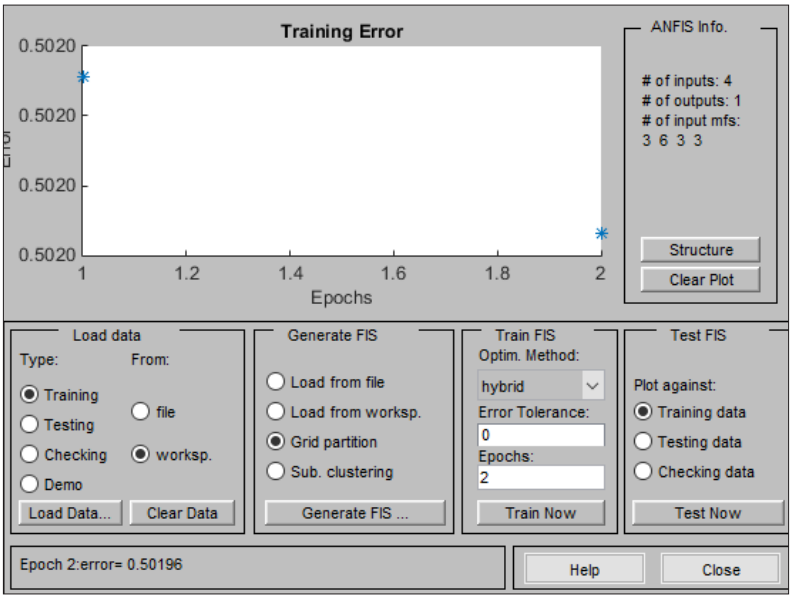


Рис. 4. Результати навчання нейро-нечіткої моделі для управління витратами повітря КП

Метод автоматизації управління вентиляційними установками НБК для визначення витрат повітря КП полягає в застосуванні методу Сугено нечіткого логічного виведення на основі отриманих в результаті нейро-нечіткого моделювання термів лінгвістичних змінних, їх функцій належності та бази правил нечітких продукцій. Управління витратами повітря ОО здійснюється аналогічним чином.

Для реалізації запропонованого методу управління вентиляцією НБК на основі технології цифрових двійників необхідно розробити програмне забезпечення. Під час проектування програмного забезпечення сформовано його моделі у вигляді діаграм UML. У якості прикладу на рисунку 5 наведено діаграму прецедентів UML цифрового двійника НБК.

Як видно на рисунку 5, основними користувачами цифрового двійника є виробничий персонал та особи, що приймають рішення, розробники його моделей та алгоритмів, адміністратори системи.

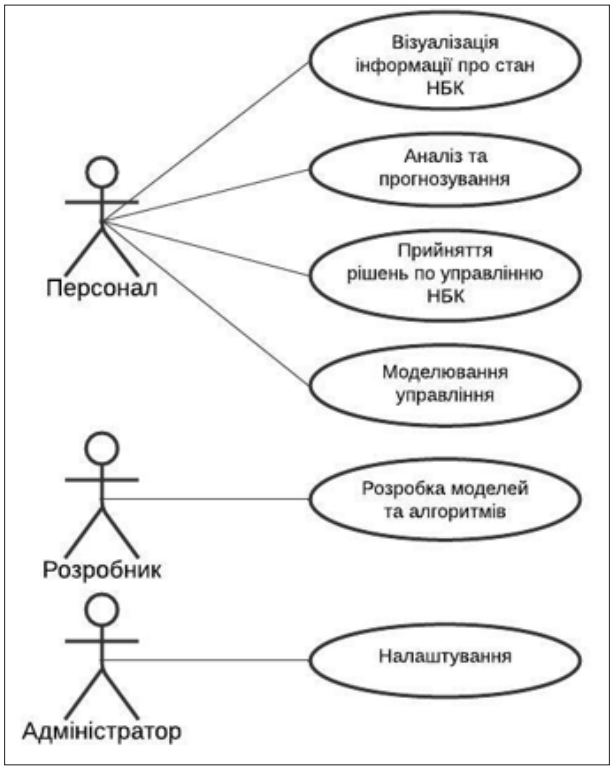


Рис. 5. Узагальнена діаграма прецедентів цифрового двійника НБК

Відповідно до представленої в [6] архітектури цифрового двійника, він може бути використаний для візуалізації інформації стосовно поточного стану НБК, підтримки прийняття рішень щодо керування його підсистемами та для навчання персоналу, дозволяючи, наприклад, моделювати процеси управління.

Висновки

В даній роботі сформовані підходи до управління системою вентиляції НБК та проектування і моделювання програмного забезпечення цифрового двійника для їх реалізації.

Аналіз існуючих підходів до управління вентиляцією показав, що рішення щодо обсягів витрат повітря вентиляційними установками приймаються оператором на основі поточних даних щодо стану НБК та вітрового навантаження в умовах невизначеності наявних площ протічок. Тому для автоматизації управління вентиляцією було вирішено використати нейро-нечітке моделювання на основі набору статистичних даних. Розроблено метод нейро-нечіткого управління витратами вентиляційних установок НБК на основі адаптивної системи нейро-нечіткого виводу ANFIS, результати тестування підтвердили високий рівень адекватності моделей. Для практичної реалізації запропонованого методу на основі технології цифрових двійників проведено проектування та моделювання його програмного забезпечення з використанням діаграм UML.

Результати роботи закладають основу для розробки програмного забезпечення цифрового двійника НБК, який дозволяє вирішувати задачі підтримки прийняття рішень щодо управління його процесами з метою захисту населення та довкілля, візуалізувати інформацію про стан НБК, проводити моделювання діяльності НБК під час навчання виробничого персоналу ЧАЕС.

Список використаної літератури

1. П.Г. Круковський, Є.В. Дядюшко, Д.І. Скляренко, І.С. Старовіт Неорганізовані викиди повітря з радіоактивними аерозолями із нового безпечного конфайнмента ЧАЕС в оточуюче середовище. *Питання атомної науки і техніки*. 2021. № 6. С. 181-186. DOI: 10.46813/2021-136-181.

2. Pysmennyy, Y.,Havrylko, Y., Krukovskyi, P., Starovit, I.,Diadiushko, Y.(2022). Розробка спеціального програмного математичного забезпечення управління вентиляційними установками нового безпечного конфайнменту ЧАЕС. *Nuclear & radiationsafety.* 2022. 2(94). С. 35–43, https://doi.org/10.32918/nrs.2022.2(94).04.

3. Bernd Kratz, Florian Wieduwilt, Maxim Saveliev. Pillars for Establishing a Durable and Future-Proof IT Architecture Maturing Along with the NSC: Approaches from Continuous Integration to Service Mesh Mathematical Modeling and Simulation of Systems, Selected Papers of 16th International Scientific-practical Conference, MODS, 2021 June 28–July 01, Chernihiv, Ukraine (pp. 43–57).

4. Grieves M. Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins. *Complex Systems Engineering: Theory and Practice.* American Institute of Aeronautics and Astronautics. 2019. P. 175–200. DOI:10.2514/5.978162410 5654.0175.0200.

5. Lu Y., Liu C., Wang K. I-K., Huang H., Xu X. Digital Twin-driven smart manufacturing: connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 2020. Vol. 61, P. 1–14.

6. Лобода П.П., Старовіт І.С. Розробка архітектури програмного забезпечення прогнозування і управління термогазодинамічними процесамиі радіаційним станом Нового безпечного конфайнменту ЧАЕС. *Вісник Херсонського національного технічного університету. Технічні науки*. № 4(83). 2022. С. 67–73. https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.4.9

7. Лобода П.П., Старовіт І.С. Модель бази даних та знань цифрового двійника Нового безпечного конфайнменту ЧАЕС. *Computer Science and Applied Mathematic*. № 2. 2022. С. 50–57. https://doi.org/10.26661/2786-6254-2022-2-06

8. Шушура О. М., Сторчак К.П, Бондарчук А.П., Золотухіна О.А. Формалізація задачі управління в інтелектуальних інформаційних технологіях на принципах нечіткої логіки. *Зв'язок*. 2019. № 3. С. 3–7.

9. Viharos Z., Kis K. Survey on Neuro-Fuzzy systems and their applications in technical diagnostics and measurement. *Measurement*. 2015. № 67. с. 126–136. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.02.001.

References

1. P.G. Krukovskyi, E.V. Dyadyushko, D.I. Sklyarenko, I.S. Starovit. (2021) Unorganized emissions of air with radioactive aerosols from the new safe confinement of the Chernobyl Nuclear Power Plant into the surrounding environment. *Issues of atomic science and technology*, 6, 181–186.

2. Pysmennyy, Y., Havrylko, Y., Krukovskyi, P., Starovit, I., Diadiushko, Y. (2022) Development of special mathematical software for controlling the ventilation units of the new safe confinement of the ChNPP, *Nuclear & radiationsafety*, 2(94), 35–43.

3. Bernd Kratz, Florian Wieduwilt, Maxim Saveliev. (2021) Pillars for Establishing a Durable and Future-Proof IT Architecture Maturing Along with the NSC: Approaches from Continuous Integration to Service Mesh Mathematical Modeling and Simulation of Systems, *Selected Papers of 16th International Scientific-practical Conference (Ukraine, Chernihiv, June 28 – July 01, 2021)*, Chernihiv: MODS, pp. 43–57.

4. Grieves M. (2019) Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins. *Complex Systems Engineering: Theory and Practice*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 175–200.

5. Lu Y., Liu C., Wang K. I-K., Huang H., Xu X. (2020) Digital Twin-driven smart manufacturing: connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 61, 1–14.

6. Loboda P.P., Starovit I.S. (2022) Development of software architecture for forecasting and management of thermogasdynamic processes and the radiation state of the New Safe Confinement of the ChNPP. *Bulletin of the Kherson National Technical University. Technical sciences*, 4(83), 67–73.

7. Loboda P.P., Starovit I.S. (2022) Model of the database and knowledge of the digital double of the New Safe Confinement of the ChNPP. *Computer Science and Applied Mathematic*, 2, 50–57.

8. Shushura O.M., Storchak K.P., Bondarchuk A.P., Zolotukhina O.A. (2019) Formalization of the management task in intelligent information technologies based on the principles of fuzzy logic. *Zvjazok*, 3, 3–7.

9. Viharos Z., Kis K. (2015) Survey on Neuro-Fuzzy systems and their applications in technical diagnostics and measurement. *Measurement*, 67, 126–136.

УДК 004.09 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.24

О. М. ЛЯШЕНКО
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5429-8389

А. В. ЧИЖОВА
студентка кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5823-7334

Д. Л. КИРИЙЧУК
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4905-6932

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЦЕНТРУ ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ НА БАЗІ JAVA-ТЕХНОЛОГІЙ

Метою роботи є проєктування та розроблення програмної системи для центру вивчення іноземних мов на базі Java-технологій. При розробці програмної системи було використано методологію об'єктно-орієнтованого програмування, технології JavaServer Faces Technology, JDBC API, Java Naming and Directory Interface та Java Persistence API.

Проведено аналіз основних тенденцій розвитку програмних систем для центру вивчення іноземних мов на базі Java-технологій. Визначено основні функціональні можливості та принципи роботи таких систем. Виявлено сучасні тенденції побудови, розвитку та застосування таких систем. Вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в теоретико-методологічному обґрунтуванні підходів та принципів побудови програмних систем для центру вивчення іноземних мов на базі Java-технологій. Практична значимість роботи полягає в можливості застосування теоретико-методологічних підходів і висновків, отриманих в межах роботи для розробки та впровадження програмної системи для центру вивчення іноземних мов на базі Java-технологій.

В роботі сформульовано основний і додатковий функції програмної системи, наведено ролі користувачів, що передбачені у програмній системі: адміністратор програмної системи, фахівець з маркетингу та рекламі центру вивчення іноземних мов, методист напрямку, фахівець з викладання курсу (викладач), зареєстрований користувач, відвідувач, побудовано моделі варіантів використання для ролей, що передбачені у програмній системі.

Також в роботі розроблено БД програмної системи, описано використання шаблону MVC, наведено життєвий цикл програми JSF, описано методи створення керованого компонента JSF, описано анотації, що встановлюють область, до якої буде розміщено керований компонент, розроблено структуру проєкту в IDE NetBeans, наведено методи керованого bean-компонента.

Ключові слова: *програмна система, цент вивчення іноземних мов, Java-технології, JavaServer Faces Technology.*

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

A. V. CHYZHOVA
Student at the Department of Software Tools and Technologies
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-5823-7334

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

DESIGNING AND DEVELOPING A SOFTWARE FOR THE CENTER FOR LEARNING FOREIGN LANGUAGES BASED ON JAVA-TECHNOLOGIES

The purpose of the work is to design and develop a software for the center for learning foreign languages based on Java-technologies. The methodology of object-oriented programming, JavaServer Faces Technology, JDBC API, Java Naming and Directory Interface and Java Persistence API were used in the development of the software.

An analysis of the main trends in the development of software for the center for the study of foreign languages based on Java-technologies. The basic functionality and principles of operation of such systems are defined. Current trends in the construction, development and application of such systems have been identified. The actual scientific and practical problem consisting in the theoretical and methodological justification of approaches and principles of building software for the center for the study of foreign languages based on Java-technologies has been solved. The practical significance of the work lies in the possibility of applying theoretical and methodological approaches and conclusions obtained within the framework of the work for the development and implementation of a software for the center for the study of foreign languages based on Java-technologies.

The main and additional functions of the software are formulated in the work, the roles of users provided in the software are given: the administrator of the software, the specialist in marketing and advertising of the center for the study of foreign languages, the methodologist of the direction, the specialist in teaching the course (teacher), the registered user, the visitor, the models of use cases for the roles provided in the software are built.

The work also developed a database of the software, describes the use of the MVC template, describes the life cycle of the JSF application, describes the methods for creating a managed JSF component, describes the annotations that establish the area to which the managed component will be placed, developed the project structure in the NetBeans IDE, describes the methods of the managed bean component.

Key words: *Software, Foreign Language Learning Center, Java-Technologies, JavaServer Faces Technology.*

Постановка проблеми

Нині практично відсутній огляд сучасних теоретико-методологічних підходів до розроблення програмних систем для центру вивчення іноземних мов на базі Java-технологій, а також шляхів подальшого розвитку таких систем.

Таким чином, проєктування та розроблення програмної системи є актуальною науково-прикладною задачею, а її побудова потребує виявлення та аналізу сучасних тенденцій розвитку та застосування таких систем, насамперед, на основі провідних наукових публікацій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В роботі [1] здійснено аналіз програмного забезпечення для вивчення іноземних мов, визначено переваги та недоліки таких програм. Наведно приклади застосування програмного забезпечення для вивчення іноземних мов.

В роботі [2] описано три етапи комп'ютерного навчання мови, наведно зв'язок між комп'ютерним навчанням і лінгвістичними теоріями. В роботі також обговорюються деякі практичні питання щодо застосування комп'ютерного навчання мови у Китаї.

В роботі [3] представлено два опитувальники, які були проведені для визначення розуміння тих, хто вивчає англійську мову, контексту навколо них та їхніх практик використання інформаційних технологій, з особливим акцентом на студентах корейських університетів, які готуються до іспиту з англійської мови для міжнародного спілкування (TOEIC). Також в роботі [3] подано результати дослідження за участю 51 студента університету з використання інформаційних систем навчання англійської мови для TOEIC.

В роботі [4] подано результати дослідження з використання систем управління навчанням, таких як Blackboard, Daedalus Interchange і Moodle, для керування курсами з вивчення іноземних мов та покращення навчання студентів. Проведено дослідження академічної соціалізації учнів, які володіють другою мовою, через їхню участь у комп'ютерно-опосередкованих практиках академічної грамотності.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є проєктування та розроблення програмної системи для центру вивчення іноземних мов на базі Java-технологій.

Викладення основного матеріалу дослідження

Програмна система є web-орієнтованою. Основною функцією програмної системи є проведення навчальних занять з вивчення іноземних мов як дітей, так і дорослих з різним рівнем знань. Програмна система дозволяє підібрати курс, який потрібен користувачу при вивченні іноземних мов.

Програмна система надає можливість обрати такі курси:

1. Курс для дорослих (від елементарного A1 до продвинутого рівня C2).
2. Бізнес курс іноземної мови (ділова переписка, телефонні переговори, проведення презентацій і т.д.).
3. Підготовка до міжнародних іспитів IELTS, TOEFL.
4. Курс англійської мови для дітей, що враховує вікові особливості сприйняття матеріалу.
5. Підготовка до зовнішнього незалежного оцінювання (ЗНО).

Також однією з функцій програмної системи є надання користувачам нового зручного та функціонально достатнього web-інтерфейсу для роботи з центром вивчення іноземних мов, зокрема для пошуку та реєстрації для проходження курсів, для роботи із викладачами, для взаємодії з усіма структурами центру вивчення іноземних мов.

Додатковий функціонал:

1. Реєстрація та авторизація редакторів сайту центру вивчення іноземних мов.
2. Зручна система додавання, редагування та публікації HTML сторінок, курсів, тестів, новин, банерів на сайті.
3. Надання користувачам із спеціальними правами можливості перегляду статистики сайту.
4. Реєстрація нових користувачів в особистому кабінеті та реєстрація для проходження курсів.
5. Надання користувачам із спеціальними правами можливості налаштування відображення особистого кабінету, реєстрація курсів, роботи з викладачами, роздруківки відповідних документів (сертифікатів), підписки на розсилку нових курсів з вивчення іноземних мов тощо.

Ролі користувачів, що передбачені у програмній системі:

Адміністратор програмної системи. Фахівець центру вивчення іноземних мов, який має максимальні права у системі:

1) створення нових ролей, копіювання прав з інших ролей, редагування існуючих з можливістю змінювати одночасно список розділів (сторінок сайту), з якими може здійснювати дії користувач ролі;
2) додавання нових користувачів, видалення користувачів та розподіл прав;
3) редагування меню та навігації;
4) можливість редагування будь-яких розділів сайту;
5) аналітика роботи сайту.

Фахівець з маркетингу та рекламі центру вивчення іноземних мов: редагування будь-яких розділів сайту:

1) перегляд статистики сайту;
2) додавання/редагування банерів та іншої реклами на сайті;
3) реєстрація користувачів для проходження курсів з вивчення іноземних мов;
4) формування баз для розсилки нових курсів та розсилки по сформованим базам.

Методист напрямку:

1) редагування сторінок свого напряму;
2) перегляд та редагування тем, створених усередині ролі, та здійснення розсилок за цими темами.

Фахівець з викладання курсу (викладач): редагування розділу сайту, вказаного адміністратором системи.

Зареєстровані користувачі – користувачі сайту, що пройшли процедуру реєстрації в особистому кабінеті, що мають логін та пароль та мають можливість реєструватися на курсі, переглядати свої результати навчання, друкувати відповідні документи (сертифікати).

Відвідувач – будь-який не зареєстрований відвідувач сайту. Доступ до перегляду сторінок сайту.

Діаграму варіантів використання для ролі «Зареєстрований користувач» подано на рис. 1.

Діаграму варіантів використання для ролі «Відвідувач» подано на рис. 2.

Діаграму варіантів використання для ролі «Методист напрямку» подано на рис. 3.

Для розроблення БД програмної системи було використано СКБД MySQL.

Всього концептуальна модель БД нараховує 15 таблиць (рис. 4).

Таблиця User необхідна для зберігання інформації про зареєстрованого користувача на веб-сайті. Таблиця Teachers необхідна для зберігання інформації про викладача курсу. Таблиця Feedback необхідна для зберігання інформації про відгуки учня по курсу. Таблиця Student_has_Results необхідна для зберігання інформації про проходження тестів учнем по курсу. Таблиця Results необхідна для зберігання інформації про результати проходження тестів учнем курсу. Таблиця Results_has_Answers необхідна для зберігання інформації про проходження тестів учнем по курсу. Таблиця Answers необхідна для зберігання інформації про відповіді учня в тесті. Таблиця Questions_has_Answers необхідна для зв'язку відповіді та питання у тесті. Таблиця Questions необхідна для зберігання інформації про запитання до тесту курсу. Таблиця Chapters необхідна для зберігання інформації про матеріали розділу курсу. Таблиця Courses необхідна для зберігання інформації про матеріали розділу курсу. Таблиця Teachers_has_Courses необхідна для зв'язку викладачів та курсів, які вони викладають.

Для побудови програмної системи було використано JavaServer Faces (JSF) – платформу розробки інтерфейсу користувача для веб-додатків Java. Вона покликана значно спростити процес створення і підтримки програм, що працюють на сервері програм Java і візуалізують свої інтерфейси на цільовому клієнті [5–7].

Технологія JSF заснована на архітектурі Model View Controller (MVC) для відокремлення логіки від подання.

Дизайн програмної системи розділений на три компоненти за допомогою шаблону проектування MVC [5–7]:

1. Модель (Model): модель предметної області, що включає дані та методи роботи з цими даними, реагує на запити з контролера, повертаючи дані або змінюючи свій стан, дані та логіка обробляються моделлю.

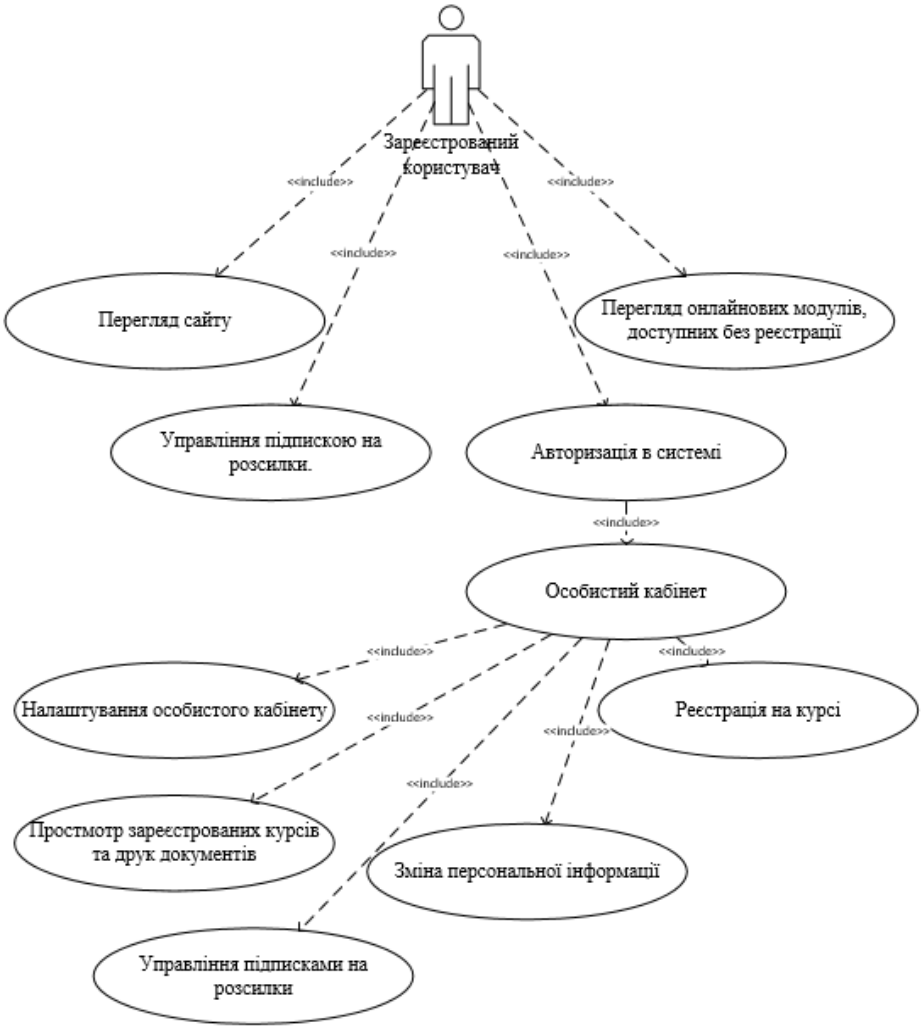


Рис. 1. Діаграма варіантів використання для ролі «Зареєстрований користувач»

Рис. 2. Діаграма варіантів використання для ролі «Відвідувач»

Рис. 3. Діаграма варіантів використання для ролі «Методист напрямку»

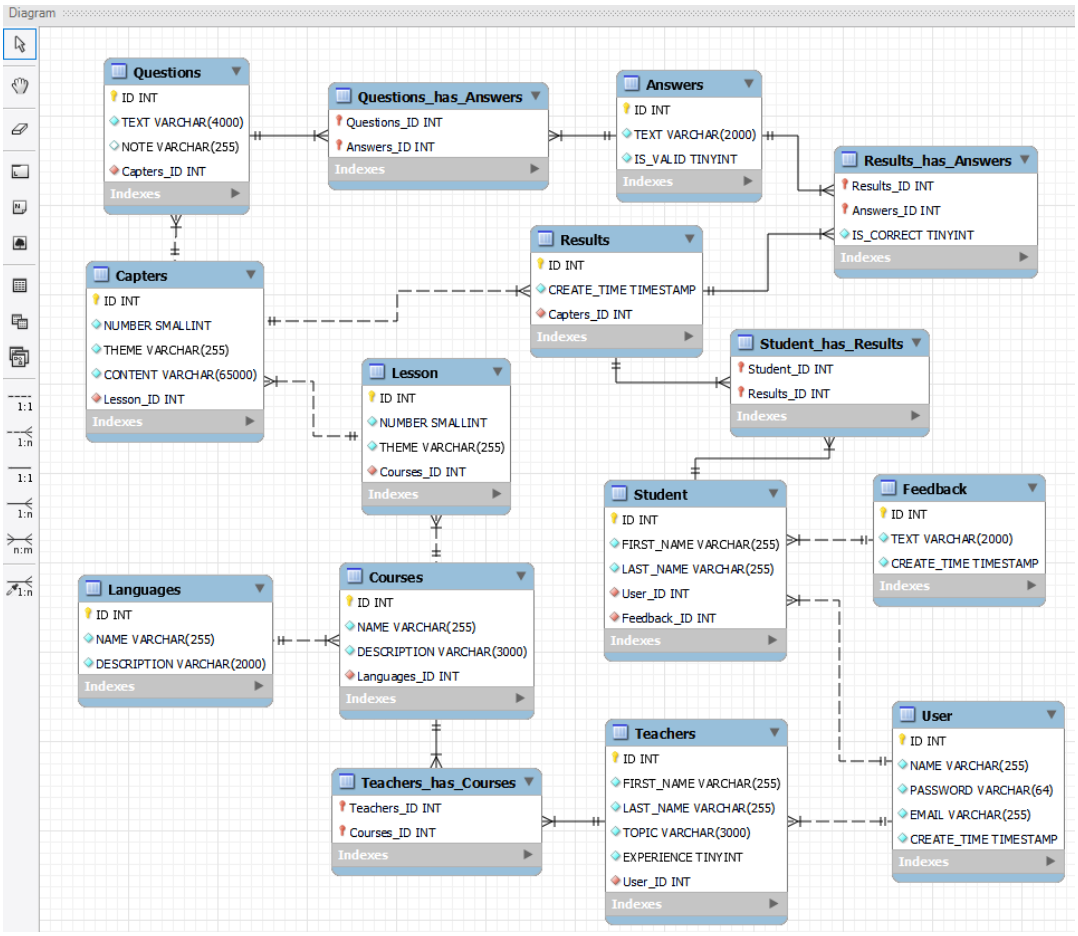


Рис. 4. Концептуальна модель БД

2. Подання (View): View в контексті архітектури MVC – це клас програмного забезпечення, який містить шаблон і форму даних і створює відповідь для браузера, отримує дані від контролера MVC, пакує їх і представляє браузеру для відображення.

3. Контролер (Controller): забезпечує взаємодію з системою, обробляє дії користувача, перевіряє отриману інформацію та передає її моделі, визначає, як програма буде реагувати на дії користувача, відповідає за фільтрацію даних та авторизацію.

Підтримка JSF здійснюється за допомогою IDE NetBeans – безкоштовного інтегрованого середовища розробки з відкритим вихідним кодом, яке спрощує розробку веб-додатків, корпоративних, настільних та мобільних додатків, що використовують платформу Java.

Таким чином, було додано підтримку платформи JSF до базового веб-додатку та виконано такі завдання:

1) створено керовані компоненти JSF для обробки даних запиту;
2) підключено керовані компоненти до веб-сторінок програми;
3) перетворено веб-сторінки на файли шаблонів Facelets.

Керований компонент JSF – це POJO (простий об'єкт Java), який використовується для збереження даних і керується контейнером (сервером GlassFish) за допомогою платформи JSF.

Facelets – це технологія, яка застосовується для формування сторінок програм, створених за специфікацією JSF. Facelets відповідає за вигляд сторінки у браузері. Особливості Facelets: використання XHTML для створення веб-сторінок; підтримка бібліотек тегів Facelets на додаток до бібліотек тегів JavaServer Faces та JSTL; підтримка уніфікованої мови виразів (EL); шаблонізація для компонентів та сторінок [5–7].

Структуру проєкту в IDE NetBeans подано на рис. 5.

Приклади роботи програмної системи подано на рис. 6.

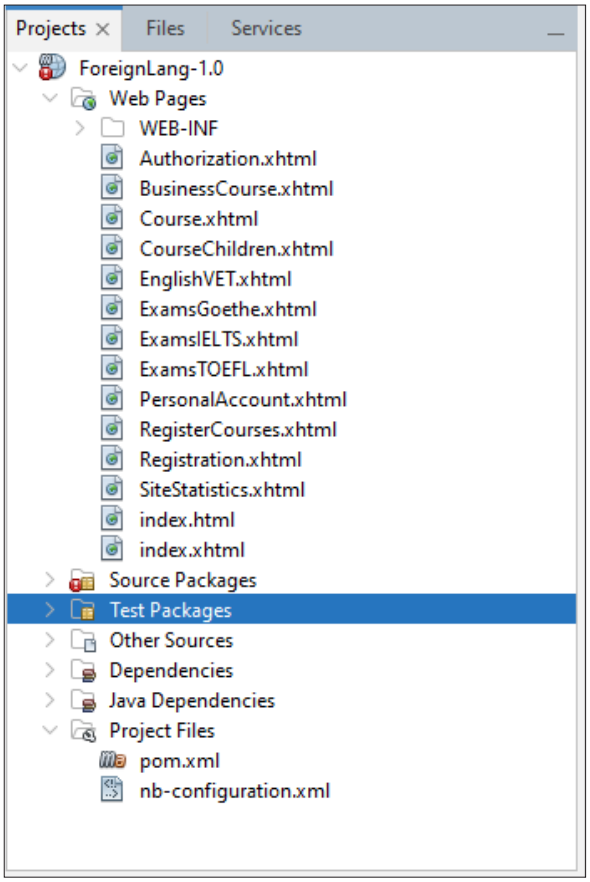


Рис. 5. Структура проєкту в IDE NetBeans

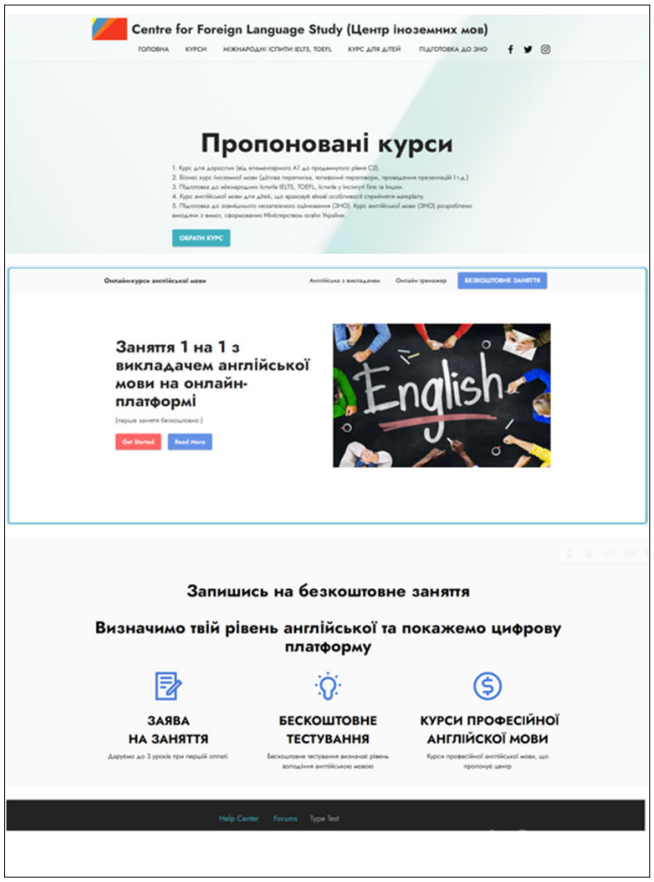


Рис. 6. Приклади роботи програмної системи

Висновки

Сформульовано основний і додатковий функції програмної системи. Наведено ролі користувачів, що передбачені у програмній системі: адміністратор програмної системи, фахівець з маркетингу та рекламі центру вивчення іноземних мов, методист напрямку, фахівець з викладання курсу (викладач), зареєстрований користувач, відвідувач.

Побудовано моделі варіантів використання для ролей, що передбачені у програмній системі. Розроблено БД програмної системи. Для проєктування та розроблення БД програмної системи було використано СКБД MySQL. Описано використання шаблону MVC. Описано методи створення керованого компонента JSF. Керовані компоненти JSF використано для обробки даних користувача та збереження їх між запитами. Розроблено структуру проєкту в IDE NetBeans.

Список використаної літератури

1. Huijuan Yu. Application and Evaluation of Language Learning Software in Teaching Foreign Languages. *Journal of Contemporary Educational Research.* 4(1). 2020. pp. 75–79.
2. Youwen Yang. Computer-assisted Foreign Language Teaching: Theory and Practice. *Journal of Language Teaching and Research.* 1(6). 2010. pp. 909–912.
3. Soonjeong Jee, Hee-Cheol Kim. Understanding English Learners Preparing for TOEIC and Their Information Technology Usage Practices in Korea. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering* 8(5). 2013. pp. 93–104.
4. Myung Jeong Ha. Hyun-chul Kim. E-learning Education for Academic Literacy in Computer-Mediated Communication. *International Journal of Software Engineering and its Applications* 8(1). 2014. pp. 107–118/
5. Hans Bergsten. JavaServer Faces First Edition. *O'Reilly Media*. 2004. 624 p.
6. Bauke Scholtz, Arjan Tijms. The Definitive Guide to JSF in Java EE 8: Building Web Applications with JavaServer Faces. *Apress*. 2018. 709 p.
7. Bill Dudney, Jonathan Lehr, Bill Willis. Mastering JavaServer Faces (Java). *Wiley*. 2004. 480 p.

References

1. Huijuan Yu. (2020). Application and Evaluation of Language Learning Software in Teaching Foreign Languages. *Journal of Contemporary Educational Research*, 4(1), pp. 75–79 [in English].
2. Youwen Yang. (2010). Computer-assisted Foreign Language Teaching: Theory and Practice. *Journal of Language Teaching and Research*, 1(6), pp. 909–912 [in English].
3. Soonjeong Jee, Hee-Cheol Kim. (2013). Understanding English Learners Preparing for TOEIC and Their Information Technology Usage Practices in Korea. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 8(5), pp. 93–104 [in English].
4. Myung Jeong Ha. Hyun-chul Kim. (2014). E-learning Education for Academic Literacy in Computer-Mediated Communication. *International Journal of Software Engineering and its Applications*, 8(1), pp. 107–118 [in English].
5. Hans Bergsten. (2004). JavaServer Faces First Edition. *O'Reilly Media*, 624 p [in English].
6. Bauke Scholtz, Arjan Tijms. (2018). The Definitive Guide to JSF in Java EE 8: Building Web Applications with JavaServer Faces. *Apress*, 709 p [in English].
7. Bill Dudney, Jonathan Lehr, Bill Willis. (2004). Mastering JavaServer Faces (Java). *Wiley*, 480 p [in English].

УДК 004.8 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.25

Д. К. МАРЧУК
старший викладач кафедри комп'ютерних наук
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0000-0001-8675-8047

М. С. ГРАФ
доктор філософії (Ph.D.) з комп'ютерних наук,
завідувач кафедри комп'ютерних наук
Державний університет «Житомирська політехніка»
ORCID: 0000-0003-4873-548X

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛЕЙ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У КОМП'ЮТЕРНОМУ ЗОРІ

Основними завданнями комп'ютерного зору є розпізнавання, виявлення об'єктів та сегментація. Розпізнавання зображень використовується в різних галузях від систем безпеки до діагностування у медицині. Виявлення об'єктів – це техніка визначення місцезнаходження з подальшим розпізнавання у реальному часі. Сегментація – це процес розбиття зображення на багато сегментів. Процес побудови тієї чи іншої моделі може бути складним і щоб модель відповідала поставленому завданню в повному обсязі потрібно визначити її ефективність. Метою дослідження є огляд показників ефективності, точності, продуктивності моделей комп'ютерного зору. Було описано класична версія показника перетин через об'єднання (IoU). Представлені різні модифікації і покращення IoU такі як багато масштабний IoU (MIoU), обмежувальний IoU (BaIoU) та BhIoU. Особу увагу приділено узагальненому перетену через об'єднання (GIoU), для усунення недоліків втрати IOU. Тобто втрата IOU завжди буде дорівнювати нулю, коли два блоки не взаємодіють – не перетинаються. Продуктивність алгоритмів комп'ютерного зору виявлення об'єктів і сегментації зазвичай перевіряється за допомогою середнього значення середнього (mAP). А так як mAP базується на різних субметриках, було розглянути матриця плутанини, перетин через об'єднання, Recall та Precision. Для кращого розуміння показників було продемонстровано приклад з розрахунком продуктивності (Accuracy), точності (Precision), ефективності класифікації (Recall), гармонійного середнього значення точності та чутливості моделі (F1-Score). Насамкінець, очевидно, що це дослідження показало що за допомогою цих метрик можна перевірити, наскільки точна навчена модель.

Ключові слова: *комп'ютерний зір, метрики оцінювання, IoU, Recall, F1-Score, Precision, Confusion matrix, mAP.*

D. K. MARCHUK
Senior Lecturer at the Department of Computer Science
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0000-0001-8675-8047

M. S. GRAF
Ph.D., Head of the Department of Computer Science
Zhytomyr Polytechnic State University
ORCID: 0000-0003-4873-548X

METHODS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF OBJECT DETECTION MODELS IN COMPUTER VISION

The main tasks of computer vision are recognition, object detection, and segmentation. Image recognition is used in a variety of industries from security systems to medical diagnostics. Object detection is a technique for locating objects and then recognizing them in real time. Segmentation is the process of dividing an image into many segments. The process of building a model can be complex, and in order for the model to fully meet the task, it is necessary to determine its effectiveness. The purpose of the study is to review the performance, accuracy, and productivity of computer vision models. The classical version of the intersection of union (IoU) indicator is described. Various modifications and improvements of the IoU such as the multi-scale IoU (MSIoU), the bounding IoU (BaIoU), and the BhIoU are presented. Particular attention is paid to the generalized intersection through union (GIoU) to eliminate the disadvantages of IOU loss. That is, the IOU loss will always be zero when two blocks do not interact – do not intersect. The performance of computer vision algorithms for object detection and segmentation is usually tested using the mean of the mean (mAP). And since mAP is based on various submetrics, we considered the confusion matrix, Intersection through Merging, Recall, and Precision. For a better understanding of the metrics, an example was demonstrated with the calculation of accuracy,

precision, recall, harmonic mean of accuracy, and model sensitivity (F1-Score). Finally, it is obvious that this study has shown that these metrics can be used to check how accurate a trained model is.

Key words: *computer vision, evaluation metrics, IoU, Recall, F1-Score, Precision, confusion matrix, mAP.*

Постановка проблеми

Машинне навчання часто використовується для рішення задач які сприяють прийняттю того чи іншого рішення, для цього будується модель. Процес побудови такої моделі може бути складним і розроблена модель повинна відповідати задачі в повному обсязі. Визначення ефективності побудованої моделі є важливим кроком, тому що може впливати на прийняття рішення.

Для вирішення завдань, що пов'язані комп'ютерним зором, найчастіше використовуються різні моделі нейронних мереж на базі CNN. Наприклад, це можуть бути AlexNet, GoogleNet, VGGNet, тощо. Кожна із них має свої особливості та працюватиме по-різному залежно від різних факторів. Щоб визначитися з найкращою моделлю шляхом об'єктивного порівняння потрібно мати різні метрики оцінки та показники продуктивності.

Метою дослідження є аналіз різних показників ефективності і оцінці для моделей виявлення об'єктів у комп'ютерному зорі. Метрики оцінки виявлення об'єктів повинні враховувати як категорію, так і розташування об'єктів, і саме для цього використовується mAP. А щоб зрозуміти mAP, необхідно розуміти IoU, Precision, Recall та криву Precision-Recall.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Перетин через об'єднання (Intersection Over Union, IoU) є найпопулярнішим показником оцінки, який використовується в контрольних тестах виявлення об'єктів. Завдяки своєї привабливості і властивостям IoU використовується для оцінки виявлення об'єктів [1, 2, 3, 4] і відстеження [5, 6].

Автори статей [7, 8, 9] запропонували доповнення, покращення IoU. У роботі [7] автори підкреслили нечутливість популярних оціночних метрик до структури виявлених об'єктів і запропонували нову метрику для вирішення цієї проблеми. Автори пропонують Multiscale IoU (MIoU), яка є поєднанням популярної метрики оцінювання, а саме перетину через об'єднання (IoU) і геометричної концепції, яка називається фрактальним виміром. MIoU, як стверджують автори, чутлива до тонких граничних структур, які повністю не помічаються IoU та Fl-Score. У документі [8] була розглянута проблема виявлення 2D/3D об'єктів, використовуючи IoU для двох повернутих Bbox. Автори запропонували уніфікований рівень втрат IoU, який можна застосувати для фреймворків виявлення 2D/3D об'єктів, вирівняних по осі або повернутих. Зокрема, запропоновані втрати IoU працюють набагато краще, коли поріг IoU встановлено на високе значення. У дослідженні [10] висвітлюється проблема великої похибки навчання та низької точності навчання на основі функції втрат IoU і запропоновано дві вдосконалені версії функцій втрат BaIoU та BhIoU, покращуючи форму IoU для покращення алгоритму IoU. Експеримент регресійного моделювання обмежувальної рамки доводить, що BaIoU та BhIoU можуть ефективно подолати проблеми повільної збіжності та великої похибки навчання функції втрат на основі IoU.

Викладення основного матеріалу дослідження

Виявлення об'єктів відноситься до області комп'ютерного зору, яка займається локалізацією та класифікацією об'єктів, що містяться на зображенні чи відео. В процесі виявлення об'єкту навколо нього малюється обмежувальна рамка і об'єкт в даному випадку вже є класифікованим.

Існує багато показників для оцінки моделей машинного навчання, а саме для виявлення об'єктів. Кожен показник має свої переваги та недоліки.

Наприклад, показник перетин через об'єднання (Intersection over Union, IoU), також відомий як коефіцієнт Жаккара (Jaccard), оцінює точність детектору об'єктів, показник, який кількісно визначає ступінь перекриття між двома регіонами.

IoU між двома обмежувальними рамками обчислюється як відношення площі перетину до площі об'єднання (рис. 1).

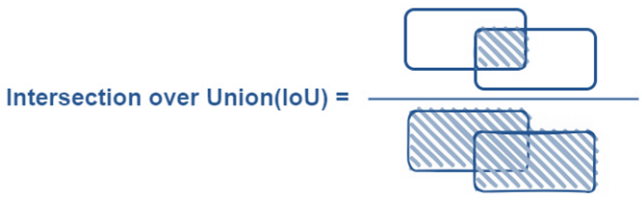


Рис. 1. Показник перетин через об'єднання

Також IoU можна представити у вигляді формули:

$$IoU = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

Для обчислення IoU необхідно знайти координати області перетину і об'єднання, це мінімальні і максимальні значення координат двох обмежувальних рамок. Отримане значення буде коливатися від 0 до 1. За допомогою значення IoU можна визначити, чи є прогноз істинно-позитивним (True Positive, TP), істинно-негативним (True Negative, TN), хибно-позитивним (False Positive, FP) чи хибно-негативним (False Negative, FN) (рис. 2). Загалом поріг IoU, який можна використати для виявлення об'єктів, становить 0,5. Якщо IoU перевищує 0,5 прогноз можна вважати істинно-позитивним або хибно-позитивним, якщо менше 0,5. Найкраще значення буде дорівнювати 1, але це дуже малоймовірно.

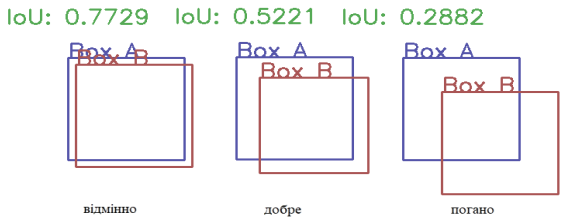


Рис. 2. Визначення IoU у трьох різних сценаріях

Якщо IoU = 0, це означає що обмежуючи рамки не перетинаються (рис.3), і фігури можуть бути рядом або знаходяться далеко одна від одної.

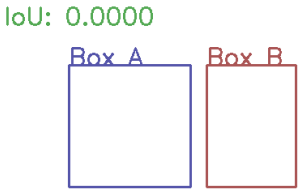


Рис. 3. IoU=0

В дослідження [9] було запропоновано узагальнену версію IoU яка вирішує проблему, де |A∩B| = 0, IoU(A, B) = 0 під назвою узагальнений перетин через об'єднання (Generalized Intersection over Union, GIoU).

Мета методу полягає в тому щоб знайти для A і B найменший опуклий об'єкт C, де C ⊆ S ∈ R. Якщо A, B ⊆ S ∈ R. Потім обчислити співвідношення між об'ємом (площею), яку займає C, за винятком A і B, і поділити на загальний об'єм (площу), яку займає C. Це нормалізований показник, який зосереджується на порожньому об'ємі (площі) між A і B. Зрештою, GIoU визначається шляхом віднімання цього відношення від значення IoU, що можна представити наступною формулою:

$$GIoU = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} - \frac{|C \setminus A \cup B|}{|C|}$$

GIoU завжди є нижньою межею для IoU, тобто ∀A, B ⊆ S GIoU(A, B) ≤ IoU(A, B), і ця нижня межа стає більш жорсткою, коли A і B мають більшу подібність форми та близькість, тобто limA→B GIoU(A, B) = IoU(A, B). ∀A, B ⊆ S, 0 ≤ IoU(A, B) ≤ 1, але GIoU має симетричний діапазон, тобто ∀A, B ⊆ S, −1 ≤ GIoU(A, B) ≤ 1. Подібно до IoU, значення 1 виникає лише тоді, коли два об'єкти накладаються ідеально, тобто якщо |A∪B| = |A∩B|, тоді GIoU = IoU = 1

Для вимірювання продуктивності моделі іноді використовують матрицю плутанини (Confusion matrix), яка підсумовує продуктивність моделі машинного навчання на тестовому наборі даних. Матриця відображає кількість показників: істинно-позитивних, істинно-негативних, хибно-позитивних і хибно-негативних.

Матриця відображається у вигляді таблиці. Для бінарної класифікації матриця буде представлена таблицею 2x2, де буде представлено чотири типи результатів (таблиця 1). Для класифікації з n класів матриця буде представлена таблицею nxn.

Таблиця 1

Матриця плутанини 2x2

		Прогнозоване	
		Позитивне (P)	Негативне (N)
Фактичне	Позитивне (P)	Істино-позитивне (TP)	Істино-негативне (TN)
	Негативне (N)	Хибно-позитивне (FP)	Хибно-негативне (FN)

Для прикладу розглянемо модель бінарної класифікації, яка може передбачити результат розпізнавання машини на картинці.

Припустимо, що TP = 4, FP = 1, FN = 3 TN = 2, тоді матриця плутанини буде мати вид, представлений на рисунку 4.

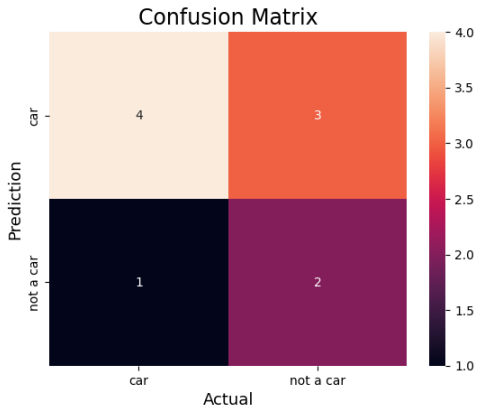


Рис. 4. Матриця плутанини

Отримавши матрицю плутанини можна знайти наступні метрики:

– продуктивність моделі (Accuracy);
– точність (Precision);
– ефективність моделі класифікації в ідентифікації всіх відповідних екземплярів із набору даних (Recall);
– оцінку загальної ефективності (F1-Score).

Продуктивність моделі – це відношення загальної кількості правильних випадків до загальної кількості випадків. Обчислюється за формулою:

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

Для наведеного вище випадку продуктивність моделі = (4+2)/(4+2+1+2) = 6/9 = 0,667.

Щоб визначити наскільки точними є позитивні прогнози моделі потрібно кількість істинно-позитивних прогнозів поділити на загальну кількість позитивних прогнозів. Обчислюється за формулою:

$$precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

Точність = 4/(4+1) = 4/5 = 0,8.

Ефективність моделі класифікації в ідентифікації всіх відповідних екземплярів із набору даних – це відношення кількості істино-позитивних випадків до суми істино-позитивних і хибно-негативних випадків. Обчислюється за формулою:

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

Ефективність моделі класифікації в ідентифікації всіх відповідних екземплярів із набору даних = 4/(4+3) = 4/7 = 0,57.

Оцінки загальної ефективності – це гармонійне середнє значення точності та чутливості моделі. Обчислюється за формулою:

$$\text{F1-Score} = \frac{2 * \text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

Оцінки загальної ефективності = (2*0,8*0,57)/(0,8+0,57) = 0,67.

Чим показник F1-Score вище, тим краще точність моделі, якщо показник низький тим найгірше, є дисбаланс між точністю та продуктивністю моделі.

Продуктивність алгоритмів виявлення об’єктів і сегментації зазвичай перевіряється за допомогою метрики mAP (mean average precision). Багато алгоритмів використовують mAP для оцінки своєї продуктивності перед публікацією остаточних результатів, зокрема R-CNN, Faster R-CNN, YOLO, Mask R-CNN. Формула mAP базується на субметриках таких як Confusion matrix, IoU, Recall та Precision. mAP складається із середнього значення (AP) кожного класу. Але для оцінки виявлення об’єктів COCO AP і mAP інтерпретуються однаково.

mAP обчислюється шляхом визначення середньої точності (AP) для кожного класу, а потім усереднення для заданих класів. mAP можна обчислити за формулою:

$$mAP = \frac{\sum_{i=1}^{N} AP_i}{N},$$

де N – загальна кількість класів;

AP_i – середня точність для заданого класу i.

Алгоритм розрахунку середнього значення (AP) кожного класу:

1) за допомогою моделі згенерувати оцінки прогнозу;
2) перетворити оцінки прогнозу на мітки класу;
3) обчислити матрицю плутанини (TP, FP, TN, FN).
4) обчислити показники Recall та Precision;
5) побудувати криву Precision-Recall, обчисліть площу під кривою;
6) обчистити середню точність.

Розраховуємо AP шляхом взяття площі під кривою Precision-Recall для приклада з розпізнавання машини на картинці (рис. 5).

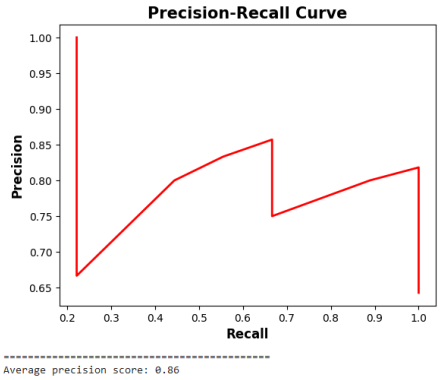


Рис. 5. Розрахунок AP для першого класу

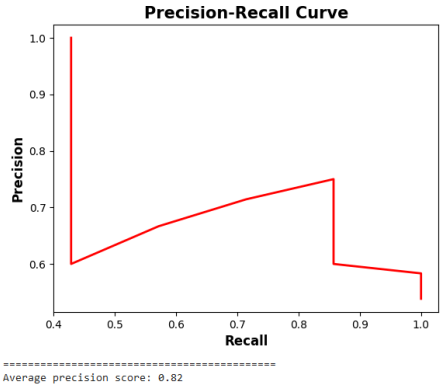


Рис. 6. Розрахунок AP для другого класу

Після обрахування AP для кожного класу в наборі даних обчислюється mAP.

Для наведеного прикладу mAP = (0,86+0,82)/2 = 0,84. Чим вищий показник, тим точніше виявлення моделі.

Висновки

Проведено дослідження різних показників ефективності та оцінки моделей виявлення об'єктів у комп'ютерному зорі. Були розглянуті різні метрики таки як IoU, Precision, Recall, крива Precision-Recall та mAP. За допомогою цих метрик можна перевірити, наскільки точна навчена модель із набором даних для перевірки. Як змінюються метрики, якщо змінювати порогові значення або параметри.

Список використаної літератури

1. C.-d. Yang, R.-c. Xie, S.-b. Shi and Z. Tang, "Multi-Target Tracking and Segmentation Method for Missile-Borne Image Based on IoU Association," 2019 *12th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, Xiangtan, China, 2019, pp. 207–211, doi: 10.1109/ICICTA49267.2019.00051.

2. C. Ma, L. Zhuo, J. Li, Y. Zhang and J. Zhang, "Prohibited Object Detection in X-ray Images with Dynamic Deformable Convolution and Adaptive IoU," 2022 *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Bordeaux, France, 2022, pp. 3001–3005, doi: 10.1109/ICIP46576.2022.9897684.

3. M. Sugang, L. Ningbo, P. Guansheng, C. Yanping, W. Ying and H. Zhiqiang, "Object detection algorithm based on cosine similarity IoU," 2022 *International Conference on Networking and Network Applications (NaNA)*, Urumqi, China, 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/NaNA56854.2022.00077.

4. V. Levkivskyi, D. Marchuk, N. Lobanchykova et al, . "Available parking places recognition system", 2022 *CEUR Workshop Proceedings 4th Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering*, Vol. 3077, pp. 123–134, [Online], available at: http://ceur-ws.org/Vol-3077/paper07.pdf

5. L. Janos Lance, T. Edwin Sybingco and J. A. C. Jose, "Efficient Vehicle Counting Algorithm using Gaussian Mixing Models and IOU Based Tracker for LPWAN Based Intelligent Traffic Management Systems," *2022 IEEE 14th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM),* Boracay Island, Philippines, 2022, pp. 1–4, doi: 10.1109/HNICEM57413.2022.10109498.

6. Zhang, H., Wang, Y., Dayoub, F., & Sunderhauf, N. (2021). Varifocalnet: An iou-aware dense object detector. *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8514–8523).

7. A. Ahmadzadeh, D.J. Kempton, Y. Chen and R.A. Angryk, "Multiscale IOU: A Metric for Evaluation of Salient Object Detection with Fine Structures," 2021 *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Anchorage, AK, USA, 2021, pp. 684–688, doi: 10.1109/ICIP42928.2021.9506337.

8. D. Zhou, J. Fang, X. Song, C. Guan, J. Yin, Y. Dai, and R. Yang, "Iou loss for 2d/3d object detection," *In 2019 International Conference on 3D Vision (3DV)*, pp. 85–94. IEEE, 2019.

9. H. Rezatofighi, N.Tsoi, J. Gwak, A. Sadeghian, I. Reid and S. Savarese, "Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression," *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 658–666. 2019.

10. Z. Liu, J. Cheng, Q. Wang and L. Xian, "Improved Design Based on IoU Loss Functions for Bounding Box Regression," 2022 *IEEE 6th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, Beijing, China, 2022, pp. 452–458, doi: 10.1109/IAEAC54830.2022.9929938.

References

1. C.-d. Yang, R.-c. Xie, S.-b. Shi and Z. Tang, "Multi-Target Tracking and Segmentation Method for Missile-Borne Image Based on IoU Association," 2019 12th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), Xiangtan, China, 2019, pp. 207-211, doi: 10.1109/ICICTA49267.2019.00051.

2. C. Ma, L. Zhuo, J. Li, Y. Zhang and J. Zhang, "Prohibited Object Detection in X-ray Images with Dynamic Deformable Convolution and Adaptive IoU," 2022 *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Bordeaux, France, 2022, pp. 3001-3005, doi: 10.1109/ICIP46576.2022.9897684.

3. M. Sugang, L. Ningbo, P. Guansheng, C. Yanping, W. Ying and H. Zhiqiang, "Object detection algorithm based on cosine similarity IoU," 2022 *International Conference on Networking and Network Applications (NaNA)*, Urumqi, China, 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/NaNA56854.2022.00077.

4. V. Levkivskyi, D. Marchuk, N. Lobanchykova et al, . "Available parking places recognition system", 2022 *CEUR Workshop Proceedings 4th Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering*, Vol. 3077, pp. 123–134, [Online], available at: http://ceur-ws.org/Vol-3077/paper07.pdf

5. L. Janos Lance, T. Edwin Sybingco and J. A. C. Jose, "Efficient Vehicle Counting Algorithm using Gaussian Mixing Models and IOU Based Tracker for LPWAN Based Intelligent Traffic Management Systems," *2022 IEEE 14th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM),* Boracay Island, Philippines, 2022, pp. 1–4, doi: 10.1109/HNICEM57413.2022.10109498.

6. Zhang, H., Wang, Y., Dayoub, F., & Sunderhauf, N. (2021). Varifocalnet: An iou-aware dense object detector. *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8514–8523).

7. A. Ahmadzadeh, D. J. Kempton, Y. Chen and R. A. Angryk, "Multiscale IOU: A Metric for Evaluation of Salient Object Detection with Fine Structures," 2021 *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Anchorage, AK, USA, 2021, pp. 684–688, doi: 10.1109/ICIP42928.2021.9506337.

8. D. Zhou, J. Fang, X. Song, C. Guan, J. Yin, Y. Dai, and R. Yang, "Iou loss for 2d/3d object detection," *In 2019 International Conference on 3D Vision (3DV)*, pp. 85–94. IEEE, 2019.

9. H. Rezatofighi, N.Tsoi, J. Gwak, A. Sadeghian, I. Reid and S. Savarese, "Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression," *In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 658–666. 2019.

10. Z. Liu, J. Cheng, Q. Wang and L. Xian, "Improved Design Based on IoU Loss Functions for Bounding Box Regression," 2022 *IEEE 6th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, Beijing, China, 2022, pp. 452–458, doi: 10.1109/IAEAC54830.2022.9929938.

UDC 004.62 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.26

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

M. O. ILIN
Postgraduate Student at the Department of Computer Systems Software
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID: 0009-0001-0803-3726

SOFTWARE ANALYSIS OF RADIATION AIR POLLUTION STREAMING DATA

In today's world, attention to environmental protection and sustainable development is increasing. Natural resources are limited, so it is important to take measures to control and preserve the ecological state of the environment. One of the effective tools for this is environmental monitoring systems that are able to collect and process streaming data. Streams come in real time from various sensors measuring environmental parameters such as air quality, noise level, water level, pollutant emissions and many others. Analysis of data from systems for monitoring environmental indicators is an important tool for monitoring and improving the state of the environment, allows for more effective management of natural resources, reduces the negative impact of human activity on the environment and promotes sustainable development. One of the main advantages of streaming data processing is the ability to analyze and respond to changes in real time. This allows to promptly detect dangers, deviations from standards, emergency situations or other problems arising in the environment and immediately take measures to eliminate them. The processing of streaming data allows analyzing trends and predicting possible risks and problems in the environment. This allows to take precautionary measures and develop strategies to preserve the ecological state. Data obtained from monitoring systems can serve as a basis for the development of policies and regulatory standards in the field of environmental protection.

The article describes software methods for analyzing streaming data, in particular, for analyzing radiation air pollution. Open data for indicators of radiation air pollution in the Kyiv city were analyzed and data visualization was carried out using analytical tools of the Python programming language. A correlation was found between radiation indicators at different times of the day, the time periods of emergency shutdowns of the sensor were analyzed. The Google Colab cloud environment was used for data analysis. The technical characteristics of the monitoring system of radiation air pollution indicators in the Kyiv city from open data sources of the ThingSpeak platform are described.

Key words: *software methods, streaming data, Python, air pollution monitoring, radioactive particle sensor, ThingSpeak, Internet of Things, ESP12.OLED.*

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

М. О. ІЛЬЇН
аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0009-0001-0803-3726

ПРОГРАМНИЙ АНАЛІЗ ПОТОКОВИХ ДАНИХ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ

У сучасному світі збільшується увага до питань охорони навколишнього середовища та сталого розвитку. Природні ресурси обмежені, тому важливо вживати заходів для контролю і збереження стану довкілля. Одним із ефективних інструментів для цього є програмні системи моніторингу показників навколишнього середовища, які здатні збирати та обробляти потокові дані. Потокові дані надходять у режимі реального часу з різних датчиків, що вимірюють параметри середовища, такі як якість повітря, рівень шуму, рівень

води, викиди забруднюючих речовин і багато інших. Аналіз даних систем моніторингу показників повітря є важливим інструментом для контролю та покращення стану навколишнього середовища, дозволяє забезпечити більш ефективне управління природними ресурсами, зменшити негативний вплив людської діяльності на довкілля та сприяти сталому розвитку. Однією з основних переваг обробки потокових даних є здатність до аналізу і реагування на зміни в реальному часі. Це дозволяє оперативно виявляти небезпеки, відхилення від стандартів, аварійні ситуації або інші проблеми, що виникають у навколишньому середовищі та негайно приймати заходи для їх усунення. Обробка потокових даних дозволяє аналізувати тенденції та прогнозувати можливі ризики та проблеми в навколишньому середовищі. Це дозволяє приймати запобіжні заходи та розробляти стратегії для збереження екологічного стану. Дані, отримані з моніторингових систем, можуть слугувати підґрунтям для розробки політик та регулюючих стандартів у сфері охорони навколишнього середовища.

У статті описано програмні методи аналізу потокових даних, зокрема, для аналізу радіаційного забруднення повітря. Проаналізовано відкриті дані показників радіаційного забруднення повітря у м. Києві та здійснено візуалізацію даних за допомогою аналітичних інструментів мови програмування Python. Знайдено кореляцію між показниками радіаційного випромінювання в різний час доби, проаналізовано періоди часу аварійних відключень датчика. Для аналізу даних використано хмарне середовище Google Colab. Описано технічні характеристики моніторингової системи показників радіаційного забрудненння повітря у м. Київ з відкритих джерел даних платформи ThingSpeak.

Ключові слова: *програмні методи, потокові дані, Python, моніторинг стану радіаційного забруднення повітря, датчик радіоактивних частинок, ThingSpeak, Інтернет речей, ESP12.OLED.*

Problem statement

The importance of monitoring air quality from sensors is that air, as one of the main components of the environment, has a direct impact on human health, the ecosystem and the overall quality of life. Because air is a mixture of gases, aerosols, and other harmful substances, its quality can vary greatly depending on various factors, including industry, transportation, energy, and other sources of pollution. The air quality monitoring is necessary for protection of public health. Poor air quality can lead to the development of various diseases of the respiratory system, cardiovascular diseases and other health problems. Monitoring allows to detect high levels of harmful substances, such as soot, nitrogen oxides, hydrogen sulfide, and others, and take the necessary measures to reduce their concentration and protect public health. Air quality monitoring helps assess the environmental impact of various sources of pollution such as industrial plants, transportation systems, energy, etc. This provides a basis for making decisions to improve efficiency, eradicate hazardous sources of pollution and promote sustainable development.

Related research

Researchers are constantly working on developing and improving sensor technologies used in air quality monitoring [1]. Studies focus on enhancing the accuracy, precision, and reliability of sensors to ensure the collection of high-quality data. This involves advancements in sensor calibration, data validation techniques, and the evaluation of sensor performance in different environmental conditions [2]. Researchers use monitoring data to create detailed air pollution maps and models. These maps provide spatial representations of air quality, identifying hotspots of pollution and understanding pollutant dispersion patterns [3]. The research involves the integration of monitoring data with geographical information systems (GIS) and the development of predictive models to estimate pollution levels in areas without monitoring stations [4].

Numerous studies investigate the health effects of air pollution using data from monitoring systems [5]. Researchers analyze the relationship between pollutant concentrations and adverse health outcomes such as respiratory diseases, cardiovascular issues, and even mortality rates. These studies provide valuable insights into the impacts of air pollution on public health and support the development of policies and regulations to mitigate these effects [6].

Monitoring systems help in identifying pollution sources and assessing their contributions to air pollution. Researchers employ advanced data analysis techniques, such as source apportionment models, to identify pollution sources such as industries, transportation, and biomass burning. This knowledge aids in designing targeted emission control strategies and implementing effective pollution reduction measures [7].

Citizen science initiatives involve the active participation of communities in monitoring air quality. Researchers explore the role of citizen scientists in data collection, validation, and interpretation. They study the effectiveness of community-based monitoring networks and assess the impact of community engagement on raising awareness, influencing policy decisions, and promoting behavioral changes to improve air quality [8].

The main goal of the article is streaming data software analysis of the air radiation indicators from open-source monitoring system.

Existing software solutions for sensor data analysis

ThingSpeak is an open-source Internet of Things (IoT) platform and cloud service that allows users to collect, analyze, and visualize sensor data from connected devices. It provides a simple and easy-to-use interface for managing IoT data and creating applications based on that data (Fig. 1).

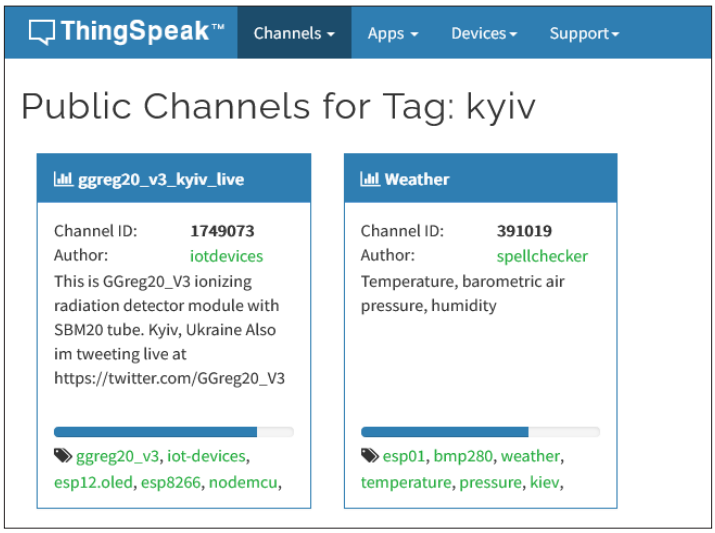


Fig. 1. ThingSpeak IoT platform and open data channels for research

The IoT device in Fig. 1 is a GGreg20_V3 radioactive particle detector with an SBM-20 Geiger tube. Description of the data source: the GGreg20_V3 radioactive particle detector is an electronic sensor module for building a personal Geiger counter and determining the level of ionizing radiation. This IoT data source on thingspeak.com provides the following metrics measured by its sensor in real time: ggreg20_v3_cpm, ggreg20_v3_usvperh, and ggreg20_v3_dose_usv (Fig. 2).

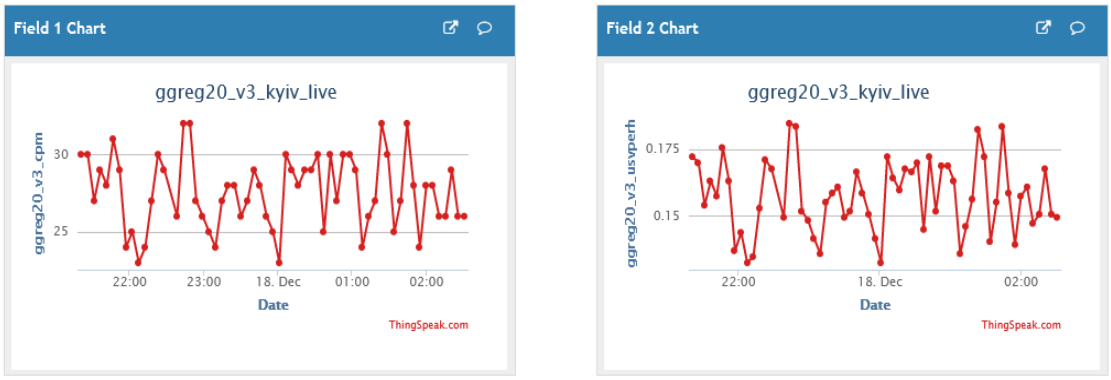


Fig. 2. Graphs of GGreg20_V sensor indicator values

ThingSpeak enables users to collect data from various sources, such as sensors, devices, and IoT platforms. It supports a wide range of communication protocols, including HTTP, MQTT, and TCP/IP, making it compatible with a variety of devices and technologies. The core concept in ThingSpeak is a «channel.» A channel represents a stream of data from a specific source or device. Users can create multiple channels to organize and manage their data effectively.

ThingSpeak provides cloud-based storage for collected sensor data. It offers a time-series database that can handle large volumes of data and supports efficient retrieval and analysis of historical data. ThingSpeak offers built-in analytics capabilities, allowing users to perform basic mathematical operations, filtering, and visualization on the collected data. It provides functions to calculate averages, maximums, minimums, and other statistical measures.

The platform also includes built-in charting tools for creating real-time graphs and visualizing data trends. ThingSpeak allows users to define triggers and reactions based on specified conditions. Triggers can be set to activate when certain data thresholds are reached, and reactions can be defined to perform actions such as sending notifications or triggering external processes. ThingSpeak integrates with various IoT platforms, services, and hardware devices. It supports integration with MATLAB for advanced data analysis and modeling. Additionally, it provides APIs and webhooks for easy integration with other applications and services. ThingSpeak is open-source, which means that its source code is freely available for modification and customization. It has an active user community that shares code, examples, and offers support to users.

There are several existing software solutions for sensor data analysis that can be considered as analogues to Thingspeak. InfluxDB is a time-series database specifically designed for handling and analyzing sensor data. It provides

high-performance storage and retrieval of time-stamped data, along with built-in querying capabilities. InfluxDB also offers integration with visualization tools like Grafana for data visualization and monitoring. Grafana is an open-source analytics and visualization platform that can be used with various data sources, including sensor data stored in databases like InfluxDB. It provides flexible and interactive dashboards to visualize sensor data in real-time, perform data exploration, and create custom analytics and alerts. AWS IoT Analytics is a managed service provided by Amazon Web Services (AWS) that enables the collection, processing, and analysis of sensor data at scale. It offers features such as data ingestion, data transformation, data storage, and advanced analytics capabilities to derive insights from sensor data. AWS IoT Analytics integrates with other AWS services for seamless data integration and further analysis. Microsoft Azure IoT Hub is a cloud-based platform that allows for the ingestion and management of sensor data from connected devices. It provides capabilities for data processing, storage, and analysis, as well as integration with other Azure services such as Azure Stream Analytics and Azure Machine Learning for advanced analytics and predictive modeling.

Research results

We use of Python programming language technologies to analyze streaming data from online platforms to which data from sensors are sent. First, it was necessary to choose the nearest source of IoT data, in order to subsequently analyze the data from the selected source using the Python language. For this, the site https://thingspeak.com/channels/public was used, where we can sort public IoT data sources by tag. Since the place of residence is Kyiv city, the IoT data sources were filtered according to the "kyiv" tag. Only two IoT data sources were found for the "kyiv" tag, namely: a data source named "ggreg20_v3_kyiv_live" with a unique ID of 1749073, and a data source named "Weather" with a unique ID of 391019 (Fig. 1). Since the data source named "ggreg20_v3_kyiv_live" with the unique identifier 1749073 contained detailed information about this IoT device and its structure in the description, it was decided to choose it for further research. Because another data source named "Weather" with a unique identifier of 391019 did not provide a description of IoT device or a description of the structure of the sensor on the ThingSpeak platform.

So, we describe the selected IoT data source with the name "ggreg20_v3_kyiv_live". The IoT data source named "ggreg20_v3_kyiv_live" with unique ID 1749073 uses the GGreg20_V3 radioactive particle detector with SBM-20 Geiger tube as an IoT device. Description of the data source: the GGreg20_V3 radioactive particle detector is an electronic sensor module for building a personal Geiger counter and determining the level of ionizing radiation. This IoT data source on thingspeak.com provides the following metrics measured by its sensor in real time: ggreg20_v3_cpm, ggreg20_v3_usvperh, and ggreg20_v3_dose_usv:

• ggreg20_v3_cpm is the number of pulses per minute. The name indicates ggreg20_v3, this is the actual name of the module, and cpm is deciphered as counts per minute, that is, it is the number of pulses per minute. This indicator characterizes the current power of ionizing radiation per minute cycle. The greater the number of pulses, the greater the level of radiation. From this value, we can get the dose of radioactive radiation in μSv/h by using the following formula: cpm * 0.0092.

• ggreg20_v3_usvperh is the dose rate of ionizing radiation, or in other words, the radiation intensity, which is given in the dimension of μSv/h (microsievert per hour). The name indicates ggreg20_v3, this is the actual name of the module, and usvperh stands for uSv per hour. This indicator allows to assess the radiation situation at the current moment. With a normal radiation background, this value should be less than 50 μSv/h.

• ggreg20_v3_dose_usv is the equivalent dose of ionizing radiation accumulated since the IoT device was started. This indicator is given in μSv (microsievert). This indicator always increases, as it shows the received dose of ionizing radiation from the moment the device is started. That is, the longer the device works, the higher the received radiation dose becomes. So, the above-described IoT data source allows to obtain in real time the ionizing radiation dose rate in the Kyiv city, as well as the accumulated radiation dose at the current moment, starting from the start of the device. To find out the structure of the IoT device itself and its sensor, we look at the tags that were added on the site for the selected data source. Among them we have: "ggreg20_v3", "Iot-devices", "esp12.oled", "esp8266", "Kyiv", "Ukraine", "radiation", "sbm20", "geiger". The sensor is based on the MCU microcontroller "ESP12.OLED" because it has "esp12.oled" in the tags. The ESP12.OLED board is a ready-to-program universal ESP8266 MCU controller with a graphic display and interfaces for connecting digital and analog sensors and actuators (Fig. 3). It is used as a central module of IoT devices. This device is based on the NodeMCU ESP8266 board, which is a microcontroller manufactured by Espressif with a built-in Wi-Fi interface. The ESP12.OLED controller includes: GPIO connectors; MCU controller ESP8266-12; built-in monochrome OLED display SSD1306 128×64 0.96″ with I2C interface; Flash button (D3/GPIO0/P18); Rst button; RGB LED; UART interface for testing and programming.

This IoT device also uses "GGreg20_V3 Radioactive Particle Detector with SBM-20 Geiger tube", which is a sensor that measures radioactive radiation (Fig. 4).

The GGreg20_V3 radioactive particle detector is an electronic sensor module for building a personal Geiger counter and determining the level of ionizing radiation. For this, the sensor device provides an output, which can be used to count pulses on the controller. The radiation level can be indicated by light and sound signals. This module can be used to determine the power of ionizing radiation both indoors and outdoors, both in a handheld/pocket design and in stationary mode.

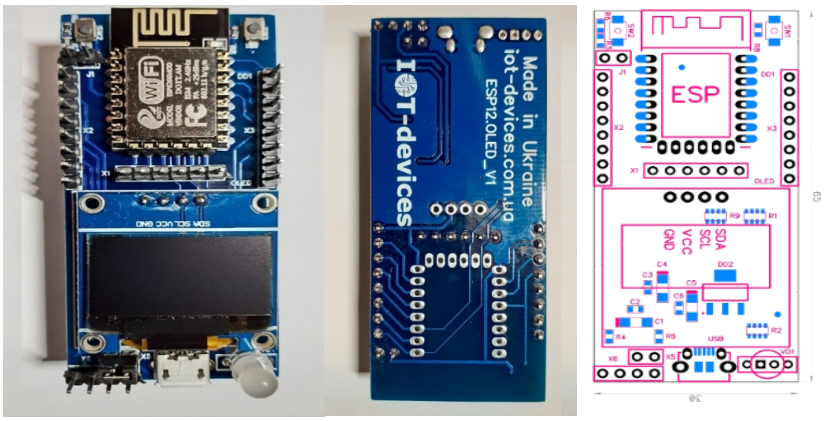


Fig. 3. Top and bottom, scheme of the ESP12.OLED board

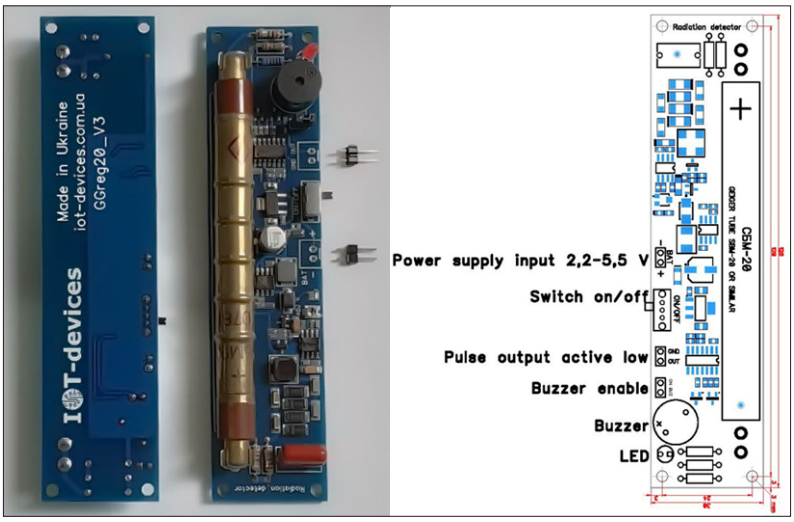


Fig. 4. The view and the scheme of the GGreg20_V3 detector

This sensor emits pulses at the GPIO output, which the microcontroller can count, and thus the power of ionizing radiation can be determined by the number of pulses per unit of time. The Geiger tube SBM-20, which can be easily replaced, fixes the ionizing radiation in this device.

Before using the data for analysis, we import the necessary Python libraries for working with the data:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
%matplotlib inline
```

We download a dataset of indicators that were recorded by the ionizing radiation sensor ggreg20_v3_kyiv_live. Since the file was provided by the site in CSV format, the appropriate function was used to load it into the dataframe:

```
# Import the feed.csv - exported recent data from IoT sensor ggreg20_v3_kyiv_live
# web page of the sensor: https://thingspeak.com/channels/1749073
radiationSensorDf = pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/data_colab/feed.csv')
```

We check the correctness of the import by displaying the first five records in the dataframe:

```
radiationSensorDf.head()
```

	created_at	entry_id	field1	field2	field3
0	2022-12-18 01:12:13 UTC	50772	23	0.12996	1.066850
1	2022-12-18 01:17:23 UTC	50773	27	0.15504	1.079770
2	2022-12-18 01:22:33 UTC	50774	30	0.17100	1.094020
3	2022-12-18 01:27:43 UTC	50775	24	0.13566	1.105325
4	2022-12-18 01:32:53 UTC	50776	29	0.16416	1.119005

As we can see, the content of the CSV file was correctly loaded into the dataframe. The table has five columns: created_at, entry_id, field1, field2, field3. The column created_at is responsible for the date and time of taking the indicator, entry_id is the unique identifier of the indicator measurement.

We rename the field1 column to cpm, because it is the number of pulses per minute (cpm stands for counts per minute), rename the field2 column to usv_per_h, because it is the dose of ionizing radiation (irradiation intensity), which is given in the dimension of μSv/h (microsievert per hour). Also we rename the column field3 to dose_usv, because it is the equivalent dose of ionizing radiation that has accumulated since the start of the IoT device, which is given in the dimension of microsievert:

```
columnNamesMapper = {
    “field1”: “cpm”,
    “field2”: “usv_per_h”,
    “field3”: “dose_usv”
}
radiationSensorDf.rename(columns=columnNamesMapper,
inplace=True)radiationSensorDf.head()
```

	created_at	entry_id	cpm	usv_per_h	dose_usv
0	2022-12-18 01:12:13 UTC	50772	23	0.12996	1.066850
1	2022-12-18 01:17:23 UTC	50773	27	0.15504	1.079770
2	2022-12-18 01:22:33 UTC	50774	30	0.17100	1.094020
3	2022-12-18 01:27:43 UTC	50775	24	0.13566	1.105325
4	2022-12-18 01:32:53 UTC	50776	29	0.16416	1.119005

We check the data types of each column in the dataset and make sure that there are no missing values in the rows:

```
radiationSensorDf.info()
<class ‘pandas.core.frame.DataFrame’>
RangeIndex: 100 entries, 0 to 99
Data columns (total 5 columns):
 #   Column      Non-Null Count  Dtype
---  ------      --------------  -----
 0   created_at  100 non-null    object
 1   entry_id    100 non-null    int64
 2   cpm         100 non-null    int64
 3   usv_per_h   100 non-null    float64
 4   dose_usv    100 non-null    float64
dtypes: float64(2), int64(2), object(1)
memory usage: 4.0+ KB
```

Therefore, there are no missing values in the table. Therefore, it is not necessary to filter the dataframe to exclude empty lines. As we can see, the data type for the created_at column is object. Since this column shows the date and time of fixing the sensor value, we convert all the values of this column to the datetime type by applying the appropriate function:

```
radiationSensorDf[‘created_at’] = pd.to_datetime(radiationSensorDf[‘created_at’]).
dt.tz_localize(None)
radiationSensorDf.head()
```

	created_at	entry_id	cpm	usv_per_h	dose_usv
0	2022-12-18 01:12:13	50772	23	0.12996	1.066850
1	2022-12-18 01:17:23	50773	27	0.15504	1.079770
2	2022-12-18 01:22:33	50774	30	0.17100	1.094020
3	2022-12-18 01:27:43	50775	24	0.13566	1.105325
4	2022-12-18 01:32:53	50776	29	0.16416	1.119005

Make sure that the created_at column now has the correct data type:

```
radiationSensorDf.info()
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 100 entries, 0 to 99
Data columns (total 5 columns):
 #   Column      Non-Null Count  Dtype
---  ------      --------------  -----
 0   created_at  100 non-null    datetime64[ns]
 1   entry_id    100 non-null    int64
 2   cpm         100 non-null    int64
 3   usv_per_h   100 non-null    float64
 4   dose_usv    100 non-null    float64
dtypes: datetime64[ns](1), float64(2), int64(2)
memory usage: 4.0 KB
```

We also analyze basic statistical information: minimum, maximum, average value, etc.: `radiationSensorDf.describe()`

	entry_id	cpm	usv_per_h	dose_usv
count	100.000000	100.000000	100.000000	100.000000
mean	50821.500000	27.270000	0.155428	0.308992
std	29.011492	2.585332	0.014829	0.345569
min	50772.000000	19.000000	0.108300	0.010070
25%	50796.750000	25.750000	0.145350	0.091224
50%	50821.500000	27.000000	0.156180	0.193752
75%	50846.250000	29.000000	0.164160	0.333165
max	50871.000000	35.000000	0.197220	1.222080

So, we can see that the maximum value of the power of ionizing radiation is 0.197 μSv/h, and the minimum is 0.108 μSv/h. The average value is 0.155 μSv/h.

We can see the same information about other columns. In addition, in the above statistical information, we can see the value of the standard deviation, percentiles of the level of 25%, 50%, 75%. We visualize sensor data using Python capabilities. To do this, we plot the dependence of all three measured values (cpm, usv_per_h, dose_usv) on the date and time of their fixation. We create a separate function that will create a graph with the appropriate captions:

```
def plot_sensor_data(column_name: str, column_label: str, color: str):
  fig, ax = plt.subplots(figsize=(15, 5))
  ax.plot(radiationSensorDf["created_at"], radiationSensorDf[column_name],
f'{color}o-')
  plt.xticks(rotation=90)
  ax.xaxis.set_major_locator(mdates.HourLocator())
  ax.xaxis.set_minor_locator(mdates.MinuteLocator(interval=15))
  ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%d.%m %H:%M'))
  plt.ylabel(column_label, fontsize=15)
  plt.xlabel('Timestamp', fontsize=15)
  plt.show()
```

We have the following three graphs, which visualize the dependence of the number of pulses per minute, the power of the dose of ionizing radiation (μSv/h), the equivalent dose of ionizing radiation (μSv) on time, respectively (Fig. 5, 6, 7):

```
plot_sensor_data("cpm", 'Count of impulses per minute', 'g')
plot_sensor_data("usv_per_h", 'Dose rate, uSv/h', 'b')
plot_sensor_data("dose_usv", 'Equivalent dose, uSv', 'r')
```

As we can see in the graphs above, there were four periods in which there was no electricity, as a result of which the sensor could not record the relevant indicators during this time. Since the equivalent dose of ionizing radiation shows the accumulated radiation from the start of the device's operation, after the appearance of electricity, the corresponding graph starts from the zero mark and increases approximately uniformly until the next shutdown. We find the correlation between the two selected parameters for the time period from 12/18/22 01:00 to 12/19/22 01:00. To perform this task, the same IPython notebook was also used in the Google Colab environment. To build a heat map, import the Seaborn library:

```
import seaborn as sns
```

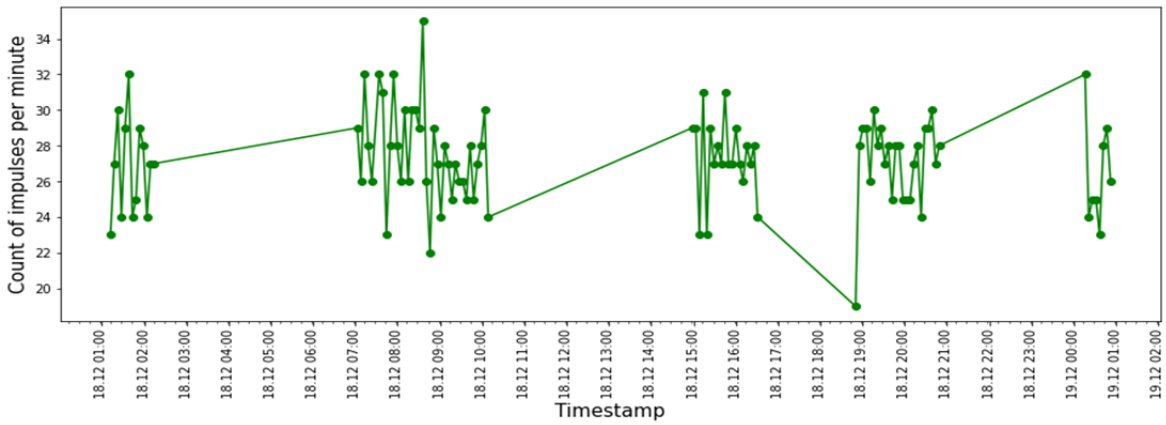


Fig. 5. The dependence of the number of pulses per minute

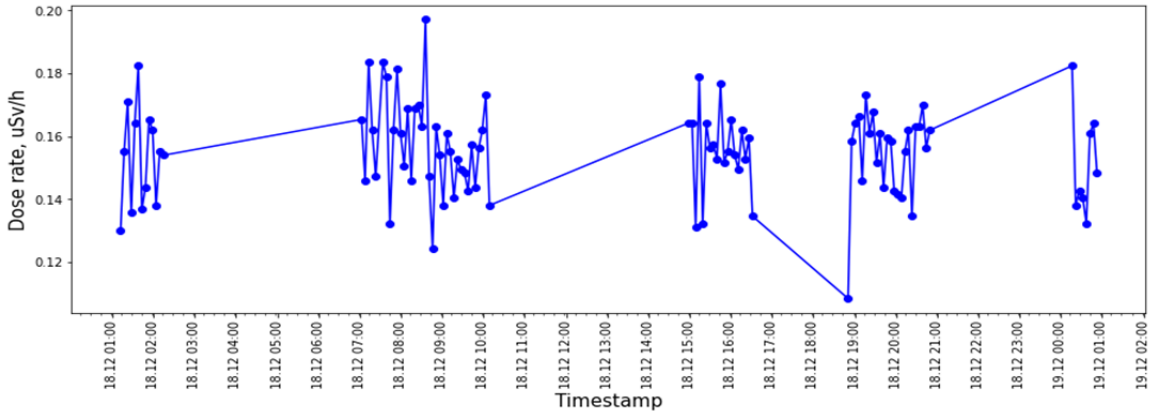


Fig. 6. The dependence of the power of the dose of ionizing radiation

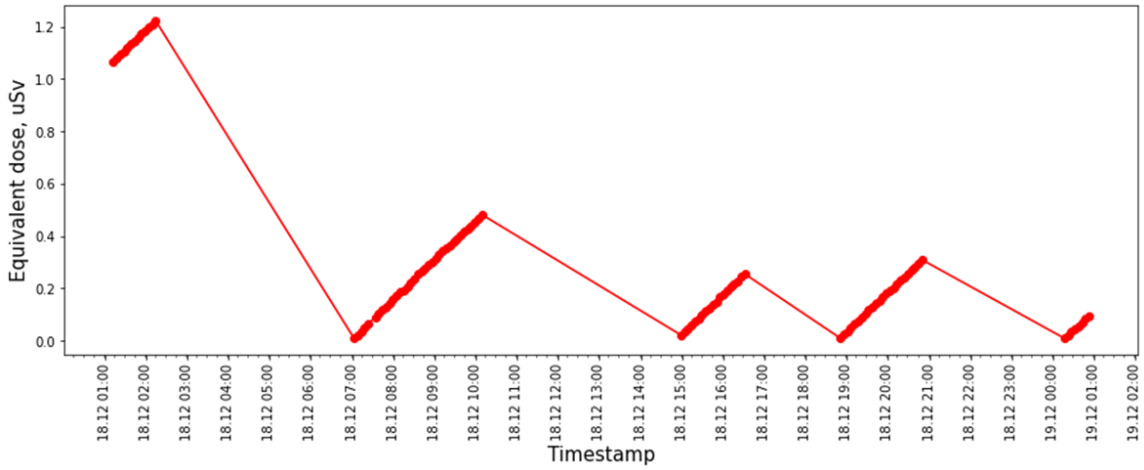


Fig. 7. The dependence of the equivalent dose of ionizing radiation

Before looking for a correlation between the parameters, first we remove the redundant characteristics. Namely, we will delete the entry_id column, since it simply displays the serial number of the measurement and has no value:

```
# The `entry_id` column has no relevance at this time, so it can be dropped.
radiationSensorDfModified = radiationSensorDf.drop('entry_id', axis=1)
radiationSensorDfModified.head()
```

We also add a new parameter to the dataframe. Since the dose of ionizing radiation at night can be higher or lower than the same value during the day, we will add a new column is_night to the dataframe. It will contain Boolean values. If the hour value from created_at for a measurement is greater than 15 or less than 8, then this measurement will have True in the is_night column and False in other cases:

```
radiationSensorDfModified[“is_night”] = radiationSensorDfModified.apply(lambda row:
row.created_at.time().hour >= 16 or row.created_at.time().hour <= 7, axis=1)
radiationSensorDfModified.head(n=25)
```

We build a correlation matrix for the parameters: cpm, usv_per_h, dose_usv, is_night (Fig. 8). To determine the correlation value, we will use the Pearson method:

```
radiationSensorModifiedCorr = radiationSensorDfModified.corr(method=’pearson’)
radiationSensorModifiedCorr
```

	cpm	usv_per_h	dose_usv	is_night
cpm	1.000000	0.994463	-0.082986	-0.016184
usv_per_h	0.994463	1.000000	-0.073547	-0.003873
dose_usv	-0.082986	-0.073547	1.000000	0.128608
is_night	-0.016184	-0.003873	0.128608	1.000000

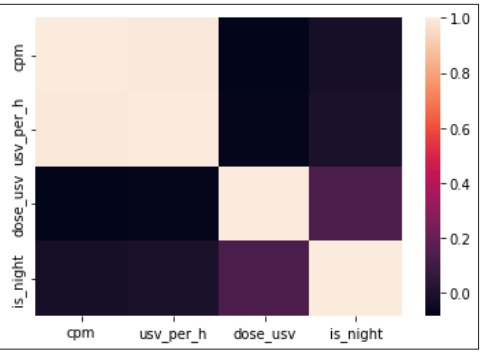


Fig. 8. Correlation of radiation indicators

Conclusions and future work

So, it can be seen that two parameters, namely: cpm and usv_per_h correlate very well, unlike the others. Since the correlation value of these two variables is 0.994, this is a very strong positive correlation. That is, with an increase in the number of pulses per minute, the power of the ionizing radiation dose also increases. This is a logical consequence, since the dose rate of ionizing radiation is calculated based on the number of pulses per minute by multiplying this value by a constant factor. We also conclude that the parameter is_night is not correlated with usv_per_h, because the correlation value is –0.004, that is, there is no dependence between these variables, so we can conclude that the initial assumption was wrong. Other parameters are also not correlated with each other, since other correlation indicators are also close to zero. This research is limited by the number of sensors of the monitoring systems in the Kyiv city. During military attacks on the territory of Ukraine, there are many threats of environmental pollution, especially air pollution, which affects the health and life expectancy of the Ukrainian population. The future development of this research is the use of complex sensors of air quality, namely gas concentrations, particle size to identify relationships between indicators.

References

1. Teh, H.Y., Kempa-Liehr, A.W. & Wang, K.IK. (2020) Sensor data quality: a systematic review. *Big Data* 7, 11. https://doi.org/10.1186/s40537-020-0285-1

2. Peltier, R.E., Buckley, T.J. (2020) Sensor technology: a critical cutting edge of exposure science. *Expo Sci Environ Epidemiol* 30, 901–902. https://doi.org/10.1038/s41370-020-00268-3

3. Rahman, M.H., Agarwal, S., Sharma, S. et al. (2023) High-Resolution Mapping of Air Pollution in Delhi Using Detrended Kriging Model. *Environ Model Assess* 28, 39–54. https://doi.org/10.1007/s10666-022-09842-5

4. Ramos, R.V., Blanco, A.C. (2022) Integrated GIS and air dispersion modeling approach for roadside pollutant mapping: a case study in Baguio City, Philippines. *Spat. Inf. Res*. 30, 371–383. https://doi.org/10.1007/s41324-022-00438-5

5. Keswani A., Akselrod H., and. Anenberg S. C. (2022) Health and Clinical Impacts of Air Pollution and Linkages with Climate Change. *NEJM Evid* 2022; 1(7). DOI: 10.1056/EVIDra2200068

6. Mujtaba, G., Shahzad, S.J.H. (2021) Air pollutants, economic growth and public health: implications for sustainable development in OECD countries. *Environ Sci Pollut Res* 28, 12686–12698. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11212-1

7. Morantes, G., González, J.C. & Rincón, G. (2021) Characterisation of particulate matter and identification of emission sources in Greater Caracas, Venezuela. *Air Qual Atmos Health*. https://doi.org/10.1007/s11869-021-01070-2

8. Kaginalkar A., Kumar S., Gargava P., Kharkar N. and Niyogi D. (2022) SmartAirQ: A Big Data Governance Framework for Urban Air Quality Management in Smart Cities. *Front. Environ. Sci*. 10:785129. doi: 10.3389/fenvs.2022.785129

UDC 004.75 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.27

O. V. OLHOVSKA
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Head of the Department of Computer Sciences
and Information Technologies
Poltava University of Economics and Trade
ORCID: 0000-0001-5366-5995

O. O. CHERNENKO
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor at the Department of Computer Sciences
and Information Technologies
Poltava University of Economics and Trade
ORCID: 0000-0002-9084-0999

I. V. ANANENKO
Student
Poltava University of Economics and Trade
ORCID: 0009-0003-3466-9343

T. O. PARFONOVA
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor at the Department of Computer Sciences
and Information Technologies
Poltava University of Economics and Trade
ORCID: 0000-0001-9343-2061

N. S. RUDENKO
Senior Lecturer at the Department of the Business Foreign Language
Poltava University of Economics and Trade
ORCID: 0000-0002-3603-8786

DEVELOPMENT OF A TRAINING SIMULATOR FOR SYSTEM ANALYSIS IN THE FORM OF A CHAT-BOT

The strategic goal of educational institutions is the development of an electronic educational resource for learning, where all participants in the educational process will have equal access to mastering and practical testing of the studied materials. One of the effective methods for improving the assimilation of theoretical material and practical skills is the use of exercise programs during the educational process. The article deals with the development of an educational simulator for the distance learning course "System Analysis and Theory of Decision-Making". Methodology. Theoretical materials of the distance course, the PyCharm integrated software environment, and the Python programming language have been used. Results. In the work, a simulator program for the distance learning course "System Analysis and Decision Making Theory" has been implemented. Design and development is carried out in the PyCharm integrated environment in the Python programming language. The simulator program includes a theoretical reference, a condition of the problem, which is a task, and a number of sequential questions to solve it. Scientific novelty. The developed software product performs educational and monitoring functions. The simulator is implemented in the form of a chat bot in Telegram. The study proves that this application format is the most common among education seekers and does not require additional instructions. The methodology for developing program elements also demonstrates the step-by-step process to creating a simulator. Practical significance. The developed software product is implemented in the corresponding course of the distance learning system on the Moodle platform of the Poltava University of Economics and Trade and is recommended for use by applicants in the specialty "Computer Science" in the educational process when studying the discipline "System Analysis and Decision Making Theory"

Innovative teaching methods help applicants to fill knowledge gaps on their own without the use of additional classroom time or the help of a teacher.

Key words: *distance learning, simulator-bot, higher educational institution.*

О. В. ОЛЬХОВСЬКА
кандидат фізико-математичних наук,
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавський університет економіки і торгівлі
ORCID: 0000-0001-5366-5995

О. О. ЧЕРНЕНКО
кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавський університет економіки і торгівлі
ORCID: 0000-0002-9084-0999

І. В. АНАНЕНКО
студент
Полтавський університет економіки і торгівлі
ORCID: 0009-0003-3466-9343

Т. О. ПАРФЬОНОВА
кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Полтавський університет економіки і торгівлі
ORCID: 0000-0001-9343-2061

Н. С. РУДЕНКО
старший викладач кафедри ділової іноземної мови
Полтавський університет економіки і торгівлі
ORCID: 0000-0002-3603-8786

РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРУ З СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ У ВИГЛЯДІ ЧАТ-БОТУ

Стратегічною метою навчальних закладів є розробка електронного освітнього ресурсу для навчання, де всі учасники освітнього процесу матимуть рівний доступ до освоєння та практичної перевірки вивчених матеріалів. Одним з ефективних методів для підвищення засвоєння теоретичного матеріалу та практичних вмінь і навичок є використання програм-тренажерів під час навчального процесу. У статті розглянуто розробку навчального тренажеру дистанційного навчального курсу «Системний аналіз та теорія прийняття рішень». Методика. Використано теоретичні матеріали дистанційного курсу, інтегроване програмне середовище PyCharm, мова програмування Python. Результати. У роботі реалізовано програму-тренажер дистанційного навчального курсу «Системний аналіз та теорія прийняття рішень». Проектування та розробка здійснена в інтегрованому середовищі PyCharm мовою програмування Python. Програма-тренажер включає теоретичну довідку, умову завдання, що представляє собою задачу та низку послідовних запитань по її розвязанню. Наукова новизна. Розроблений програмний продукт виконує навчальну та контролюючу функції. Тренажер реалізовано у вигляді чат-боту в телеграмі. Дослідження доводить, що саме такий формат додатку є найбільш поширеним серед здобувачів освіти та не потребує допоміжних вказівок. Методологія розробки елементів програми також демонструє покроковість в створенні тренажеру. Практична значимість. Розроблений програмний продукт імплементовано у відповідний курс системи дистанційного навчання на платформі Moodle Полтавського університету економіки та торгівлі та рекомендовано для використання здобувачам освіти за спеціальністю «Комп'ютерні науки» в навчальному процесі під час вивчення дисципліни «Системний аналіз та теорія прийняття рішень». Інноваційні методи навчання допомагають здобувачам освіти самостійно ліквідувати прогалини у знаннях без використання додаткового аудиторного часу чи викладача.

Ключові слова: *дистанційне навчання, тренажер-бот, вищий навчальний заклад.*

Formulation of the problem

Currently, there has been a fundamental change in the methods of dissemination and use of information, which has led to the development of educational technologies and contributed to the active implementation of distance education – one of the directions of reforming the education system in Ukraine [1].

Every modern teacher faces the problem of creating one's own electronic resources that organically fit into the classical system, improve and rationalize it, create new opportunities for the organization of parallel learning and knowledge management, and also provide real opportunities for individual educational practices.

Creating a simulator for mastering educational material or solving problems allows providing effective and interactive learning, a personalized approach, motivation, progress tracking and accessibility for users. It creates a favorable environment for effective assimilation of knowledge and development of skills [2].

Analysis of recent research and publications

An important task in teaching mathematical disciplines is a visual demonstration of problem solving. To solve this problem, it is possible to develop and implement simulator programs in a distance course. The implementation of such simulators is an actual direction of development and research for mathematical disciplines in particular.

Analyzing the existing software [3–7] (simulators, manuals, etc.), one can single out both the positives of each of them and their shortcomings. It is very important to closely monitor what is happening in the world of web development: the relevance of existing frameworks, the choice of the best among them, development and design trends. Relevant today are the initial simulators implemented in the form of chat bots.

It is very important to carefully monitor what is happening in the world of web development: the relevance of existing frameworks, the choice of the best among them, development and design trends. Educational simulators implemented in the form of chat bots are relevant today.

The purpose of the work is to develop simulator software in the form of a chat-bot on the topic "Expert assessment of the advantages in the problem of choosing a university" for the distance learning course "System Analysis and Decision Making Theory".

Presenting main material

The following statement of the problem is proposed: A Ukrainian family solves the problem of choosing a higher educational institution for their child entering. The family formulates requirements in the form of criteria characterizing certain qualities of universities.

Criterion 1: the presence of a large number of licensed universities in this specialty;

Criterion 2: distance from the place of residence;

Criterion 3: university's image;

Criterion 4: the desire of friends to enter this exact university;

Criterion 5: convenience of transportation with the city where the university is located;

Criterion 6: the cost of contract training for the desired specialty;

Criterion 7: availability of a sufficient number of places in the dormitory;

Criterion 8: availability of budget places in desired specialties.

The main goal set by the family to solve the problem is formulated as follows: "choose a university that would best meet all criteria at the same time."

Three universities (A, B, C) with such characteristics were considered as alternative ones.

University A. It has the largest licensed volume, significantly larger than B and almost completely surpasses the level of C. In terms of distance from the place of residence, A significantly exceeds B, and it is slightly worse than C. The prestige of A among universities absolutely exceeds B and more than strongly exceeds C.

Regarding the preference of friends to enter the chosen university, A almost completely outperforms B and more than strongly outperforms C.

The location of universities, in terms of transport links convenience, is very much dominated by university B. The cost of contract training in the chosen specialty at the university A is twice as high as at B and C. The number of places in the hostel is sufficient. In the specialty that is given preference, the A university has the smallest number of state-funded places.

University B. The licensed volume is slightly smaller than that of A, but it significantly exceeds C. It is in the worst conditions in terms of the distance from the place of residence. The prestige of the university is the lowest. The desire among the friends to enter this university is the lowest. In terms of the convenience of transport connections with the city where the university is located, it is also the lowest. The cost of contract training for the desired specialty is the same as in C, and half as less as in A. The number of places in the dormitory is sufficient. In terms of the number of budget places for the desired specialties, it is very much superior to the A university and not so much to B.

University C. It has the smallest licensed volume. In terms of distance from the place of residence, C has a slight advantage over B. In terms of prestige, the C university exceeds B. At the request of friends to enter the chosen university, C significantly exceeds B. In terms of convenience of transport connections with the place of residence, the location of the university is significantly better than that of A and almost absolutely surpasses B. The cost of contract training for the desired specialty is the same as in B and half as much as in A. The number of places in the hostel is sufficient. In terms of the number of budget places for the desired specialties, the university is significantly ahead of others.

The final project of this work is the implementation of a simulator on the topic "Expert assessment of advantages in the problem of choosing a university." The main goal of developing the simulator is to help students master this topic and help them carry out calculations in an accessible and most popular format.

Step 1. The panel displays a message containing the following text: *Hello, I'm a simulator bot, I will help you understand the topic "Expert assessment of advantages in the problem of choosing a university."* When you're ready, click 'Get Started' and I'll provide you with the theoretical material.

The user clicks the Start button.

Step 2. The user is presented with a file called Theory.docx, which contains the theoretical information contained in the distance course. The user is introduced to the topic. Under the theoretical file is displayed: *When the review is completed, click the "Continue" button.*

The student clicks Continue and proceeds to step 3.

Step 3. The message sends the Problem Statement.docx file, which highlights the condition of the problem on which the student will work further. This file contains an inscription: *Read the condition of the problem and click the "Continue" button, it is recommended to use Microsoft Excel for calculations.* After reviewing the materials in this file, the student presses the "Continue" button and proceeds to step 4.

Step 4. The following picture is displayed on the screen:

choice of university	the presence of a large number of licensed universities in this specialty	distance from the place of residence	university's image	the desire of friends to enter this exact university	convenience of transportation with the city where the university is located	the cost of contract training for the desired specialty	availability of a sufficient number of places in the dormitory	availability of budget places in desired specialties
the presence of a large number of licensed universities in this specialty	1	5	3	7	6	6	1/3	1/4

And the inscription is displayed: *Calculate the components of the main eigenvector of the matrix Vi for the given series and choose the correct answer.*

Suggested answers:

• 1,578;
• 0,364;
• 2,649;
• 2,053.

According to the calculations made by the user, he chooses the correct option. If this option is not the answer 2.053, we go to step 5.

Step 5. The screen displays the following image containing the calculation formula and the inscription: *You have made a mistake, this formula will help you*

$V_i \approx \sqrt[n]{Д_{j=1}^{n} a_{ij}}, i = 1,2, \dots, n,$ де $Д_{j=1}^{n} a_{ij}$ means the product of n factors $a_1, \dots, a_n$

The suggested answer options do not change until the student chooses the correct answer.

When the student clicks on the correct answer, the program moves to the next step.

Step 6. The bot sends an image with the following message:

distance from the place of residence	1/5	1	1/3	5	3	3	1/5	1/7

And below it displays the message: *Calculate the components of the main eigenvector of the matrix Vi for the given series and choose the correct answer*

Suggested answer options:

• 0,736;
• 0,841;
• 1,651;
• 0,956.

According to the calculations made by the user, he chooses the correct option. If this answer is not 0.736, then go to step 5.

In steps 7–12 of the algorithm it is proposed to calculate the components of the main eigenvector of the matrix Vi for this series. At step 13, the bot outputs the Vi vector. Next, steps 14–22 train how to calculate the components of the Pi priority vector. The next steps include the calculation of the following quantities: the maximum eigenvalue (value) of the matrix λmax; consistency index (CI); consistency ratio (CR).

Step 29. A message is displayed on the screen containing a Microsoft Excel file called Task.xlsx. This file contains the progress of solving problems. The following text is also displayed: *Good job!*

Open the Microsoft Excel file to check yourself. Be careful! The results of some calculations in this file differ from those presented in the distance course.

The final step. The "Start" button is displayed to the user. By clicking on it, the user ends work with the program or, if desired, can go through these tasks again.

This algorithm was implemented in the Python programming language in the PyCharm development environment.

In order to start working with the simulator, you need to write /start in the line for entering messages. Immediately after that, a message will appear, from which the user's work with the simulator will begin (Fig. 1).

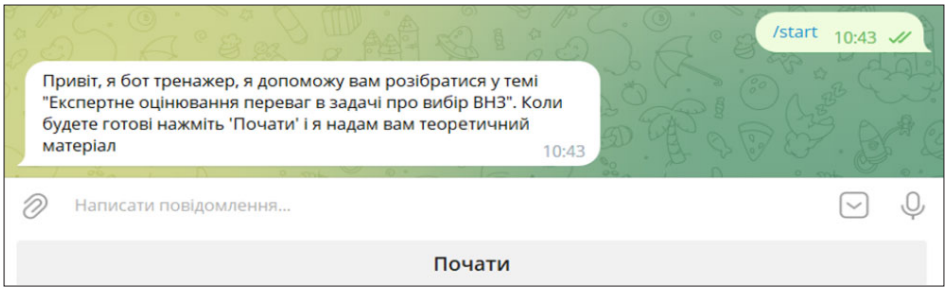


Fig. 1. Getting started with the simulator

After clicking on the "Start" button, the simulator will show the following message, which will contain the theory for the topic "Expert assessment of advantages in the problem of choosing a university." (Fig. 2).

The theoretical material and the condition of the problem will be presented to the student in .docx format, for easy mastering.

When solving problems, the condition will be presented in the form of text and / or images (Fig. 2), after reading the condition, the student must choose the correct answer, according to his calculations.

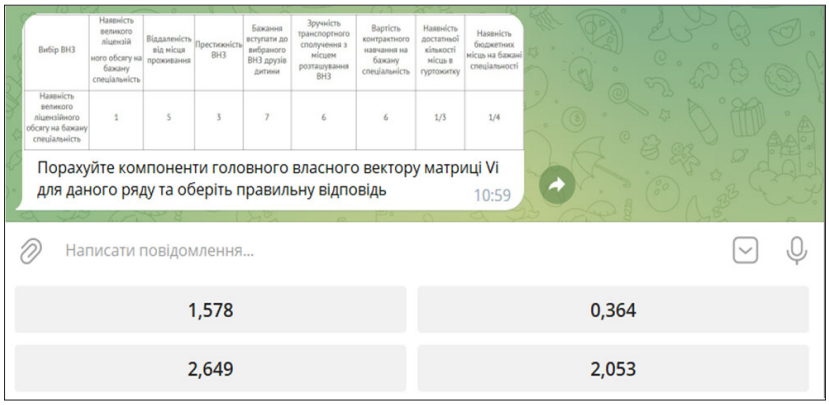


Fig. 2. Highlighting the condition of the tasks and the suggested answers

If the student chooses the wrong answer, the simulator highlights a formula that should help the student in calculations (Fig. 3).

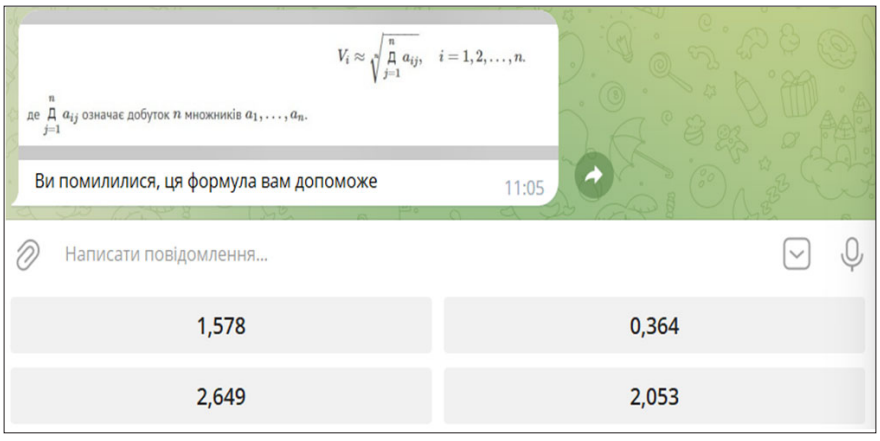


Fig. 3. Highlighting the formula to help the student

When the student answers all the questions correctly, the program sends him a .xlsx file (Fig. 4), where he can check the correctness of his thoughts during the calculations.

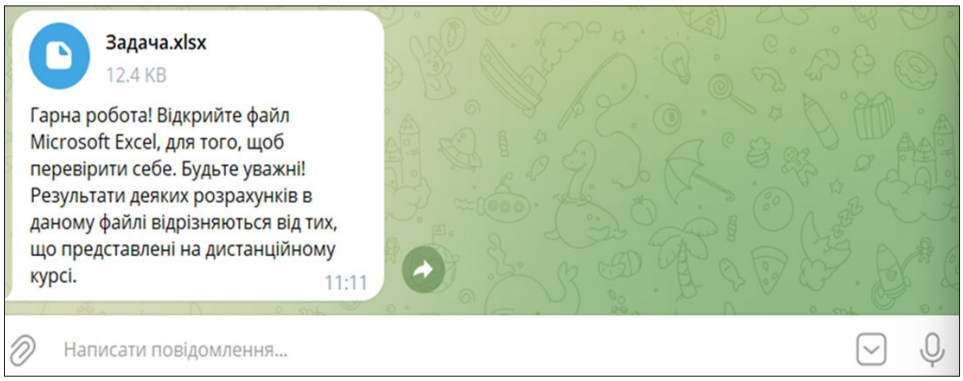


Fig. 4. Sending a file with the extension .xlsx

The last stage of working with this simulator is to press the "Start" button (Fig. 5).

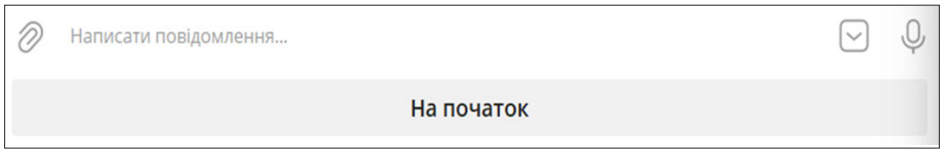


Fig. 5. Finishing work with the simulator

After clicking on this button, the student can complete the work or start it from the beginning.

Conclusions

Thus, a training chat bot in a telegram was implemented to study one of the topics of the educational component "System Analysis and Decision Making Theory".

Non-standard and interactive methods used in conducting classes motivate applicants for education to better study disciplines and self-education, which ultimately is the main task of a modern teacher.

In the future, the created simulator program will be updated according to the curriculum of the discipline in accordance with the new State Standards and will be used as a component of the educational information environment, which makes it possible not only to approach the problem of effective integration of independent work into the educational process, but also allows without additional costs of classroom time to fill gaps in the knowledge of applicants for education.

Bibliography

1. Волкова, Н.П. Інтерактивні технології навчання у вищій школі: навчально-методичний посібник. Дніпро: Університет імені Альфреда Нобеля, 2018. 360 с.

2. Доценко, Н. Застосування навчальних комп'ютерних інтерактивних тренажерів здобувачами вищої освіти інженерних спеціальностей в умовах інформаційно-освітнього середовища. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, 2018. № 2(76). С. 118–128. URL: https://doi.org/10.24139/2312-5993/2018.02/118-128 (дата звернення: 18.05.2022).

3. Virk R. The Simulation Hypothesis: An MIT Computer Scientist Shows Why AI, Quantum Physics and Eastern Mystics All Agree We Are In a Video Game. Bayview Books, 2019. 330 p.

4. Introduction To Computer Simulations For Integrated Stem College Education. WSPC, 2019. 234 p.

5. Vlachopoulos D., Makri A. The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *Intertional Journal of Education Technology in Higher Education*, 2017, Vol. 14 (22). URL: https://d-nb.info/1141475928/34 (Last accessed: 27.11.2020).

6. Черненко, О.О., Чілікіна, Т.В., Ольховська, О.В. Розробка та використання навчальних тренажерів при підготовці фахівців напряму «Комп`ютерні науки». *International scientific and practical conference ``Mathematics, physics, mechanics, astronomy, computer science and cybernetics: issues of productive interaction``: conference proceedings, Yuly 9–10*. 2021. Wloclawek, Republic of Poland: ``Baltija Publishing``, 2021. С. 55-59.

7. О. В. Ольховська, Д. М. Ольховський, О. О. Черненко, О. Г. Оріхівська, О. Ю. Собіборець. Технологія програмної реалізації тренажеру з теми «Системи числення, арифметичні операції в різних системах числення» дисципліни «Архітектура обчислювальних систем». *ВІСНИК ХНТУ*, № 3(82), 2022, С. 65–74.

References

1. Volkova, N.P. (2018) Interaktyvni tekhnolohii navchannia u vyshchii shkoli: navchalno-metodychnyi posibnyk [Interactive learning technologies in higher education: educational and methodological guide]. Dnipro: Universytet imeni Alfreda Nobelia. 360 p. [in Ukrainian]

2. Dotsenko N. (2018) Zastosuvannia navchalnykh kompiuternykh interaktyvnykh trenazheriv zdobuvachamy vyshchoi osvity inzhenernykh spetsialnostei v umovakh informatsiino-osvitnoho seredovyshcha [The use of educational computer interactive simulators by students of higher education in engineering specialties in the conditions of an informational and educational environment]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii,* № 2(76). pp. 118–128. [in Ukrainian]

3. Virk R. (2019) The Simulation Hypothesis: An MIT Computer Scientist Shows Why AI, Quantum Physics and Eastern Mystics All Agree We Are in a Video Game. Bayview Books, 330 p.

4. Introduction To Computer Simulations for Integrated Stem College Education. WSPC, 2019. 234 p.

5. Vlachopoulos D., Makri A. (2017) The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *Intertional Journal of Education Technology in Higher Education.* Vol. 14 (22). URL: https://d-nb.info/1141475928/34 (Last accessed: 27.11.2020).

6. Chernenko, O.O., Chilikina, T.V., Olkhovska, O.V. (2021) Rozrobka ta vykorystannia navchalnykh trenazheriv pry pidhotovtsi fakhivtsiv napriamu «Komp`iuterni nauky» [Development and use of educational simulators in the training of specialists in the field of "Computer Sciences"]. *International scientific and practical conference ``Mathematics, physics, mechanics, astronomy, computer science and cybernetics: issues of productive interaction``: conference proceedings, Yuly 9-10*. 2021. Wloclawek, Republic of Poland: ``Baltija Publishing``. pp. 55–59. [in Ukrainian]

7. O. V. Olkhovska, D. M. Olkhovskyi, O. O. Chernenko, O. H. Orikhivska, O. Yu. Sobiborets (2022) Tekhnolohiia prohramnoi realizatsii trenazheru z temy «Systemy chyslennia, aryfmetychni operatsii v riznykh systemakh chyslennia» dystsypliny «Arkhitektura obchysliuvalnykh system» [The technology of software implementation of the simulator on the topic "Calculation systems, arithmetic operations in various calculation systems" discipline "Computer systems architecture".]. *VISNYK KhNTU [KHNTU BULLETIN]*, № 3(82), P. 65–74. [in Ukrainian]

УДК 004.056.53:[004.7:004.032.26] https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.28

В. М. ПАХОМОВА
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електронних обчислювальних машин
Український державний університет науки і технологій
ORCID: 0000-0002-0022-099x

О. О. СУХОМЛИН
аспірант кафедри електронних обчислювальних машин
Український державний університет науки і технологій
ORCID: 0009-0006-7928-4721

ДОСЛІДЖЕННЯ САМООРГАНІЗУЮЧОЇ КАРТИ КОХОНЕНА ЩОДО ВИЯВЛЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ АТАК КАТЕГОРІЇ R2L

У даній роботі виконано дослідження можливості самоорганізуючої карти Кохонена щодо виявлення мережевих атак категорії R2L.

Для виявлення атак категорії R2L відповідно до наступних мережевих класів: Ftp_write; Guess_passwd; Imap; Multihop; Phf; Spy; Warezclient та Warezmaster запропоновано самоорганізуючу карту Кохонена конфігурації 41-1-X-9, де 41 – кількість нейронів першого шару (параметри мережевого трафіку на основі використання бази даних NSL-KDD); 1 – кількість прихованих шарів (шар Кохонена); X – кількість прихованих нейронів; 9 – кількість нейронів результуючого шару. Для виявлення мережевих атак категорії R2L створено з використання мови Python програмну модель «SOM_R2L», що заснована на реалізації запропонованої конфігурації самоорганізуючої карти Кохонена та використанні її алгоритму. На створеній програмній моделі «SOM_R2L» проведено дослідження точності на різних картах (5×5, 10×10, 20×20, 30×30) при різній кількості прикладів на кожен клас (5, 10, 15, 20) за різною кількістю епох навчання (20, 40, 60, 80, 100, 200). Визначено оптимальну конфігурацію самоорганізуючої карти Кохонена: 10×10, що навчалася упродовж 40 епох на вибірці із 900 прикладів (по 10 прикладів на клас). На створеній програмній моделі «SOM_R2L» проведено дослідження параметрів якості виявлення атак категорії R2L. Визначені значення помилок другого роду для мережевих класів атак категорії R2L: Ftp_write – 1,11 %; Guess_passwd – 17,78 %; Imap – 1,11 %; Multihop – 4,44 %; Phf – 0 %; Spy – 1,11 %; Warezclient – 2,22 %; Warezmaster – 14,44 %; Normal – 5,56 %.

Ключові слова: *атака, клас, R2L, самоорганізуюча карта, шар Кохонена, вибірка, епоха, точність, якість, помилка другого роду.*

V. M. PAKHOMOVA
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Electronic Computers
Ukrainian State University of Science and Technology
ORCID: 0000-0002-0022-099x

O. O. SUKHOMLYN
Postgraduate Student at the Department of Electronic Computers
Ukrainian State University of Science and Technology
ORCID: 0009-0006-7928-4721

INVESTIGATION OF SELF-ORGANIZING KOHONEN MAP TO DETECT NETWORK ATTACKS OF R2L CATEGORY

In this work, the possibility of self-organizing Kohonen map to detect network attacks of R2L category is investigated.

To detect attacks of the R2L category according to the following network classes: Ftp_write; Guess_passwd; Imap; Multihop; Phf; Spy; Warezclient and Warezmaster proposed a self-organizing Kohonen map of configuration 41-1-X-9, where 41 – the number of neurons of the first layer (network traffic parameters based on the use of the NSL-KDD database); 1 – number of hidden layers (Kohonen layer); X – number of hidden neurons; 9 – number of neurons of the resulting layer. To detect network attacks of the R2L category, the software model "SOM_R2L" was created using the Python language, which is based on the implementation of the proposed configuration of the self-organizing Kohonen map and the use of its algorithm. On the created software model "SOM_R2L", accuracy studies were conducted on different maps (5×5, 10×10, 20×20, 30×30) with a different number of examples for each class (5, 10, 15, 20) for different numbers of epochs of study (20, 40, 60, 80, 100, 200). The optimal configuration of the self-organizing Kohonen map was determined: 10×10, which was studied for 40 epochs on a sample of 900 examples (10 examples per class). On

the created software model "SOM_R2L", a study of the quality parameters of detection of attacks of the R2L category was carried out. The values of errors of the second kind are determined for the following network attack classes of R2L: Ftp_write – 1,11 %; Guess_passwd – 17,78 %; Imap – 1,11 %; Multihop – 4,44 %; Phf – 0 %; Spy – 1,11 %; Warezclient – 2,22 %; Warezmaster – 14,44 %; Normal – 5,56 %.

Key words: *attack, class, R2L, self-organizing map, Kohonen layer, sampling, era, accuracy, quality, error of the second kind.*

Постановка проблеми

Наявність і постійний ріст загроз мережевих атак у режимі реального часу створюють необхідність розробки ефективної системи виявлення таких атак. Існуючі методи не завжди здатні виявити нові, раніше невідомі атаки, що створює ризик для безпеки комп'ютерних мереж. Перспективним напрямком у створенні систем виявлення мережевих атак, які повинні ґрунтуватися на адаптивних алгоритмах здатних до самонавчання, є застосування нейромережної технології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На сучасному етапі для виявлення мережевих атак найчастіше використовуються наступні нейронні мережі (НМ): багатошаровий персептрон (Multi Layer Perceptron, MLP); радіально-базисна мережа (Radial Basis Function Network, RBF) та самоорганізуюча карта Кохонена (Self Organizing Map, SOM). Відомо, що різні різновиди НМ з використанням різноманітних математичних апаратів, можуть неоднаково виявляти різні мережеві атаки наступних категорій: DoS; PROBE; U2R; R2L. З одного боку, для виявлення мережевих атак категорії R2L авторами були використані MLP та RBF, однак властивості SOM [2–3, 7] дозволяють його також використати, щоб підсилити визначення атак на основі комбінованих варіантів. З іншого боку, авторами створювалася самоорганізуюча карта Кохонена для виявлення мережевих атак інших категорій [1, 6], але разом з тим важливим недоліком таких методик є відсутність універсальності їх застосування.

Формулювання мети дослідження

Проведені дослідження ставили за мету розвиток методики виявлення мережевих атак категорії R2L. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: розробити методику виявлення мережевих атак засобами самоорганізуючої карти Кохонена; при виконанні машинного навчанні виявити оптимальну конфігурацію самоорганізуючої карти Кохонена, що забезпечить достатньо високий рівень достовірності виявлення вторгнень в комп'ютерну мережу; оцінити помилки першого та другого роду при виявленні мережевих атак категорії R2L на створеній карті Кохонена.

Викладення основного матеріалу дослідження

Категорія R2L мережевих атак характеризуються отриманням доступу незареєстрованого користувача до комп'ютера з боку віддаленого комп'ютера. До категорії R2L надходять наступні мережеві класи атак [4]: Ftp_write – віддалений користувач FTP додає себе у список довірених хостів віддаленого комп'ютера, які можуть входити у систему; Guess_passwd – мережевих атак, де зловмисник намагається вгадати або перебрати пароль для отримання доступу до локальної системи з використанням віддаленого доступу; Imap – віддалене переповнення буфера за допомогою порту imap призводить до можливості відкриття віддаленого root_shell; Multihop – багатоденний сценарій, у якому користувач спочатку проникає в одну машину; Phf – сценарій, який дозволяє клієнту виконувати довільні команди на машині з неправильно налаштованим веб-сервером; Spy – багатоденний сценарій, коли користувач проникає в машину з метою пошуку важливої інформації, але користувач намагається уникнути виявлення, використовує кілька різних методів експлойту для отримання доступу; Warezclient – користувачі, які завантажують нелегальне програмне забезпечення, яке раніше опубліковано через анонімний FTP майстром розробки; Warezmaster – анонімне завантаження на FTP-сервер Warez (нелегальних копій авторського програмного забезпечення) на FTP-сервер.

Самоорганізуюча карта Кохонена – це нейронна мережа, що використовується для зображення та дослідження структури результуючих даних на основі двовимірної решітки (карти). Кожен нейрон на карті пов'язаний з вектором ваги, який ініціалізується випадковим чином, а під час навчання ваги оновлюються, щоб нейрони відповідали певним частинам вхідного простору. Навчання SOM складається з двох етапів: пошуку найближчого нейрона (Best Matching Unit, BMU) та оновлення ваги нейронів у топологічній сусідній області BMU.

Для виявлення мережевих атак категорії R2L пропонується використання самоорганізуючої карти Кохонена конфігурації 41-1-X-9, де 41 – кількість нейронів першого шару (параметри мережевого трафіку на основі використання бази даних NSL-KDD [5], табл. 1); 1 – кількість прихованих шарів (шар Кохонена); X – кількість прихованих нейронів, що досліджується; 9 – кількість нейронів результуючого шару.

У якості проміжного шару використано двовимірний масив нейронів R, розмірність *n* якого визначається експериментально. Алгоритм роботи SOM Кохонена може бути описано наступним чином [3]: ініціалізація (створення двовимірної карти нейронів з випадковими початковими вагами); випадковий вибір вхідного вектору; пошук найближчого нейрона BMU (обчислення відстані між вхідним вектором і векторами ваги всіх нейронів на

карті); оновлення ваги (ваги BMU та його сусідніх нейронів оновлюються, щоб підкреслити схожість між ними); оновлення сусідів, окрім BMU (оновлюються також нейрони, які знаходяться в топологічній сусідній області BMU); повторення (кроки 2–5 повторюються для кожного вхідного вектора у навчальному наборі даних протягом декількох епох); кінцева карта (після завершення навчання отримуємо кінцеву карту, де нейрони групуються в залежності від схожості їх векторів ваги).

Таблиця 1

Нейрони першого шару НМ

Нейрон	Параметр	Нейрон	Параметр
x1	duration	x22	is_guest_login
x2	protocol_type	x23	count
x3	service	x24	srv_count
x4	flag	x25	serror_rate
x5	src_bytes	x26	srv_serror_rate
x6	dst_bytes	x27	rerror_rate
x7	land	x28	srv_rerror_rate
x8	wrong_fragment	x29	same_srv_rate
x9	urgent	x30	diff_srv_rate
x10	hot	x31	srv_diff_host_rate
x11	num_failed_logins	x32	dst_host_count
x12	logged_in	x33	dst_host_srv_count
x13	num_compromised	x34	dst_host_same_srv_rate
x14	root_shell	x35	dst_host_diff_srv_rate
x15	su_attempted	x36	dst_host_same_src_port_rate
x16	num_root	x37	dst_host_srv_diff_host_rate
x17	num_file_creations	x38	dst_host_serror_rate
x18	num_shells	x39	dst_host_srv_serror_rate
x19	num_access_files	x40	dst_host_rerror_rate
x20	num_outbound_cmds	x41	dst_host_srv_rerror_rate
x21	is_host_login		

Співвідношення нейронів результуючого шару самоорганізуючої карти Кохонена, структура якої показана на рис. 1, до мережевих класів атак категорії R2L показано в табл. 2.

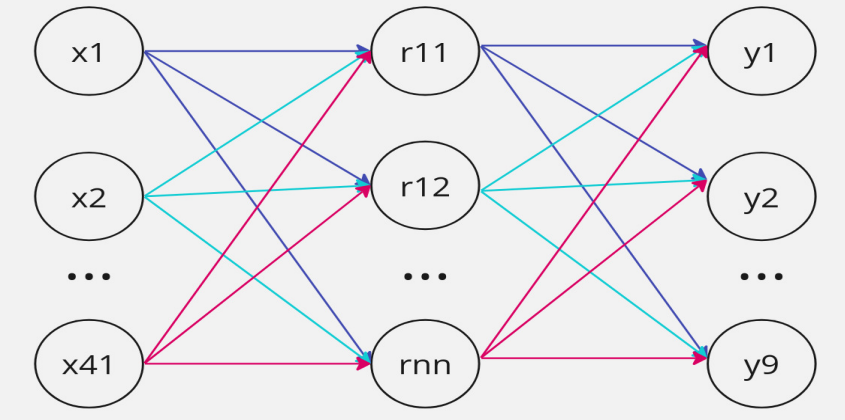


Рис. 1. Самоорганізуюча карта Кохонена конфігурації 41-1-X-9

Таблиця 2

Нейрони результуючого шару НМ

Нейрон	Параметр	Нейрон	Параметр
y1	Ftp_write	y6	Spy
y2	Guess_passwd	y7	Warezclient
y3	Imap	y8	Warezmaster
y4	Multihop	y9	відсутність атаки
y5	Phf		

Для виявлення атак категорії R2L створено мовою Python програмну модель «SOM_R2L», в основі якої закладено запропоновану конфігурацію мережі Кохонена та розглянутий алгоритм її роботи. Структура програмної моделі «SOM_R2L», що представлена на рис. 2, потребує використання стандартних складових: MiniSom; Numpy; Matplotlib; JobLib; Pandas.

Через недостатню кількість прикладів на кожний мережевий клас формування вибірки виконувалось штучно. У якості прикладу наведений фрагмент навчальної вибірки:

44, 1, 18, 10, 55, 9609, 0, 0, 0, 2, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 2, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.89, 217, 71, 0.57, 0.04, 0.17, 0.48, 0.24, 0.0, 0.01, 0.0, ftp_write

0, 1, 59, 3, 126, 179, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, 2, 0.00, 0.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.00, 0.00, 16, 16, 1.00, 0.00, 0.06, 0.00, 0.06, 0.06, 0.94, 0.94, guess_passwd

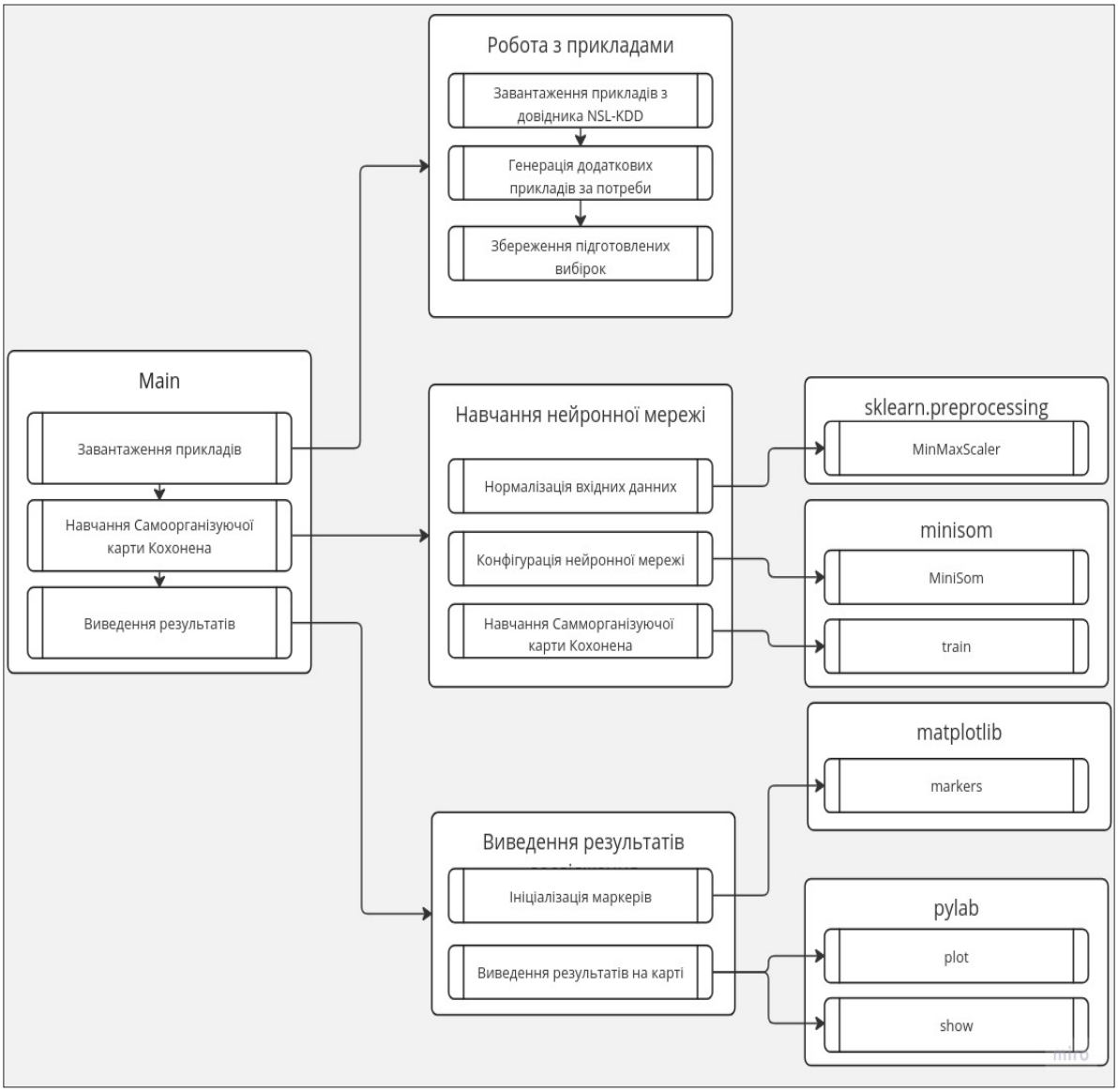


Рис. 2. Структура створеного програмної моделі «SOM_R2L»

На створеній програмній моделі «SOM_R2L» проведено дослідження точності нейронної мережі на різних картах (5×5, 10×10, 20×20, 30×30) при різній кількості прикладів на кожен клас (5, 10, 15, 20) за різною кількістю епох навчання (20, 40, 60, 80, 100, 200). Визначено оптимальну конфігурацію самоорганізуючої карти Кохонена: 10×10, що навчалася упродовж 40 епох на вибірці із 900 прикладів (по 10 прикладів на клас); рис. 3.

У результаті дослідження виявилося, що найкращі результати точності визначення на тестовій вибірці надає конфігурація прихованого шару у 10×10 нейронів. Далі необхідно дослідити точність при конфігурації SOM з розміром карти 10×10, в залежності від кількості ітерацій; рис. 4.

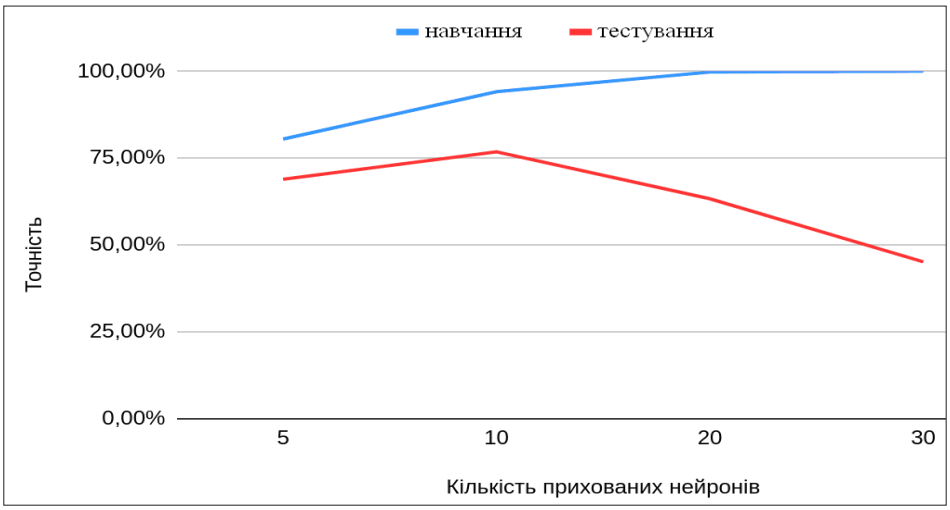


Рис. 3. Точність НМ за різною кількістю прихованих нейронів

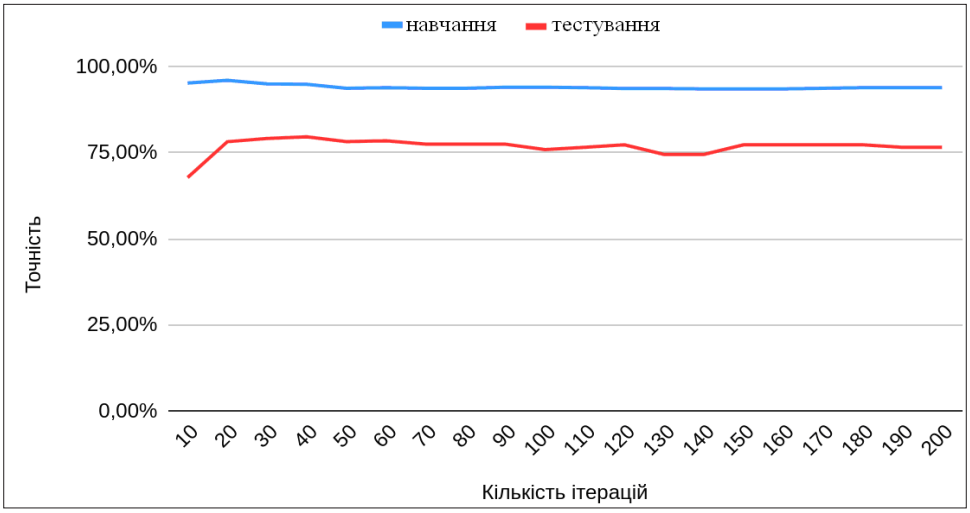


Рис. 4. Точність НМ (карта 10×10) за кількістю ітерацій

У результаті дослідження, що проведено на створеній програмній моделі «SOM_R2L», визначено оптимальну конфігурацію SOM Кохонена: 10×10, яка навчається впродовж 40 ітерацій на вибірці із 900 прикладів (по 10 прикладів на кожен клас) та надала точність у 93 % та 89 % на навчальній та тестовій вибірках відповідно. Результати програмної моделі «SOM_R2L» можна побачити на рис. 5.

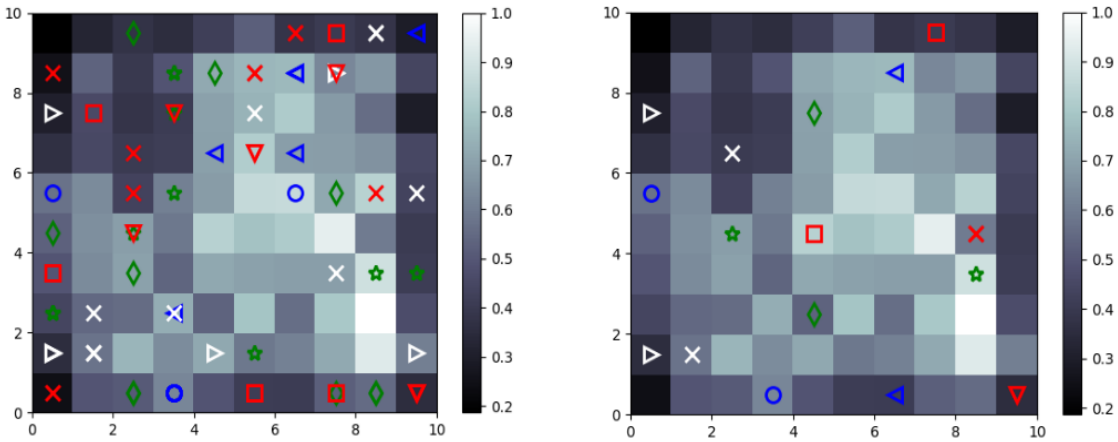


Рис. 5. Результати навчання та тестування НМ на створеній моделі

Для виявлення мережевих класів категорії R2L використані наступні умовні позначення (див. рис. 6): «хрест» (білого кольору) – Normal; «хрест» (червоного кольору) – Ftp_write; «коло» (синього кольору) – Guess_passwd; «ромб» (зеленого кольору) – Imap; «зірка» (зеленого кольору) – Multihop; «квадрат» (червоного кольору) – Phf; «трикутник» (синього кольору) – Spy; «трикутник» (білого кольору) – Warezclient; «трикутник» (червоного кольору) – Warezmaster.

На створеній програмній моделі «SOM_R2L» проведено дослідження якості виявлення мережевих атак категорії R2L за наступними показниками**:** TP (True Positive) – модель коректно розпізнала вхідну послідовність до розглядаємого класу; TN (True Negative) – модель коректно розпізнала, що вхідна послідовність не належить до розглядаємого класу; FP (False Positive) – модель неправильно визначила, що вхідна послідовність належить до розглядаємого класу; FN (False Negative) – модель неправильно визначила, що об'єкт не належить до розглядаємого класу. Результати цього дослідження зведені до табл. 3.

TPR (True Positive Rate) – показує пропорцію визначених послідовностей розглядаємого класу; FPR (False Positive Rate) – показує пропорцію неправильно визначених вхідних послідовностей до розглядаємого класу; Precision – показує частку об'єктів класу серед об'єктів, виділених класифікатором; Recall – показує частку знайдених об'єктів класу в загальній кількості об'єктів класу; F-measure – це середнє гармонічне значення між точністю та повнотою.

Таблиця 3

Результати дослідження на створеній моделі «SOM_R2L»

	TP	FP	TN	FN	TP, %	FP, %	TN, %	FN, %
Ftp_write	2	19	68	1	2,22	21,11	75,56	1,11
Guess_passwd	0	0	74	16	0,00	0,00	82,22	17,78
Imap	4	0	85	1	4,44	0,00	94,44	1,11
Multihop	8	14	64	4	8,89	15,56	71,11	4,44
Phf	4	1	85	0	4,44	1,11	94,44	0
Spy	1	0	88	1	1,11	0,00	97,78	1,11
Warezclient	14	4	70	2	15,56	4,44	77,78	2,22
Warezmaster	3	2	72	13	3,33	2,22	80,00	14,44
Normal	11	3	71	5	12,22	3,33	78,89	5,56

Із таблиці видно, що найбільша кількість помилок другого роду склала 17,78 % при виявленні атак Guess_ passwd на створеній програмній моделі. Обчислені значення інших параметрів якості зведені до табл. 4.

Таблиця 4

Параметри оцінки якості виявлення атак на моделі «SOM_R2L», %

	Precission	Recall	F-measure	TPR	FPR
Ftp_write	10,00	67,00	17,00	66,67	21,84
Guess_passwd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Imap	100,00	80,00	89,00	80,00	0,00
Multihop	36,00	67,00	47,00	66,67	17,95
Normal	79,00	69,00	73,00	100,00	1,16
Phf	80,00	100,00	89,00	50,00	0,00
Spy	100,00	50,00	67,00	87,50	5,41
Warezclient	78,00	88,00	82,00	18,75	2,70
Warezmaster	60,00	19,00	29,00	68,75	4,05

Створена програмна модель «SOM_R2L» добре розпізнає мережеві атаки класу Imap та Phf із точністю 98,89 %, але вона погано виконує розпізнавання мережевих атак класу Ftp_write, точність якого склала 77,78 %.

Висновки

Для виявлення мережевих атак категорії R2L запропоновано самоорганізуючу карту Кохонена 41-1-X-9, де 41 – кількість нейронів першого шару; 1 – кількість прихованих шарів (шар Кохонена); X – кількість прихованих нейронів; 9 – кількість нейронів результуючого шару. Для виявлення мережевих атак категорії R2L створено з використання мови Python програмну модель «SOM_R2L», що заснована на реалізації запропонованої конфігурації самоорганізуючої карти Кохонена та її алгоритму. На моделі «SOM_R2L» проведено дослідження точності на різних картах при різній кількості прикладів на кожен клас за різною кількістю епох навчання. Визначено оптимальну конфігурацію SOM: 10×10, що навчалася упродовж 40 епох на вибірці із 900 прикладів. На моделі «SOM_R2L» проведено дослідження параметрів якості виявлення атак категорії R2L.

Список використаної літератури

1. Пахомова В. М., Павленко І. І. Дослідження параметрів якості визначення мережевих атак категорії PROBE з використанням самоорганізуючої карти. *SworldJournal*. 2022. Issue 11. Part 1. pp. 100–104. DOI: 10.30888/2663-5712 .2022-11-01-022
2. Esteban J. A New GHSOM Model applied to network security. *Artificial Neural Networks*-ICANN 2008. 2008. pp. 680-689.
3. Kohonen T. The self-organizing map. Proceedings of the IEEE. № 78(9). 1990. pp. 1464–1480.
4. Lincoln Laboratory. Massachusetts Institute of Technology. Publications Archive. URL: https://archive.ll.mit.edu/ideval/docs/detections_1999.html
5. NSL-KDD dataset. URL: https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html
6. Pakhomova V., Mehelbei Y. Detection of attacks of the U2R category by means of the SOM on database NSL-KDD. *Системні технології.* Вип. 5 (142). Дніпро. 2022. С. 18–26. URL: https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st/issue/view/126/99
7. Zhukovitsky I., Pakhomova V., Tsykalo I., Bikovska D. Study of possibilities of combined approach to detecting network attacks using artificial intelligence mechanisms // The 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies *(DESSERT*: 9–11 December 2022).

References

1. Pakhomova, V. M., & Pavlenko, I. I. (2022) Research of parameters of quality of definition of network attacks of the PROBE category with use of the Self organizing Map. *SworldJournal*, 11, 1, 100–104. DOI: 10.30888/2663-5712.2022-11-01-022 [in Ukrainian].
2. Esteban, J. (2008) A New GHSOM Model applied to network security. *Artificial Neural Networks*-ICANN. pp. 680–689. [in English].
3. Kohonen, T. The self-organizing map (1990) *Proceedings of the IEEE*, 78(9), 1464–1480. [in English].
4. Lincoln Laboratory. Massachusetts Institute of Technology. *Publications Archive*. URL: https://archive.ll.mit.edu/ideval/docs/detections_1999.html
5. NSL-KDD dataset. URL: https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html
6. Pakhomova, V., & Mehelbei, Y. (2022) Detection of attacks of the U2R category by means of the SOM on database NSL-KDD. *System Technologies,* 5(142), 18–26. URL: https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st/issue/view/126/99 [in English].
7. Zhukovitsky, I., Pakhomova, V., Tsykalo, I., & Bikovska, D. (2022) Study of possibilities of combined approach to detecting network attacks using artificial intelligence mechanisms // The 12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies *(DESSERT*). [in English].

УДК 519.15:621.372 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.29

В. В. РІЗНИК
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматизованих систем управління
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0000-0002-3880-4595

О. Б. БІЛИК
студент кафедри автоматизованих систем управління
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0000-0002-3589-5401

О. М. ДЕМ'ЯНІВ
студент кафедри автоматизованих систем управління
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0009-0005-6361-416X

С. С. ІВАСІВ
студент кафедри автоматизованих систем управління
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0009-0007-3406-7376

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ВЕКТОРНИХ КОДІВ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ МАСИВІВ ДАНИХ

У цій роботі розглянуто метод опрацювання масивів даних у просторовому полі системи координат тора, побудована на множині комбінаційних сум векторних елементів комбінаторної конфігурації типу «ідеальна кільцева в'язанка» (ІКВ) як базису цієї системи координат, де базис – це підмножина множини наборів координат решітки тора, утвореної послідовним додаванням векторних елементів ІКВ, які, разом з їхніми модульними сумами, заповнюють названу решітку. Досліджено особливості опрацювання дво- і багатовимірних масивів даних у просторовому полі координатної системи тора з використанням оптимальних кільцевих монолітно-групових кодів, сформованих в базисі цієї системи. Встановлено взаємно однозначну відповідність між множиною наборів категорій атрибутів вхідних даних і множиною наборів координат просторової решітки тора, число осей системи координат якої визначає кількість категорій, а число позицій на кожній осі – кількість атрибутів кожної категорії. Обґрунтовано доцільність застосування оптимальних векторних монолітно-групових кодів для опрацювання даних в просторовому полі такої системи координат, що дає змогу зменшити використання машинного часу та пам'яті для опрацювання даних, завдяки кодуванню наборів даних за двома і більше категоріями атрибутів одночасно. З'ясовано, що загальна кількість вузлових точок координатної сітки тора обумовлює потужність методу оптимального кодування наборів даних, а її розміри і розмірність окреслюють відповідну систему категоризації атрибутів. Наведено приклад кодування даних за двома категоріями атрибутів в базисі системи координат тора, що дає змогу зрозуміти сутність зазначеного методу опрацювання даних. Передбачена можливість застосування оптимальних векторних кодів для шифрування опрацьованих даних під час їх пересилання каналами зв'язку.

Ключові слова: *комбінаторна оптимізація, система координат тора, індексація даних, потужність методу кодування, оптимальний кільцевий монолітно-груповий код, шифрування даних.*

V. V. RIZNYK
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Control Automated Systems
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-3880-4595

O. B. BILYK
Student at the Department of Control Automated Systems
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-3589-5401

O. M. DEMIANIV
Student at the Department of Control Automated Systems
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0009-0005-6361-416X

S. S. IVASIV
Student at the Department of Control Automated Systems
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0009-0007-3406-7376

PROSPECTS FOR THE USE OF OPTIMAL VECTOR CODES FOR DATA PROCESSING

In this paper the method of processing data arrays in the spatial field of the torus coordinate system is considered, based on the set of vector elements combinational sums of the «Ideal Ring Bundle» (IRB) combinatorial configuration as the basis of this coordinate system, where the basis is a subset of the coordinate sets of the torus grid, which formed by sequential addition of vector elements of IRB, which together with their modular sums fill the underlying grid. The peculiarities of processing two- and multidimensional data arrays in the spatial field of the torus coordinate system using optimal ring monolithic-group codes formed in the basis of this system are investigated. A one-to-one correspondence between the set of sets of categories of attributes of the input data and the set of coordinate sets of the spatial grid of the torus is established, the number of axes of the coordinate system of which determines the number of categories, and the number of positions on each axis – the number of attributes of each category. The expediency of using optimal ring monolithic-group codes for data processing in the spatial field of such a coordinate system is substantiated, which allows reducing the use of machine time and memory for data processing, due to the encoding of data sets by two or more categories of attributes simultaneously. It is found that the total number of nodal points of the coordinate grid of the torus determines the power of the method of optimal coding of data sets, and its dimensions and dimensions outline the corresponding system of attribute categorization. An example of data encoding by two categories of attributes in the basis of the torus coordinate system is given, which makes it possible to understand the essence of the specified method of data processing. It is possible to use optimal vector codes to encrypt the processed data during their transmission via communication channels. It is possible to use optimal vector codes to encrypt the processed data during their transmission via communication channels.

Key words: *combinatorial optimization, torus coordinate system, data indexing, coding method power, optimal ring vector monolithic-group code, data encryption.*

Постановка проблеми

У зв'язку з прискоренням нагромадження інформації набори даних набувають таких великих розмірів, що традиційні способи та підходи, які здебільшого засновані на рішеннях класу бізнесової аналітики та системах управління базами даних, не можуть бути застосовані для їх опрацювання. Для вирішення цієї проблеми у світі поширюються різні підходи до опрацювання «великих даних». Останнім часом для підвищення ефективності опрацювання великих даних запропоновано і розроблено велику кількість нових концепцій, паралельних алгоритмів, засобів обробки, платформ і додатків [1], [2], [3], [4], [6], [7], [8], [12], [13], [14], [15], [16]. Управління великими просторовими векторними даними представлено в [1], [2], [13], [14], [15], [16]. У роботах [4], [7], [8], [12] висвітлюються перспективи та проблеми технологій отримання даних у сфері дистанційного зондування Землі. Методика складання картографічної процедури, яка виконує фільтрацію, сортування і зведені операції великих даних, представлена на IEEE International Conference on Data Engineering [1]. Розробку реверсної моделі швидкого перетворення координат великих даних для циліндричної проекції ми бачимо в роботі [16]. Стаття [14] містить швидку багатовимірну ансамблеву емпіричну декомпозицію режимів для аналізу великих просторово-часових наборів даних. Структура, яка поєднує хмарні та високопродуктивні обчислення для паралельної картографічної проекції векторних великих просторових даних, розглянута в [2], [13]. Ідея топологічних координат тороїдних хімічних структур узгоджується з описом фізики тороїдальної плазми [3]. Значна частина публікацій стосується великих даних про Землю [8], [12], [13], [15], [16], а в [17] наведено опис багатовимірних систем автоматичного керування.

Одним з підходів до вирішення цієї проблеми, що тут розглядається, є опрацювання даних, застосовуючи оптимальні векторні коди, сформовані в базисі багатовимірних систем координат.

Формулювання мети дослідження

Мета роботи – дослідити ефективність застосування оптимальних векторних кодів для опрацювання масивів даних з багатьма категоріями атрибутів.

Для досягнення зазначеної мети необхідно проаналізувати останні дослідження та публікації, розробити метод опрацювання масивів даних в просторовому полі координат, порівняти розроблений метод з відомими методами, обговорити отримані результати дослідження та зробити відповідні висновки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розглядаючи останні дослідження та публікації, можна бачити, що значна їх частина стосується великих даних про Землю [8], [12], [13], [15], [16]. Для їх обробки доводиться застосовувати різні методи: паралельні інфраструктури аналізу просторових даних, що трактується як досягнення в геоінформаційних системах [8], паралельні картографічні проекції векторних даних, в яких поєднані хмарні обчислення з графічними процесорами [13], розкладання сингулярних значень у багатовимірних масивах великих даних [6], швидкодіючі багатовимірні декомпозиції режимів ансамблю для аналізу великих просторово-часових наборів даних [14]. Геометричні обчислювальні алгоритми завжди дуже складні і трудомісткі, що робить обробку великих просторових даних надто повільною, або навіть неможливою [8].

Огляд основних літературних джерел показав, що зараз у науковому світі складається загальна тенденція стосовно опрацювання великих даних, яка ґрунтується здебільшого на використанні просторових проекцій та візуалізації векторних великих просторових даних, аналізі просторових даних у режимі реального часу [7], [8] і дистанційному зондуванню Землі [4], [7], [12]. Використання просторових проекцій, хоч і забезпечує масштабне просторове моделювання великих даних при загальній системі координат, однак алгоритмічна складність картографічних проекцій залишається нагальною обчислювальною проблемою. Розроблення багатовимірних систем автоматичного керування одночасно кількома параметрами фізичного процесу також вимагають громіздких обчислювань [17].

Аналіз останніх публікацій дав змогу встановити, що для підвищення ефективності обчислень, пов'язаних з опрацюванням векторних даних, доцільно скористатися перевагами оптимальних векторних кодів, утворених на багатовимірних комбінаторних конфігураціях [5], таких як зінгерові різницеві множини [11], багатовимірні моделі систем, і моделі багатовимірних оптимальних систем кодування [10].

Викладення основного матеріалу дослідження

Метод опрацювання векторних даних базується на використанні теоретичних положень класичної теорії комбінаторних конфігурацій [11] та застосуванні оптимальних векторних кодів, підґрунтям для побудови яких стали векторні комбінаторні конфігурації типу «ідеальних кільцевих в'язанок» (ІКВ) [9]. Структура векторних ІКВ представляє собою впорядкований за кільцевою схемою набір векторів, комбінаційні суми яких утворюють систему координат на поверхні тора, що дає змогу формувати в базисі цієї системи набори індексованих категорій атрибутів у вигляді кортежів цілих додатних чисел для їх кодування за допомогою оптимальних векторних монолітно-групових кодів. Кожній позиції такого коду присвоєно числове значення у вигляді відповідного набору індексованих категорій атрибутів для їх кодування та подальшого опрацювання векторних наборів даних у базисі просторової системи координат, де базис – це підмножина множини наборів координат цієї системи, породженої послідовним додаванням останніх. Коди цього класу є оптимальними по відношенню до інших кодів цього класу, оскільки комбінаційні суми числових значень його вагових розрядів вичерпує множину кодових комбінацій, сформованих у базисі цієї системи координат. Дозволені комбінації оптимального монолітно-групового коду формуються у вигляді двох послідовно розміщених за кільцевою схемою груп однойменних символів, що дає змогу швидко і просто виявляти та виправляти помилки за принципом появи хоча б одного символу «1» серед нулів, або символу «0» серед одиниць. Кодування базується на ваговій системі кільцевого n-позиційного монолітно-групового коду з t-вимірними ваговими розрядами, кодові комбінації якого формуються послідовним додаванням базових t-вимірних векторів за кільцевою схемою з урахуванням відповідних модулів $m_1, m_2,..., m_t$. Множина цих векторів, разом з множиною породжених ними вектор-сум, набуває вигляду t-вимірної координатної сітки з розмірами $m_1 \times m_2 \times ... \times m_t$, яка окриває поверхню $(t+1)$-вимірного тора.

Розглянемо математичну модель t-вимірних наборів даних, яка має вигляд кільцевої n-послідовності t-кортежів $((k_{11}, k_{12}, \ldots, k_{1t}), (k_{21}, k_{22}, \ldots, k_{2t}), \ldots, (k_{i1}, k_{i2}, \ldots, k_{it}), \ldots, (k_{n1}, k_{n2}, \ldots, k_{nt}))$, де $k_{i1} \equiv k_i \pmod{m_1}$, $k_{i2} \equiv k_i \pmod{m_2}$, …, $k_{it} \equiv k_i \pmod{m_t}$. Така система описується параметрами $n, m_1, m_2, \ldots, m_t$, де n – число t-кортежів, які є базисними векторами t-вимірної системи координат, утвореної цими векторами. Числові значення модулів $m_1, m_2, \ldots, m_t$ які встановлюють розміри t-вимірної координатної сітки $m_1 \times m_2 \times \ldots \times m_t = n(n-1)$, де $m_1, m_2, \ldots, m_t$ – розміри кільцевих осей цієї сітки.

В основу методу закладено принцип комбінаторної оптимізації вагової системи зваженого n-позиційного коду, розрядам якого присвоєно значення базисних векторів t-вимірної системи координат. Ваги розрядів оптимальних векторних кодів обрані так, щоб множиною усіх векторних сум, утворених комбінаційним додаванням цих вагових розрядів, можна було покрити множину вузлових координат t-вимірної решітки тора.

Наприклад, на кільцевій n – послідовності чотирьох (n=4) 2-кортежів (t=2) із ваговими розрядами ((0,1), (1,0), (0,2), (2,2)) можна утворити $n(n-1)$=12 вектор-сум за комплексним модулем (mod m_1, mod m_2), включно з базовими векторами, де m_1= 3, m_2 =4:

(0,1), (1,0), (0,2), (2,2); (1,1)≡((0,1)+(1,0)), (1,2)≡((1,0)+(0,2), (2,0)≡((0,2)+(2,2)), (2,3)≡((2,2)+(0,1)); (0,0)≡((1,0)+(0,2)+(2,2)), (0,0)≡((1,0)+(0,2)+(2,2)), (0,3)≡((2,2)+(0,1)+(1,0)), (1,3)≡((0,1)+(1,0)+(0,2)), (0,3)≡((2,2)+(0,1)+(1,0)), (1,3)≡((0,1)+(1,0)+(0,2)), (2,1)≡((0,2)+(2,2)+(0,1)).

Легко бачити, що множина цих векторів взаємно однозначно відповідає множині вузлових точок координатної сітки $m_1 \times m_2 = 3 \times 4$ тора, а їх кількість досягає апріорі максимального значення, коли n=4. Тому коди з такими властивостями належать до класу оптимальних векторних кодів. Множина комбінаційних сум, утворених послідовним додаванням вагових розрядів оптимального векторного коду, формує просторову систему координат, яка окриває поверхню тора, вичерпуючи кількість різних способів утворення вузлових точок. Цим пояснюється перевага оптимальних векторних кодів у порівнянні з відомими. Кодування двовимірних (t=2) векторних сигналів у базисі просторового поля координатної сітки тора здійснюється оптимальним кільцевим монолітно-груповим векторним кодом [9, 10], ваги розрядів якого є елементами ІКВ, а кодові комбінації утворюються шляхом відліку відповідних вектор-сум від спільної точки з координатами (0, 0) на двох (t=2) взаємно ортогональних кільцевих осях координатної сітки тора з розмірами $m_1 \times m_2 = 3 \times 4$. Таким чином, кожному 2 набору категорій атрибутів взаємно однозначно відповідає рівно одна двійкова кодова комбінація, утворена на чотирьох (n=4) двовимірних (t=2) вагових розрядах (0,1), (1,0), (0,2), (2,2), вичерпуючи множину числових значень цих наборів.

Приклад кодування масивів даних за двома (t=2) категоріями атрибутів в базисі ((0,1), (1,0), (0,2), (2,2)) системи координат 3×4 тора ілюструє таблиця 1.

Таблиця 1

Кодування масивів даних за двома (*t*=2) категоріями атрибутів в базисі ((0,1), (1,0), (0,2), (2,2)) системи координат 3×4 тора

п/п	Категорії арибутів		Ваги розрядів двовимірного (*t*=2) оптимального векторного коду			
	Категорія 1	Категорія 2	(0,1)	(1,0)	(0,2)	(2,2)
1	0	0	0	1	1	1
2	0	1	1	0	0	0
3	0	2	0	0	1	0
4	0	3	1	0	0	1
5	1	0	0	1	0	0
6	1	1	1	1	0	0
7	1	2	0	1	1	0
8	1	3	1	1	1	0
9	2	0	0	0	1	1
10	2	1	1	0	1	1
11	2	2	0	0	0	1
12	2	3	1	0	0	1

У таблиці відображено результат кодування масивів даних з двома (*t*=2) наборами категорій атрибутів в базисі системи координат тора за допомогою оптимального кільцевого монолітно-групового коду з ваговими розрядами ((0,1), (1,0), (0,2), (2,2)). Перше число закодованого набору вказує на один із трьох (m_1=3), а друге – чотирьох (m_2=4) індексованих атрибутів першої і другої категорій атрибутів відповідно, що дає змогу кодувати дані за двома категоріями атрибутів одночасно. Заповнені таблиці, в свою чергу, можуть підлягати індексації за номерами назв, пакетів, процедур тощо в знову обраній з банку базисів систем координат та подальшому опрацюванню в мережі бази даних, підтримуючи комплекси стандартних бібліотек мов програмування. Для опрацювання даних з більшим числом категорій атрибутів обирають базиси, які породжують системи просторових координат з потрібними геометричними характеристиками. Крім того, існує можливість шифрування опрацьованих даних, наприклад, періодичним перейменуванням номерів осей координат, переставлянням *t*- вимірних вагових розрядів тощо. Інформація, яка закодована у сигналах *t*- вимірного монолітно-групового коду з обмеженим числом перехідних енергетичних рівнів підвищує ступінь захисту від впливу зовнішніх завад.

У цій праці, на відміну від публікацій [1], [2], [3], [4], [6], [7], [8], [12], [13], [14], [15], [16], [17], розроблено новий метод опрацювання даних у просторовому полі координатної системи тора, побудованій на множині комбінаційних сум структурних елементів багатовимірної комбінаторної конфігурації типу «ідеальна кільцева в'язанка» (ІКВ) з використанням оптимальних монолітно-групових кодів, сформованих в базисі цієї системи.

База даних, яка забезпечує взаємодію користувачів з банком базисів *t*-вимірних систем координат, містить інформацію для опрацювання *t*-вимірних наборів даних, здійснюючи цілочислове *t*-значне індексування векторних елементів, упорядкованих у вигляді базису *t*-вимірної системи координат, з наступним опрацюванням інформації та її збереження, що дає змогу вдосконалити структуру бази даних. Масиви даних можуть описуватися *t*-наборами атрибутів довільного змісту на будь-якому рівні індексації й теоретично нескінченно великим числом категорій атрибутів.

Висновки

Досліджено ефективність застосування оптимальних векторних кодів для опрацювання масивів даних з багатьма категоріями атрибутів в базисі просторової системи координат. Досліджено особливості опрацювання дво- і багатовимірних масивів даних у просторовому полі координатних систем з використанням оптимальних кільцевих монолітно-групових кодів, сформованих в базисі цієї системи. Оптимізація полягає у розширенні просторового поля системи координат, завдяки використанню комбінаційних вектор-сум, утворюваних на множині фіксованої кількості базових векторів ІКВ. Множина всіх дозволених двійкових комбінацій оптимального кільцевого монолітно-групового коду взаємно однозначно відповідає множині координат вузлових точок просторової системи відліку наборів категорій атрибутів. Для опрацювання масивів даних використовується менше, як раніше, число закодованих сигналів, що дозволяє скоротити базу даних без втрати інформації. Застосування оптимальних векторних кодів може бути доречним під час опрацювання масивів даних в потоковому режимі з можливістю їх шифрування.

Використання оптимальних векторних кодів для опрацювання масивів даних розкриває нові перспективи розвитку векторних інформаційних технологій і векторної комп'ютерної інженерії.

Список використаної літератури

1. Eldawy A., Mokbel M. F., Alharthi S., Alzaidy A, Tarek K., Ghani S. SHAHED. A MapReduce-based system for querying and visualizing spatio-temporal satellite data. *IEEE International Conference on Data Engineering*. 2015. Seoul, South Korea, 13–17 April 2015.

2. Eldawy A., Mokbel MF, Jonathan C. Hadoop Viz: A MapReduce framework for extensible visualization of big spatial data. The *32nd IEEE International Conference on Data Engineering*. 2016. 16-20 May 2016. Helsinki, Finland: IEEE, 2016. P. 601–612.

3. Laszlo I., Rassat A., Fowler P.W., Graovas A. Topological coordinates for toroidal structures. *Chemical Physics Letters: Elsevier Science B.V.* 2001. Vol. 342. 2001. P. 369–374.

4. Ma Y., Wu H., Wang L., Huang B., Ranjan R., Zomaya A., Jie W. Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities. *Future Generation Computer Systems*. 2015, no. 51. P. 47–60. URL: https://doi. org/10.1016/j. future.2014.10.029

5. Moore E.H., Pollatsek H.S. Difference Sets: Connecting Algebra, Combinatorics, and Geometry. New York: AMS, 2013. 314 p.

6. Nikos E. Mastorakis. Singular value decomposition in multidimensional arrays. *International Journal of Systems Science*. 1996. Vol.27, Iss. 7. P. 647–650. URL: https://doi.org/10.1080/00207729608929261

7. Pekturk M. K., Unal M. A review on real-time big data analysis in remote sensing applications. *25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. 2017. Antalya, Turkey, 15–18, May 2017.

8. Ray S., Simion B., Brown A.D., Johnson R. A parallel spatial data analysis infrastructure for the cloud. *ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems.* 2013. 5–8 November 2013. Orlando, FL, USA.

9. Riznyk V. Multi-dimensional Systems Based on Perfect Combinatorial Models, *Multidimensional Systems: Problems and Solutions*. 1998. London: IEE, Savoy Place, P. 5/1–5/4.

10. Riznyk V. Multi-modular Optimum Coding Systems Based on Remarkable Geometric Properties of Space. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – Springer. 2017. Vol. 512. P. 129–148. URL: https://doi. org/10.1007/978-3-319-45991-2_9

11. Singer J. Division of mathematics: perfect difference sets. *Tranactions of the New York Academy of Sciences.* 1966. Vol. 28, Iss. 7, Series II. P. 883–888. URL: https://doi.org/10.1111/j.2164-0947.1966.tb02392.x

12. Sun Z., Shen J., Zhu Y. Big data for remote sensing: Challenges and opportunities Big data for remote sensing. *Challenges and opportunities/ IEEE*. 2016. Vol. 104, no. 11. P. 2207–2219. URL: https://doi.org/10.1109/Jproc. 2016.598228

13. Tang W., Feng W. Parallel map projection of vector-based big spatial data: Coupling cloud computing with graphics processing units. *Computers, Environment and Urban Systems.*2014. Vol. 61. P. 187–197. URL: https: //doi.org/10.1016/j. compenvurbsys.2014.01.001

14. Wu Z., Feng J., Qiao F., Tan Z. – M. Fast multidimensional ensemble empirical mode decomposition for the analysis of big spatio-temporal datasets. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2016. Vol. 374(2065), 2015.01.97

15. Xiaochuang Y., Li Guoqing. Big spatial vector data management: a review. *Big Earth Data*. 2018. Vol. 2, no. 1. P. 108–129. URL: https://doi.org/10.1080/20964471.2018.1432115

16. Ye S., Yan T., Yue Y., Lin W., Li L.,Yao X., Zhu D. *Computers & Geosciences* . 2016. Vol. 89. P. 44–56. URL: https:// doi.org/10.1016/j.cageo.2016.01.007

17. Жук К.Д., Тунік А.А., Чинаєв П.І. Багатовимірні системи автоматичного керування. *Енциклопедія кібернетики*. 1973. Т. 1. С. 140–142.

References

1. Eldawy,A., Mokbel, M. F. , Alharthi, S., Alzaidy,A, Tarek, K., & Ghani, S. SHAHED. (2015). A MapReduce-based system for querying and visualizing spatio-temporal satellite data /IEEE International Conference on Data Engineering, Seoul, South Korea, 13–17 April 2015.

2. Eldawy A., Mokbel MF, & Jonathan C. (2016). Hadoop Viz: A MapReduce framework for extensible visualization of big spatial data // The 32nd IEEE International Conference on Data Engineering, 16-20 May 2016. – Helsinki, Finland: IEEE, 2016. P. 601–612.

3. Laszlo,I., Rassat, A., Fowler, P.W., & Graovas, A.(2001). Topological coordinates for toroidal structures // Chemical Physics Letters: Elsevier Science B.V. 2001. Vol. 342. 2001. P. 369–374.

4. Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A., & Jie, W. (2015). Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities/ Future Generation Computer Systems. 2015. № 51. P. 47–60. DOI: 10.1016/j.future.2014.10.029.

5. Moore, E.H., Pollatsek H.S. (2013) "Difference Sets: Connecting Algebra, Combinatorics, and Geometry". AMS. ISBN 978-0-8218-9176-6.

6. Nikos E. Mastorakis (1996) Singular value decomposition in multidimensional arrays. International Journal of Systems Science, Vol.27, Iss. 7. P. 647–650. DOI: 10.1080/00207729608929261

7. Pekturk M. K. & Unal, M. (2017). A review on real-time big data analysis in remote sensing applications // 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Antalya, Turkey, 15–18, May 2017.

8. Ray, S., Simion,B., Brown, A.D. & Johnson,R. (2013). A parallel spatial data analysis infrastructure for the cloud // ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, 5–8 November 2013. Orlando, FL, USA.

9. Riznyk V. (1998) Multi-dimensional Systems Based on Perfect Combinatorial Models, Multidimensional Systems: Problems and Solutions. London: IEE, Savoy Place, pp. 5/1–5/4.

10. Riznyk V. Multi-modular Optimum Coding Systems Based on Remarkable Geometric Properties of Space // Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer. Vol. 512. 2017. P. 129–148. DOI 10.1007/978-3-319-45991-2_9

11. Singer J.(1966) Division of mathematics: perfect difference sets// Tranactions of the New York Academy of Sciences. 1966. Volume: 28, Issue: 7, Series: II, pp. 883–888. DOI: 10.1111/j.2164-0947.1966.tb02392.x

12. Sun, Z., Shen, J. & Zhu, Y. (2016). Big data for remote sensing: Challenges and opportunities Big data for remote sensing: Challenges and opportunities/ IEEE. 2016. Vol. 104, № 11. P. 2207–2219. DOI: 10.1109/Jproc. 2016.598228

13. Tang, W. & . Feng,W. (2014). Parallel map projection of vector-based big spatial data: Coupling cloud computing with graphics processing units// Computers, Environment and Urban Systems. 2014. Vol. 61. P. 187–197. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2014.01.001

14. Wu, Z., Feng, J., Qiao, F. & Tan Z. M.(2016). Fast multidimensional ensemble empirical mode decomposition for the analysis of big spatio-temporal datasets // Philos Trans A Math Phys Eng Sci. 2016. 374(2065), 2015.01.97

15. Xiaochuang, Y. & Li Guoqing (2018). Big spatial vector data management: a review // Big Earth Data. 2018. Vol. 2, № 1. P. 108–129. DOI: 10.1080/20964471.2018.1432115

16. Ye, S., Yan, T., Yue, Y., Lin, W., Li, L.,Yao, X. & Zhu, D. (2016). Computers & Geosciences. 89. P. 44–56. DOI:10.1016/j.cageo.2016.01.007

17. Zhuk K.D., Tunik A.A. and Chynaiev P.I. (1973) Bahatovymirni systemy avtomatychnoho keruvannia [Multidimensional systems of automatized control. Encyclopedia of cybernetics], Vol. 1, Kyiv, pp. 140–142.

УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 94(477):332.025.26 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.30

Я. І. МАНДРИК
доктор історичних наук,
професор кафедри суспільних наук
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ORCID: 0000-0001-6663-4880

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБІТ НАУКОВЦІВ УКРАЇНСЬКОЇ ДІАСПОРИ ТА ІНОЗЕМНИХ АВТОРІВ ЩОДО ПОЛІТИКИ РАДЯНСЬКОЇ ДЕРЖАВИ У СФЕРІ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ УПРАВЛІНЦІВ ДЛЯ УКРАЇНСЬКОГО СЕЛА НАПРИКІНЦІ 1920–1930-Х РОКІВ

У статті викладено аналіз проблеми дослідження науковцями української діаспори та іноземними авторами політики радянської держави у сфері підготовки кадрів управлінців для українського села наприкінці 1920–1930-х років. Зокрема, цих дослідників можна, умовно, диверсифікувати на дві великі групи. Перша – науковці української діаспори довоєнного, років Другої світової війни та повоєнного періодів. Охопити аналізом усіх авторів цієї групи неможливо. Тому вивченню підлягають дослідження тих, які спеціалізувались виключно на вивченні визначеної проблематики. Так, до цієї групи можна віднести роботи А. Запорожця, Д. Андріївського, І. Мазепинця, С. Яременка, М. Сціборського, Д. Солов'я, І. Майстренка, Є. Пастернака, М. Прокопа, Л. Лисенка, С. Підгайного, Т. Гунчака. Важливе місце займають монографічні дослідження науковців української діаспори написані колективами авторів. До таких колективних монографій, зокрема, належать в певному значенні класичні роботи «Злочини комуністичної москви» (1960 р., видавництво «Пролог»), «Українська культура» (1940 р., м. Подебради), «Історія української культури» (1964 р., м. Вінніпег), «У півстоліття радянської влади» (1968 р., м. Сарсель), «Енциклопедія українознавства (1959 р., Париж-Нью-Йорк). Другу групу становлять дослідження окресленої проблематики іноземними авторами. Зокрема, сюди відносяться твори О. Мака, Ф. Пігідо, р. Конквеста, Д. Мейса, П. Фіцпатріка, Б. Раймонда, М. Хогена, М. Белади, Т. Крауса, А. Альбрехта, р. Пайпса. Зазначені індивідуальні та колективні дослідження науковцями української діаспори та іноземними авторами політики радянської держави у сфері підготовки кадрів управлінців для українського села наприкінці 1920–1930-х років становлять важливу частину історіографії історії України та історії української культури. Одночасно, важливим є те, що із проголошенням Незалежної Української держави історики отримали до цих джерел доступ, адже у радянські часи існувала строга заборона на роботу з ними. Зберігалися ці історичні праці у спеціальних закритих фондах бібліотек. Допускались до користування цими фондами тільки працівники партійного апарату, карально-наглядових органів або особи зі спеціально виданими дозволами.

Ключові слова: *політика, кадри управлінців, радянське село, діаспора, терор, репресії, радянська диктатура.*

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

RESEARCH ANALYSIS OF THE WORKS OF SCIENTISTS OF THE UKRAINIAN DIASPORA AND FOREIGN AUTHORS REGARDING THE POLICY OF THE SOVIET STATE IN THE FIELD OF TRAINING MANAGERS FOR THE UKRAINIAN VILLAGE IN THE LATE 1920–1930S

The article presents an analysis of the problem of research by scientists of the Ukrainian diaspora and foreign authors of the policy of the Soviet state in the field of training managers for the Ukrainian countryside at the end of the 1920s and 1930s. In particular, these researchers can be conditionally diversified into two large groups. The first – scientists of the Ukrainian diaspora of the pre-war, World War II and post-war periods. It is impossible to cover all the authors of this group in the analysis. Therefore, the studies of those who specialized exclusively in the study of certain issues are subject to study. So, this group includes the works of A. Zaporozhets, D. Andriivskyi, I. Mazepynets, S. Yaremenko, M. Sciborskyi, D. Solovya, I. Maistrenko, E. Pasternak, M. Prokop, L. Lysenko, S. Pidgayny, T. Gunchak. An important place is occupied by monographic studies of scientists of the Ukrainian diaspora written by collectives of authors. Such

collective monographs, in particular, include, in a certain sense, the classic works "Crimes of Communist Moscow" (1960, Prolog publishing house), "Ukrainian Culture" (1940, Podebrady), "Ukrainian History" of Culture" (1964, Winnipeg), "In Half a Century of Soviet Power" (1968, Sarcel), "Encyclopedia of Ukrainian Studies" (1959, Paris-New York). The second group consists of studies of the outlined problems by foreign authors. In particular, this includes the works of O. Mak, F. Pigido, R. Conquest, D. Mace, P. Fitzpatrick, B. Raymond, M. Hogen, M. Belada, T. Kraus, A. Albrecht, R. Pipes. The mentioned individual and collective studies by scientists of the Ukrainian diaspora and foreign authors of the policy of the Soviet state in the field of training managers for the Ukrainian countryside in the late 1920s and 1930s constitute an important part of the historiography of the history of Ukraine and the history of Ukrainian culture. At the same time, it is important that with the declaration of the Independent Ukrainian State, historians gained access to these sources, because in Soviet times there was a strict ban on working with them. These historical works were kept in special closed collections of libraries. Only employees of the party apparatus, penal and supervisory bodies or persons with specially issued permits were allowed to use these funds.

Key words: *politics, cadres of managers, Soviet village, diaspora, terror, repression, Soviet dictatorship.*

Постановка проблеми

Вивчення історичних досліджень, присвячених проблемі політики радянської влади в українському селі у сфері підготовки кадрів, які належать науковцям української діаспори та іноземним авторам, є, на даному етапі розвитку Української держави, особливо актуальною. Ця важливість загострилась з моменту широкомасштабного вторгнення росії в Україну 24 лютого 2022 року.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Над аналізом зазначеної проблематики працюють сучасні науковці України, зокрема, це дослідники відділу Історії України 1920–1930-х років Інституту історії України НАН України, а також окремі українські науковці, зокрема, С. Кульчицький, С. Білоконь, В. Марочко, Л. Гриневич та ін. Однак, спеціального дослідження цієї проблеми на даний час немає.

Формування мети дослідження

У статті автор поставив за мету проаналізувати праці закордонних науковців різного походження, які присвячені проблемі формування керівних кадрів села за умов репресій апарату НКВС та компартійних органів в 1930-х роках.

Викладення основного матеріалу дослідження

Науковці української діаспори надзвичайно активно аналізували історичне минуле українських земель. Важливу групу історичних досліджень становлять наукові праці, присвячені проблемі державної політики компартійної влади у сфері освіти та підготовки кадрів українського села 1930-х років. Результати їх досліджень є надзвичайно гетерогенним у відношенні глибини та якості вихідного архівного матеріалу, який використовувався в цих дослідженнях. Значна частина з них (особливо публікації 1950–60-х років), у своїй більшості, має емоційне, агітаційно-пропагандистське та антирадянське забарвлення [1–8]. Та, на думку автора, не володіють достатньою аналітичною глибиною. Проте, очевидно, що певні факти з цих праць можна використовувати.

Основу зарубіжної україністики становлять фундаментальні дослідження. Найбільш важливим серед них є «Енциклопедія українознавства» в 10-ти томах, колективу авторів діаспори під загальною редакцією В. Кубійовича (Париж – Нью-Йорк, 1959). На даний час, «Енциклопедія українознавства» перевидана і в Україні (Львів, 1993 – Київ, 1995). Видання містить значний фактичний та теоретичний матеріал про культуру українського села 1930-х років, а саме: матеріали щодо розвитку освіти, підготовки та професійного росту спеціалістів, друку українських книг, журналів, роботи сільських клубів та бібліотек. Однак, певні статистичні показники «Енциклопедії українознавства» є застарілими і потребують верифікації та доповнення.

Ряд досліджень присвячено питанням розвитку культури України загалом, зокрема, і в період першої третини XX століття [9–12]. Важливе значення для вивчення проблематики несуть праці І. Майстренка. Автор проводить відносно скрупульозний аналіз розвитку українського радянського села довоєнного періоду, зокрема, його культури та підготовки кадрів управлінців. В працях цього автора зроблено об'єктивний аналіз здебільше негативного, часто трагічного, впливу компартійних рішень на розвиток української культури. Праці І. Майстренка містять важливий матеріал щодо розвитку освіти села, репресій по відношенню до спеціалістів сільського господарства, українських письменників та діячів культури загалом [13–16].

Історії України міжвоєнного періоду присвячене спеціальне дослідження Е. Пастернака. В ньому автор використовує багато нового фактичного матеріалу, робить спробу теоретичного аналізу становища у сфері підготовки спеціалістів для села України довоєнного періоду, підкреслює колоніальну залежність радянської України від москви, подає багато матеріалу про знищення української культури, зокрема, щодо погромів церков, ліквідацію їх майна, цінностей [17].

Фундаментальне дослідження соціально-економічних взаємовідносин України та росії здійснив К. Кононенко. Автор аргументовано аналізує колоніальне становище наших земель у складі СРСР. Багато уваги присвячено розвитку села в 1930-і роки, зокрема, наслідкам масової колективізації в Україні. Доказано грабіжницький характер

політики імперії по відношенню до українського села; зроблено висновок: колективізація відкинула наше село далеко назад, негативно відбилася на його культурному розвитку. Цій же темі присвячені дослідження П. Голубенка та Д. Солов'я. Зокрема, Д. Соловей доказує упосліджeність у розвитку української культури, зокрема, науки та освіти у роки панування на Україною москви. Левова частка фінансування освіти та підготовки кадрів ішла в росію, видання, в основному, були російськомовними [18].

Багато уваги колоніальному становищу українського села в Радянському Союзі присвячує у своєму дослідженні М. Прокоп. Автор аналізує причини українізації в УРСР, її позитивні наслідки для розвитку культури села, зокрема, сфери підготовки управлінців. Однак, імперська москва не могла допустити розвитку залежних територій, йде на ліквідацію українізації. Ситуація значно погіршилась. Україна остаточно втратила навіть обмежену автономію [19].

Важливі проблеми розвитку сфери підготовки спеціалістів містяться в праці С. Яременка, В. Ревутського [8].

Однак дослідники (традиційно для науковців діаспори) більше уваги приділяють розвитку літератури в УРСР у 1930-х роках. Акцентують свою увагу на фактах нищення наших письменників, поступового заміщення української мови російською. Відносно небагато уваги приділено розвитку освіти, підготовці кадрів спеціалістів для села, зовсім не зачеплені проблеми культосвітньої роботи.

Політичні аспекти розвитку української РСР міжвоєнного періоду знайшли своє відображення у монографії Т. Гунчака. Автор аналізує процеси винищення української інтелігенції, вказує на трагічні втрати серед українських комуністів, кадрів управлінців та спеціалістів сільського господарства, сільських учителів [30].

Глибокий аналіз розвитку сільського господарства України у роки проведення колективізації та після неї зроблено у монографії Л. Лисенка. Автор приходить до висновку, що рівень життя українських селян наприкінці 1930-х років був гіршим, в порівнянні з 1913 роком; йшла деградація їх соціально-економічного і культурного розвитку [20]. Важливим дослідженням є монографія Г. Костюка. В цій праці автор, використовуючи документальні матеріали, переконливо доводить, що сталінізм в Україні був режимом репресій і терору. За переконанням автора, радянський режим в УРСР був війною більшовицької держави із народом, у результаті якої значних втрат зазнали кадри спеціалістів і управлінців загалом.

Окремі проблеми культурного розвитку українського села міжвоєнних років знайшли своє відображення у дослідженнях ряду інших авторів української діаспори та у колективних монографіях. Зокрема, у праці С. Підгайного є багато важливого матеріалу про репресії серед української інтелігенції, зокрема, спеціалістів та управлінців сільського господарства, письменників, науковців, освітян. Автор подає детальний опис Соловків як своєрідного «центру української культури 1930-х років». Показав, як жорстоко розправлялась радянська влада із найбільш обдарованими представниками української інтелігенції [22].

Важливе значення у діяльності українських видавництв діаспори ще й тому, що у свій час вони видали ряд наукових досліджень, публіцистичних творів українських авторів, які проживали у радянські часи на території УРСР і не мали змоги через свої прогресивні погляди там друкуватись. Ці дослідження відіграють важливу роль у вивченні 1930-х років. Використовуючи, як вони вважали, істинне марксистське вчення В. Леніна, ці автори розкрили злочини, які здійснювались у часи сталінізму в селах України, що вело до страшної руйнації укладу життя його мешканців, їх культури, моралі, свідомості. Ці автори відкрито заговорили про тотальну русифікацію українського народу, нищення нашої мови, що негативно відбилося на розвитку культури загалом [23, 24].

Міжвоєнний період в історії СРСР, розвиток українських земель у ці роки, зокрема, сфери освіти та підготовки кадрів управлінців села цікавили зарубіжних дослідників. Твори цих авторів у роки існування Радянського Союзу кваліфікувались радянськими істориками однозначно, як «буржуазні», які вороже налаштовані проти радянської влади, їх обов'язково було необхідно критикувати у кожному історичному дослідженні. На даний час необхідно надати належне цим зарубіжним дослідникам. Їх наукові праці складають значну групу. Вважаємо за необхідне зупинитися тільки на основних, ключових і знакових працях. Для вивчення історії українського села найбільше зроблено Робертом Конквестом. У своїх дослідженнях він багато уваги приділяє розвитку освіти на селі у часи колективізації та голодомору, становищу сільських спеціалістів – учителів, агрономів, голів колгоспів, бригадирів та інших кадрів управлінців. Р. Конквест оперує багатим фактичним матеріалом, який стосується становища дітей у роки колективізації та голодомору. Це важливо в світлі аналізу розвитку сільської школи [25, 26].

Важливим є також дослідження проблем тоталітаризму і геноциду в Україні Д. Мейса. Він стверджував, що радянська тоталітарна машина перш за все нищила українців, їх культуру, як культуру найбільш волелюбного народу СРСР [27].

Проблеми переходу до побудови комунізму в Радянському Союзі у міжвоєнні роки досліджували П. Фіцпатрік, О. Коннор, Б. Раймонд. Вони вказували на трагізм для СРСР сталінської революції «зверху», яка знищила ринкові відносини, відкинула країну назад у розвитку в усіх галузях, зокрема, у розвитку культури. Згортання нової економічної політики в епоху сталінізму було пов'язане із різкими змінами в культурній політиці, відмові від бережливого ставлення до старої творчої інтелігенції, кадрів спеціалістів та управлінців, переходу до політики грубого втручання у розвиток освіти, літератури, мистецтва та науки.

Вчені роблять висновок: культурна політика і розвиток культури, зокрема, у сфері підготовки кадрів управлінців у 1920-і роки кардинально відрізняються від таких протягом наступних десяти років. Більшовицька диктатура 1930-х років – логічний наслідок традицій дореволюційної російської поліцейської держави, її культурної відсталості [28, 29, 31].

Певний аналіз епохи сталінізму в СРСР зроблено у монографії В. Беладі та Т. Крауса. Автори використовують нові фактичні матеріали, роблять ґрунтовні висновки, які важливі для даного дослідження. У монографії підкреслено: поворот у політиці наприкінці 1920-их років – це свідомі дії більшовицької партії на чолі зі Сталіним, спрямовані на побудову комунізму в Радянському Союзі. Україна у міжвоєнний період вже не володіла ніякою автономією усіх сфер життя держави, зокрема, у розвитку освіти, культурно-масової роботи. Ці процеси відбувалися виключно у руслі рішень Москви, на догоду загальносоюзним інтересам. Ця політика особливо драматично вплинула на становище кадрів управлінців у радянському селі УРСР [32].

Актуальні проблеми, пов'язані із причинами встановлення в Радянському Союзі тоталітарної системи, диктатури Сталіна, та їх негативний вплив на життя народів у новій радянській імперії, досліджує у своїй фундаментальній монографії Р. Такер. Він досліджував систему освіти, яка мала виключно унітарний характер, розвивалася абсолютно в тих рамках, які жорстко встановлювалися у Москві, а звідси, відповідно, готувалися кадри спеціалістів, управлінців українського радянського села [33].

Проблемам 1930-х років присвятили свої праці ряд інших зарубіжних авторів: А. Альбрехт та Р. Пайпс. Ці праці важливі своїми висновками відносно політики радянської держави у міжвоєнний період, які радикально відрізняються від офіційних тверджень радянських дослідників історичного минулого УРСР [34, 35, 36].

Висновки

Таким чином, дослідники міжвоєнного періоду в історії радянської України, які працювали за межами УРСР, зокрема, із української діаспори та зарубіжні автори, постійно працювали над дослідженням проблем підготовки кадрів управлінців радянського села. Ці наукові праці заповнили значну прогалину в історичній науці, є важливим джерелом із вивчення історії радянської України.

Список використаної літератури

1. Запорожець А. Большевизм. Буенос-Айрес, 1947. 96 с.
2. Андріївський Д. Російський колоніалізм і Совітська імперія. Париж, 1958. 123 с.
3. Мак О. З часів єжовщини. 1954, 84 с.
4. Пігідо Ф. Україна під більшовицькою окупацією. Мюнхен, 1956. 143 с.
5. Злочини комуністичної Москви. Видавництво Пролог, 1960. 84 с.
6. Мазепинець І. Правда про наше минуле. Рівне, 1942. 69 с.
7. Николишин С. Культурна політика більшовиків. Мюнхен, 1939. 104 с.
8. Яременко С. Ревутський В. Нариси з історії української культури. Едмонтон, 1984. 183 с.
9. Українська культура. Зб. лекцій за ред. Д. Антоновича. Подебради, 1940. 244 с.
10. Історія української культури. Вінніпег, 1953. 163 с.
11. Сціборський М. Сталінізм. Прага, 1942. 84 с.
12. Соловей Д. Українська наука в колоніальних путах. Видавництво Пролог, 1963. 143 с.
13. Майстренко І. Історія компартії України. Сучасність, 1979. 184 с.
14. Майстренко І.Сторінки історії компартії України. ч. 1. Нью-Йорк, 1967. 211 с.
15. Майстренко І.Сторінки історії компартії України, ч. 2. Мюнхен, 1969. 184 с.
16. Майстренко І. Національна політика КПРС в історичному розвитку. Сучасність, 1978. 184 с.
17. Пастернак Є. Україна під більшовиками. (1919-1939). Торонто, 1979. 249 с.
18. Соловей Д. Україна в системі совєтського колоніалізму. Мюнхен, 1959. 143 с.
19. Прокоп М. Україна і українська політика Москви. Сучасність, 1983. 154 с.
20. Лисенко Л. Сільське господарство України. Видавництво ЗЧ ОУН, 1960. 169 с.
21. У півстоліття радянської влади. Перша українська друкарня у Франції. 1968. 123 с.
22. Підгайний С. Українська інтелігенція на Соловках. Видавництво Пролог, 1947. 89 с.
23. Дзюба Іван. Інтернаціоналізм чи русифікація. Сучасність. 202 с.
24. Кошелевець І. Микола Скрипник. Видавництво Сучасність, 1972. 173 с.
25. Конквест Р. Жнива скорботи. К., 1993. 378 с.
26. Конквест Р. Великий терор. К., 1993. 184 с.
27. Мейс Д. Зачаровані кола ідола, або про тоталітаризм і геноцид в історії України // Літературна Україна. 31. III. 1990.
28. Фицпатрик II. Образование и социальная мобильность в Советском Союзе. 1921–1934 г.г. Нью-Йорк, 1979. 143 с.
29. Реймонд Б. Крупская и советское библиотечное дело. Нью-Йорк, 1979. 173 с.

30. Гунчак Т. Україна: перша половина XX ст. К., 1993. 212 с.
31. Хоген Марк. Проблеми сталінізму і переосмислення радянського минулого // Український історичний журнал. 1994. № 1. С. 98–101.
32. Белади Л., Краус Т. Сталин. М., 1989. 378 с.
33. Такер Р. Сталин. Путь к власти. М., 1991. 349 с.
34. Альбрехт А. Разве это социалистическое строительство. Мюнхен, 1980. 176 с.
35. Альбрехт А. Власть Сталина. Мюнхен, 1987. 144 с.
36. Пайпс Р. Российська революция. Нью-Йорк, 1990. 408 с.

References

1. Zaporozhecj A. (1947) Boljshevyzm. Buenos-Ajres, 96 s.
2. Andrijivsjkyj D. (1958) Rosijsjkyj kolonializm i Sovitsjka imperija. Paryzh, 123 s.
3. Mak O. (1954) Z chasiv jezhovshhyny, 84 s.
4. Pighido F. (1956) Ukrajina pid biljshovycjkoju okupacijeju. Mjunkhen, 143 s.
5. Zlochyny komunistychnoji Moskvy. Vydavnyctvo Prologh, 1960. 84 s.
6. Mazepynecj I. (1942) Pravda pro nashe mynule. Rivne, 69 s.
7. Nykolyshyn S. (1939) Kuljturna polityka biljshovykiv. Mjunkhen, 104 c.
8. Jaremenko S. (1984) Revutsjkyj V. Narysy z istoriji ukrajinsjkoji kuljtury. Edmon-ton, 183 s.
9. Antonovych D. (1940) Ukrajinsjka kuljtura. Zb. lekcij za red. Podebrady, 244 s.
10. Istorija ukrajinsjkoji kuljtury. Vinnipegh, 1953. 163 s.
11. Sciborsjkyj M. (1942) Stalinizm. Pragha, 84 s.
12. Solovej D. (1963) Ukrajinsjka nauka v kolonialjnykh putakh. Vydavnyctvo Prologh, 143 s.
13. Majstrenko I. (1979) Istorija kompartiji Ukrajiny. Suchasnistj, 184 s.
14. Majstrenko I. (1967) Storinky istoriji kompartiji Ukrajiny. ch. 1. Njju-Jork, 211 s.
15. Majstrenko I. (1969) Storinky istoriji kompartiji Ukrajiny, ch. 2. Mjunkhen, 184 s.
16. Majstrenko I. (1978) Nacionaljna polityka KPRS v istorychnomu rozvytku. Suchasnistj, 184 s.
17. Pasternak Je. (1979) Ukrajina pid biljshovykamy (1919-1939). Toronto, 249 s.
18. Solovej D. (1959) Ukrajina v systemi sovjetsjkogho kolonializmu. Mjunkhen, 143 s.
19. Prokop M. (1983) Ukrajina i ukrajinsjka polityka Moskvy. Suchasnistj, 154 s.
20. Lysenko L. (1960) Siljsjke ghospodarstvo Ukrajiny. Vydavnyctvo ZCh OUN, 169 s.
21. U pivstolittja radjansjkoji vlady. Persha ukrajinsjka drukarnja u Franciji. 1968. 123 s.
22. Pidghajnyj S. (1947) Ukrajinsjka intelighencija na Solovkakh. Vydavnyctvo Prologh, 89 s.
23. Dzjuba Ivan. Internacionalizm chy rusyfikacija. Suchasnistj. 202 s.
24. Koshelevecj I. (1972) Mykola Skrypnyk. Vydavnyctvo Suchasnistj, 173 s.
25. Konkvest R. (1993) Zhnyva skorboty. K., 378 s.
26. Konkvest R. (1993) Velykyj teror. K., 184 s.
27. Mejs D. (1990) Zacharovani kola idola, abo pro totalitaryzm i ghenocyd v istoriji Ukrajiny // Literaturna Ukrajina. 31. III.
28. Fitspatrik II. (1979) Obrazovanie i sotsial'naya mobil'nost' v Sovetskom Soyuze. 1921–1934 g.g. N'yu-York, 143 s.
29. Reymond B. (1979) Krupskaya i sovetskoe bibliotechnoe delo. N'yu-York, 173 s.
30. Ghunchak T. (1993) Ukrajina: persha polovyna KhKh st. K., 212 s.
31. Khoghen Mark (1994) Problemy stalinizmu i pereosmyslennja radjansjkogho mynulogho. Ukrajinsjkyj istorychnyj zhurnal. № 1. S. 98–101.
32. Beladi L., Kraus T. (1989) Stalin. M., 378 s.
33. Taker R. (1991) Stalin. Put' k vlasti. M., 349 s.
34. Al'brekht A. (1980) Razve eto sotsialisticheskoe stroitel'stvo. Myunkhen, 176 s.
35. Al'brekht A. (1987) Vlast' Stalina. Myunkhen, 144 s.
36. Payps R. (1990) Rossiys'ka revolyutsiya. N'yu-York, 408 s.

УДК 336.771.22:339.17 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.31

А. Д. ПЕТРАШЕВСЬКА
доктор економічних наук, професор,
професор кафедри менеджменту, фінансів і бізнес-технологій
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0000-0002-6199-1499

С. М. КОЛОНТАЙ
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри публічного управління
та менеджменту природоохоронної діяльності
Одеський державний екологічний університет
ORCID: 0000-0001-8699-7320

В. В. КУЛЬБАБА
студентка
Національний університет «Одеська політехніка»
ORCID: 0009-0001-7838-381X

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДІВ ЛІЗИНГУ, ЇХ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

У дослідженні наведено види лізингу, та надані їх переваги та недоліки. Розглядається та надається характеристика наступним видам лізингу: фінансовому лізингу, оперативному (операційному) лізингу, зворотному лізингу, міжнародному лізингу. Відзначається, що лізинг є важливим інструментом фінансування, який використовується в багатьох галузях бізнесу. У статті визначено, що лізинг дозволяє компаніям отримати доступ до необхідного обладнання, машин або технологій без значних початкових інвестицій.

Встановлено, що фінансовий лізинг дозволяє компаніям отримувати доступ до необхідного обладнання через фінансову угоду з лізинговою компанією. Перевагами цього виду лізингу є зниження початкових витрат, можливість підтримувати ліквідність і можливість модернізувати обладнання. Недоліком такого виду лізингових операцій є те, що фінансовий лізинг є довгостроковим зобов'язанням, при цьому існує обмеження на управління активом та відповідальності за його стан.

Визначено, що оперативний лізинг це договір, що дозволяє компаніям використовувати актив на умовах короткострокової оренди. У статті наведено переваги оперативного лізингу, такі як можливість швидкого оновлення обладнання, відсутність потреби утримувати актив на балансі компанії. Згадуються його недоліки, а саме договір є більш витратним та немає можливості викупу активу.

Окреслено, що зворотний лізинг є договором, перевагою якого є збільшення оборотних активів. Це дозволяє компанії розширюватись, при цьому користуючись активом, за допомогою лізингового договору. Головним недоліком зворотного лізингу є втрата права власності над активом.

Розглянуто та визначено, що міжнародний лізинг є видом лізингу, учасники якого перебувають під юрисдикцією різних держав. Головною його перевагою є доступ до передових технологій та обладнання. Одним з його недоліків є те, що він може бути дорожчим, ніж покупка активу.

Від фінансових можливостей та бізнес-потреб компанії залежить вид лізингу, який вона обирає. Знання переваг та недоліків кожного виду лізингу допоможе компаніям зробити обґрунтований вибір та використовувати лізингові послуги з максимальною вигодою.

Ключові слова: *лізинг, фінансовий лізинг, оперативний (операційний) лізинг, зворотний лізинг, міжнародний лізинг.*

A. D. PETRASHEVSKA
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor at the Department of Management,
Finance and Business Technologies
Odesa Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-6199-1499

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

V. V. KULBABA
Student
Odesa Polytechnic National University
ORCID: 0009-0001-7838-381X

CHARACTERISTICS OF LEASING TYPES, THEIR ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Types of leasing and their advantages and disadvantages are given in the study. The following types of leasing are considered and characterized: financial leasing, operational (operational) leasing, reverse leasing, international leasing. It is noted that leasing is an important financing tool used in many areas of business. Leasing allows companies to gain access to the necessary equipment, machinery or technology without a significant initial investment.

Financial leasing allows companies to access the necessary equipment through a financial agreement with a leasing company. The advantages of this type of leasing are the reduction of initial costs, the ability to maintain liquidity and the ability to modernize equipment. It also has disadvantages, such as being a long-term liability, limitations on asset management and responsibility for its condition.

An operating lease is described as an agreement that allows companies to use an asset on a short-term rental basis. The article describes the advantages of operational leasing, such as the ability to quickly update equipment, the absence of the need to keep an asset on the company's balance sheet. Its shortcomings are mentioned, namely, the contract is more expensive and there is no possibility of repurchase of the asset.

Leaseback is a contract, one of the advantages of which is an increase in current assets. This allows the company to expand while using the asset through a leasing agreement. The main disadvantage of reverse leasing is the loss of ownership of the asset.

International leasing is a type of leasing whose participants are under the jurisdiction of different states. Its main advantage is access to advanced technologies and equipment. One of its disadvantages is that it can be more expensive than buying an asset.

The type of leasing chosen by the company depends on its financial capabilities and business needs. Knowing the advantages and disadvantages of each type of leasing will help companies make informed choices and use leasing services with maximum benefit.

Key words: *leasing, financial leasing, operational (operational) leasing, reverse leasing, international leasing.*

Постановка проблеми

В умовах сучасного стану економіки держави та процесу адаптації підприємств до сучасних умов ведення бізнесу особлива увага приділяється пошуку альтернативних джерел фінансування виробництва. Одним із популярних засобів фінансування бізнесу є лізинг. У зв'язку з цим виникає проблема дослідження характеристик видів лізингу, їх переваг та недоліків.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вагомий внесок у дослідження видів лізингових операцій можно побачити у наукових працях таких авторів, як Корінєв В. Л. [1], Шишка Р. Б. [2], Амелін С. К. [3], Богданчук О. Л., Казакова Н. А. [4], Теодореску К. Д. [5] та інших. Водночас, з кожним роком лізинг стає більш поширеним, тому це питання залишається актуальним і потребує поглибленого вивчення.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є узагальнення та визначення видів лізингу, їх переваг та недоліків.

Викладення основного матеріалу дослідження

Згідно Закону України «Про лізинг», лізинг визначається як: лізинг – це підприємницька діяльність, яка спрямована на інвестування власних чи залучених фінансових коштів і полягає в наданні лізингодавцем у виключне користування на визначений строк лізингоодержувачу майна, що є власністю лізингодавця або набувається ним у власність за дорученням і погодженням з лізингоодержувачем у відповідного продавця майна, за умови сплати лізингоодержувачем періодичних лізингових платежів [6].

Тобто лізинг – це фінансова угода, в якій один суб'єкт (лізингодавець) надає іншому суб'єкту (лізингоодержувачу) право використовувати певний актив протягом періоду часу зазначеного в угоді в обмін на платежі.

Суб'єктами лізингу є:

– лізингодавець – суб'єкт лізингу, особа або компанія, банківська або небанківська фінансова установа, яка надає лізингові послуги, він «купує майно або право володіння і використання майна у зв'язку з лізинговою угодою» [3];

– лізингоодержувач – суб'єкт лізингу, особа або компанія яка отримує об'єкт лізингу за лізинговим договором;

– постачальник або продавець об'єкта лізингу – суб'єкт лізингу, який виготовляє об'єкт лізингового договору.

Об'єктом лізингу є майно або обладнання, яке надається лізингоодержувачу за лізинговим договором на певний період за плату. Об'єктом лізингу можуть бути транспортні засоби, виробниче обладнання, медичне обладнання, будівельна техніка, комп'ютери, інформаційні технології та інше.

У Цивільному кодексі України в статті 807 зазначено, що «не можуть бути предметом договору лізингу земельні ділянки та інші природні об'єкти, а також інші речі, встановлені законом» [7].

Існують наступні види лізингу: фінансовий лізинг, оперативний (операційний) лізинг, зворотний лізинг, міжнародний лізинг, розглянемо кожен з них детальніше.

Відповідно до Закону України «Про фінансовий лізинг», фінансовий лізинг – це вид правових відносин, за якими лізингодавець зобов'язується відповідно до договору фінансового лізингу на строк та за плату, визначені таким договором, передати лізингоодержувачу у володіння та користування як об'єкт фінансового лізингу майно, що належить лізингодавцю на праві власності та набуте ним без попередньої домовленості із лізингоодержувачем, або майно, спеціально придбане лізингодавцем у продавця (постачальника) відповідно до встановлених лізингоодержувачем специфікацій та умов, а також які передбачають при цьому додержання принаймні однієї з ознак (умов) фінансового лізингу [8].

Лізингові операції на фінансових ринках всесвіту здійснюють компанії різні по формі власності, характером контролю та сферою діяльності. При цьому в лізинговий угоді беруть участь більш ніж три суб'єкта: власник предмету лізингу, суб'єкт, який користується предметом лізингу та виробник об'єкту лізингу (постачальник). Взаємовідношення між цими суб'єктами представлено на рис. 1.

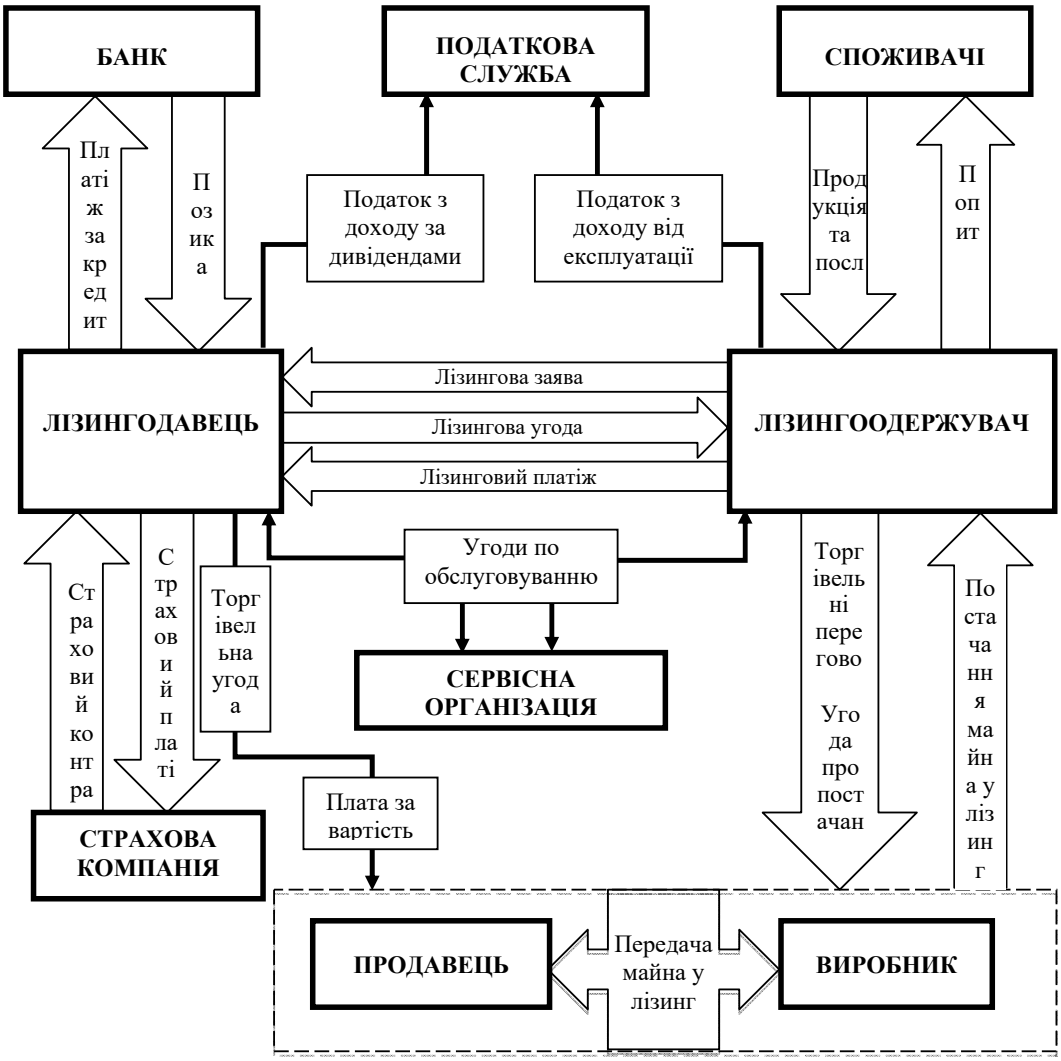


Рис. 1. Структура зв'язків при лізингу

Фінансовий лізинг – це лізинговий договір, через укладення якої лізингоодержувач отримує в користування від лізингодавця об'єкт лізингу за певну плату на термін, за який буде амортизовано 75 відсотків від вартості об'єкта лізингового договору, визначеної на день укладення договору. Після завершення терміну дії фінансового лізингу об'єкт лізингу переходить у власність лізингоодержувача або купується ним за залишковою вартістю.

Договір фінансового лізингу повинен відповідати принаймні одному з таких критеріїв:

«– товар передається орендарю після закінчення договору;

– лізингоодержувач має можливість придбати товар під час дії договору;

– фактична вартість платежів протягом контракту принаймні дорівнює 90 відсотків від ринкової вартості» [5].

До переваг фінансового лізингу можна віднести, що він дозволяє компаніям зменшити початкові витрати на придбання майна, і натомість повної оплати вартості вони сплачують лише місячні лізингові платежі. Він надає можливість компаніям модернізувати своє обладнання, без потреби придбання нового, тому що після закінчення лізингового періоду компанія може обрати нове обладнання.

Лізингова угода може створюватись під потреби та можливості компанії, включаючи додаткові умови оплати, період лізингу та можливість викупу майна після закінчення лізингового періоду. «Лізингоодержувач має право передавати майно, що є об'єктом лізингової операції, у сублізинг, тобто передавати у лізинг третім особам» [9]. Фінансовий лізинг сприятливий під час високої інфляції, бо лізингоодержувач зобов'язаний сплачувати фіксовану суму, навіть якщо вартість активу зростає.

Лізингоодержувач отримує податковий кредит з ПДВ на вартість об'єкта лізингу. Він буде сплачувати менший податок на прибуток, бо будуть враховуватися у витрати відсотки та комісії за лізинговим договором.

До недоліків фінансового лізингу можна віднести, що він є дорожчим у порівнянні зі звичайною купівлею або кредитом, тому що при лізинговій угоді сплачується вартість об'єкта, відсотки, амортизацію та комісійні. Фінансовий лізинг є довгостроковим зобов'язанням з боку лізингоодержувача, зазвичай на кілька років. Можуть бути обмеження на управління активом для лізингоодержувача. Якщо лізингоодержувач користується фінансовим лізингом, то він не володіє активом, але відповідає за його стан і обслуговування. У табл. 1 наведено порівняння купівлі та фінансового лізингу.

Оперативний (операційний) лізинг – це договір лізингу, в результаті укладення якого лізингоодержувач отримує в користування від лізингодавця об'єкт лізингу за певну плату на термін, за який буде амортизовано 90 відсотків від вартості об'єкта лізингового договору, визначеної на день укладення договору. Після закінчення цього періоду орендоване майно не стає власністю лізингоодержувача, а повертається лізинговій компанії.

«Найхарактернішою рисою оперативного лізингу є право лізингоодержувача (орендаря) на дострокове припинення контракту» [10]. Це дає можливість лізингоодержувачу замінити обладнання на нове, або якщо виробництво стало збитковим, то він може достроково повернути об'єкт лізингу, і за допомогою цього скоротити втрати.

Таблиця 1

Порівняння купівлі та фінансового лізингу

Купівля	Фінансовий лізинг
При купівлі обладнання вся сума сплачується одразу	Лізингоодержувач сплачує щомісячні платежі відповідно до договору
Право власності на обладнання.	Обладнання надається в користування на певний термін, але лізингоодержувач може його викупити за залишковою ціною після закінчення договору
Повне право на розпорядження та використання активу	Можете користуватися активом на умовах лізингового договору
Відповідаєте за обслуговування і ремонт активу	За ремонт і обслуговування активу може відповідати лізингодавець або лізингоодержувач, відповідно до умов договору
В разі потреби заміни обладнання на нове власник має шукати спосіб його продати	Можна замінити обладнання на нове після закінчення договору
Власник сплачує податок на майно	Лізингодавець сплачує податок на майно.

До переваг оперативного лізингу можна віднести те, що він дозволяє компанії уникнути великих початкових витрат, тому що активи не купуються, а тільки орендуються. Операційний лізинг із фіксованою відсотком це дешевше, ніж купівля обладнання на ринку. Компанії можуть оновлювати своє обладнання або технологію без повної купівлі активів. Строк договору може бути як довгостроково припинений, так і подовжений. Відсутня необхідність утримувати актив на балансі компанії, тому що він є власністю лізингодавця. Лізингоодержувач не зазнаватиме збитків через зниження вартості майна.

Операційний лізинг є вигідним для бізнесу, особливо для компаній, що тільки розвиваються, які мають обмеження в коштах та потребують обладнання, технологій. Він допомагає забезпечити роботу бізнесу за допомогою лізингових послуг обладнання або машин, фактично не володіючи правом власності на актив.

«При оперативному лізингу всі витрати на утримання об'єкта лізингу, крім витрат на його експлуатацію та поновлення використаних матеріалів, несе лізингодавець, якщо інше не передбачене договором лізингу» [11]. Лізингодавець відповідає за технічне обслуговування та ремонт активів.

До недоліків оперативного лізингу можна віднести те, що він коштує дорожче порівняно з фінансовим лізингом. Тривалість договору має бути визначена на початку. Оперативний лізинг не надає власність над обладнанням.

Лізингова угода може мати обмеження щодо часу використання, годин роботи, режиму експлуатації. В разі порушення цих обмежень в лізинговому договорі може бути вказано про неустойку, яку буде зобов'язаний виплатити лізингоодержувач. Лізингодавець повинен подбати про технічне обслуговування і страхування, тому лізингоодержувач стає залежним від виконання лізингодавцем своїх зобов'язань.

Існує ризик, що лізингоодержувач може пошкодити або знищити об'єкт лізингового договору. В такому випадку лізингоодержувач несе відповідальність за це. У Цивільному кодексі України стаття 809 зазначено, «якщо лізингодавець або продавець (постачальник) прострочили передання предмета договору лізингу лізингоодержувачу або лізингоодержувач прострочив повернення предмета договору лізингу лізингодавцю, ризик випадкового знищення або випадкового пошкодження несе сторона, яка прострочила» [7].

Відповідно до Податкового кодексу України статті 14, зворотний лізинг визначається як «операція, що здійснюється фізичною чи юридичною особою і передбачає продаж основних засобів фінансовій установі (лізингодавцю) з одночасним зворотним отриманням таких основних засобів такою фізичною чи юридичною особою (лізингоодержувачем) в оперативний лізинг (оренду) або фінансовий лізинг» [12].

Тобто зворотний лізинг – це договір лізингу, в рамках якого передбачено, що лізингодавець продає актив лізингоодержувачу за умови, що останній передасть актив назад лізингодавцю за допомогою лізингового договору. Через договір змінюється власник активу, але користувач залишається колишнім, він отримує у своє користування додаткові кошти для фінансування. Покупець активу буде кредитувати колишнього власника, отримавши, як заставу, право власності на актив. Такі договори зазвичай укладаються, коли фінансове становище компанії погіршилося, з метою його стабілізації.

«Схема реалізації угоди зворотного лізингу:

1) клієнт продає і лізингова компанія купує актив яке є власністю клієнта;

2) лізингова компанія отримує сплачує вартість майна клієнту, і право власності переходить до лізингової компанії;

3) лізингова компанія передає актив за лізинговою угодою назад клієнту» [4].

До переваг зворотного лізингу можна віднести те, що лізингодавець може уникнути витрат пов'язаних з активом, використовуючи його. Компанія стає більш ліквідною через продаж активу. З'являються вільні кошти, які можна інвестувати на розширення бізнесу. Можна уникнути заборгованості за допомогою цієї операції, збільшити оборотні активи. Зворотний лізинг можна використати для покращення балансу компанії.

До недоліків можна віднести те, що компанія не матиме вигоди від амортизації оскільки вони вже не є власниками майна. Продавець не отримає вигоду від підвищення вартості. Втрата активу та контролю над ним.

Міжнародний лізинг – це форма лізингу, за якої лізингодавець і лізингоодержувач, перебувають під юрисдикцією різних держав.

«Міжнародний лізинг буває: прямий експортний; прямий імпортний; транзитний (непрямий)» [13].

Прямий міжнародний лізинг – це договір лізингу, при якому операції будуть відбуватися між комерційними організаціями зі статусом юридичної особи з двох різних країн. Лізингодавець має можливість на отримання експортного кредиту у своїй країні, що буде сприяти розширенню ринку збуту його товарів та послуг. Лізингоодержувач за допомогою цього договору може забезпечити фінансування використання сучасних технологій, устаткування, обладнання, а також це сприятиме прискореному технічному оновленню виробництва.

Прямий експортний лізинг – це міжнародний лізинг, при якому лізингодавець купує об'єкт лізингу в національній компанії і надає її за лізинговим договором лізингоодержувачу, який перебуває під юрисдикцією іншої країни.

Прямий імпортний лізинг – це міжнародний лізинг, при якому лізингодавець купує об'єкт лізингового договору в іноземній компанії і надає його вітчизняному лізингоодержувачу.

Транзитний (непрямий) лізинг – це міжнародний лізинг, при якому лізингодавець, який знаходиться під юрисдикцією однієї країни, бере кредит чи купує необхідний актив в іншій країні і постачає його лізингоодержувачу, який перебуває під юрисдикцією третьої країни.

До переваг міжнародного лізингу можна віднести доступ до передових технологій та обладнання. Лізинг дає можливість компаніям розширювати свою діяльність за межами своєї країни без необхідності прямої інвестиції або придбання майна. Міжнародний лізинг може бути економічно вигідним для компаній, оскільки вони можуть отримати доступ до необхідного обладнання або технологій без значних початкових інвестицій.

Лізинг дозволяє компаніям швидко розширювати свою діяльність за кордоном, не розбираючись з труднощами, пов'язаними з володінням активами в новій країні. Він дозволяє компанії розширити свою діяльність за кордон, при цьому зменшити фінансові та юридичні ризики.

Міжнародний лізинг дозволяє компаніям зменшити податкове навантаження та оптимізувати грошові потоки. У деяких випадках лізингові платежі можуть бути віднесені до витрат, і це буде зменшувати податок на прибуток. Він є сприятливим для країни лізингоодержувача, за допомогою лізингу вона не витрачає час та ресурси на виготовлення обладнання, а одразу може його використовувати, що робить компанії більш конкурентоспроможними.

Лізингодавець бере на себе фінансові ризики, пов'язані з власністю на майно, а лізингоодержувач платить лише за користування. Компанії можуть визначати тривалість лізингу, розмір платежів та інші умови залежно від своїх потреб і фінансової ситуації.

До недоліків міжнародного лізингу можна віднести велику конкуренцію, відмінності в законодавстві учасників лізингового договору, різні системи розрахунків та оподаткування. У деяких випадках міжнародний лізинг може бути дорожчим, ніж покупка активу. При міжнародному лізингу до загальних витрат додаються митні платежі. Лізингодавці можуть стягувати високі проценти за використання свого обладнання. Виникає ризик валютних коливань. Перевезення та зберігання обладнання або товарів у міжнародному лізингу може бути проблематичним.

Висновки

Узагальнення вищевикладеного дає змогу зробити висновок, що врахування фінансових потреб, стратегії розвитку, термінів угоди та інших факторів може допомогти визначити, яка лізингова операція є вигідним рішенням для конкретного підприємства. Враховуючи недоліки та переваги зазначених лізингових операцій, підприємствам слід уважно розглядати всі аспекти лізингу перед прийняттям рішення, яке вплине на ефективність виробництва.

Список використаної літератури

1. Корінєв В. Л. Сутність та види лізингу для підприємства. Держава та регіони. Економіка та підприємництво. 2011. № 1. С. 108–112.

2. Шишка Р. Б., Микитюк М. С. Класифікація видів лізингу [Електронний ресурс]. 2015. Режим доступу: https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/46895.

3. Амелін С. К. Сутність фінансового лізингу. Наукові праці НДФІ. 2010. Вип. 3 (52). С. 131–139.

4. Kazakova N. A., Dun I. R. Analysis of leaseback transactions. Life Science Journal 2014, 11(12s).

5. Teodorescu C. D. The Leasing – Evolutions and Trends. Economic Insights – Trends and Challenges. Vol. III (LXVI) No. 2/2014.

6. Про Закон України «Про лізинг»: Лист Вищ. арбітр. суду України від 23.03.1998 р. № 01–8/104: станом на 2 жовт. 2001 р.

7. Цивільний кодекс України: Відомості Верховної Ради України. 2003. №№ 40-44: станом на 10 черв. 2023 р., с. 356.

8. Про фінансовий лізинг: Закон України від 04.02.2021 р. № 1201-IX : станом на 11 лют. 2022 р.

9. Богданчук О. Л. Порівняльна характеристика видів лізингу. Управління розвитком: зб. наук. пр. / Харк. нац. екон. ун-т ім. Семена Кузнеця. 2014, № 4. С. 41–44.

10. Воловець Я. В. Форми, види і типи лізингу. Фінансова діяльність суб'єктів господарювання. Алерта, 2005. 199 с.

11. Андрійчук В., Бауер Л. Види і форми лізингу. Менеджмент: прийняття рішень і ризик : навч. посібник. КНЕУ, 1998. 316 с.

12. Податковий кодекс України: Кодекс України від 02.12.2010 р. № 2755-VI: станом на 22 черв. 2023 р.

13. Мозговий О. М., Оболенська Т. Є., Мусієць Т. В. Міжнародний лізинг. Міжнародні фінанси: навч. посіб. КНЕУ, 2005. 557 с.

References

1. Korinev V. L. Essence and types of leasing for the enterprise. State and regions. Economy and entrepreneurship. 2011. No. 1. P. 108–112.

2. Shishka R.B., Mykytyuk M.S. Classification of types of leasing. 2015. [Electronic resource]. Access mode: https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/46895.

3. Amelin S. K. The essence of financial leasing. Scientific works of NDFI. 2010. Issue 3 (52). P. 131–139.

4. Kazakova N. A., Dun I. R. Analysis of leaseback transactions. Life Science Journal 2014, 11(12s).

5. Teodorescu C. D. The Leasing – Evolutions and Trends. Economic Insights – Trends and Challenges Vol. III (LXVI) No. 2/2014.

6. Civil Code of Ukraine: Information of the Verkhovna Rada of Ukraine. 2003. No. 40–44: as of June 10. 2023, p. 356.

7. On financial leasing: Law of Ukraine dated February 4, 2021 No. 1201-IX: as of February 11 2022

8. About the Law of Ukraine "On Leasing": Letter of the Supreme arbitrator. of the Court of Ukraine dated March 23, 1998. No. 01-8/104: as of October 2 2001.

9. Bohdanchuk O. L. Comparative characteristics of types of leasing. Development management: Coll. of science Ave. / Khark. national economy University named after Kuznets seeds. 2014, № 4. P. 41–44.

10. Volovets Ya. V. Forms, types and types of leasing. Financial activity of economic entities. Alert 2005. 199 p.

11. Andriychuk V., Bauer L. Types and forms of leasing. Management: decision making and risk. Education manual. KNEU, 1998. 316 p.

12. Tax Code of Ukraine: Code of Ukraine dated 02.12.2010. No. 2755-VI: as of June 22 2023.

13. Mozgovyi O. M., Obolenska T. E., Musiets T. V. International leasing. International finance. Education manual. KNEU, 2005. 557 p.

УДК 657 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.32

О. А. САРАПІНА
доктор економічних наук, професор,
професор кафедри фінансів, обліку та оподаткування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1468-420X

Н. Я. СТЕФАНОВИЧ
старший викладач кафедри фінансів, обліку та оподаткування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-3723-1799

Т. А. ПІНЧУК
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри фінансів, обліку та оподаткування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-9413-3549

Т. В. ШРАМ
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри фінансів, обліку та оподаткування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-7132-7287

АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ КОМУНАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА ПІДХОДИ ДО ЇХ КЛАСИФІКАЦІЇ

У статті досліджуються актуальні проблеми функціонування комунальних підприємств. Визначено, що у більшості міст та регіонів України спостерігається суттєве погіршення технічного стану основних фондів комунальних підприємств, погіршення якості послуг з одночасним підвищенням їхньої вартості, що веде до появлення складних проблем техногенного та соціального характеру.

Метою статті є оцінка діяльності комунальних підприємств територіальної громади м. Херсона та розробка підходів до класифікації комунальних підприємств.

Обґрунтовано, що комунальне підприємство – підприємство, яке діє на основі комунальної власності територіальної громади, або підприємство, у статутному капіталі якого частка комунальної власності територіальної громади становить 50 і більше відсотків. Проаналізовані тенденції змін чисельності комунальних підприємств по Україні та Херсонській області в період децентралізації. Виявлено, що комунальні підприємства становлять незначну частку в загальній кількості юридичних осіб України і їх кількість щорічно зростає. З'ясовано, що по Херсонській області частка комунальних підприємств в загальній кількості юридичних осіб майже в двічі перевищує аналогічний показник по Україні.

Проаналізовані фінансові результати діяльності комунальних підприємств Херсона і доведено, що більша їх кількість не здатна до самофінансування. Встановлено, що в умовах діджиталізації недостатнє оприлюднення даних щодо діяльності комунальних підприємств негативно впливає на загальну прозорість їх фінансового стану та в цілому місцевих фінансів.

Виділені правовий, економічний і фінансовий підходи до класифікації комунальних підприємств та виділені нові класифікаційні ознаки: розмір комунального підприємства; податковий та монопольний статус підприємства. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на дослідження особливостей організації та методики бухгалтерського обліку комунальних підприємств.

Ключові слова: *комунальні підприємства, фінансування, класифікація, правовий, економічний, фінансовий підхід.*

O. A. SARAPINA
Doctor of Economics Sciences, Professor,
Professor at the Department of Finance, Accounting and Taxation
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-1468-420X

N. YA. STEFANOVYCH
Senior Lecturer at the Department of Finance, Accounting and Taxation
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-3723-1799

T. A. PINCHUK
Candidate of Economics Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Finance, Accounting and Taxation
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-9413-3549

T. V. SHRAM
Candidate of Economics Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Finance, Accounting and Taxation
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-7132-7287

ANALYSIS OF THE ACTIVITIES OF UTILITY ENTERPRISES AND APPROACHES TO THEIR CLASSIFICATION

The article examines the actual problems of the functioning of communal enterprises. It was determined that in most cities and regions of Ukraine there is a significant deterioration in the technical condition of the fixed assets of communal enterprises, a deterioration in the quality of services with a simultaneous increase in their cost, which leads to the emergence of complex problems of an technogenic and social nature.

The purpose of the article is to assess the activity of communal enterprises of the territorial community of Kherson and to develop approaches to the classification of communal enterprises.

It is substantiated that a communal enterprise is an enterprise that operates on the basis of communal property of a territorial community, or an enterprise in the charter capital of which the share of communal property of a territorial community is 50 percent or more. The trends of changes in the number of communal enterprises in Ukraine and the Kherson region during the decentralization period are analyzed. It was found that utility companies make up a small share of the total number of legal entities in Ukraine and their number is growing every year. It was found that the share of utility enterprises in the total number of legal entities in the Kherson region is almost twice as high as the similar indicator in Ukraine.

The financial results of Kherson's communal enterprises were analyzed and it was proved that most of them are not capable of self-financing. It has been established that under the conditions of digitalization, the insufficient disclosure of data on the activities of utility companies has a negative impact on the overall transparency of their financial condition and local finances as a whole.

The legal, economic and financial approaches to the classification of utility companies are highlighted and new classification features are highlighted: the size of the utility company; tax and monopoly status of the enterprise. Further research should be aimed at studying the peculiarities of the organization and accounting methods of utility enterprises.

Key words: *communal enterprises, financing, classification, legal, economic, financial approach.*

Постановка проблеми

Сталий розвиток виробничої та соціальної сфери населених пунктів потребує наявності та ефективного функціонування відповідної інфраструктури, до яких, зокрема, відносяться підприємства комунального сектора міських господарств. Проте у більшості міст та регіонів України спостерігається суттєве погіршення технічного стану основних фондів комунальних підприємств, погіршення якості послуг з одночасним підвищенням їхньої вартості, що веде до появлення складних проблем техногенного та соціального характеру. Основною причиною такого становища стало делегування державою повноважень та відповідальності у сфері надання комунальних послуг на місцевий рівень, з одночасним майже повним припиненням фінансування. Місцеві ж громади виявилися неспроможними забезпечити потреби комунального сектору для виконання поточних функцій та, особливо, розвитку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Теоретичні і прикладні аспекти фінансування комунальних підприємств є об'єктами наукового інтересу багатьох українських науковців, зокрема Терещенка О.О. та Конєвої Т.А. [1], Коцюрби О.Ю. [2], Погорєлова В.С. [3], Багацької К.В. [4, 5], Загірняк Д.М., Глухової В.І. [6].

Питання функціонування комунальних підприємств досліджували Жулин О.В., Зеленюк-Джунь Л.В. [7], Килимник І.І. [8] та ін.

Аналіз та оцінку прозорості діяльності комунальних підприємств проводили Дідур С., Глухова В. [9] та ін.

Вченими зроблено вагомий внесок у дослідження діяльності і фінансування підприємств комунального господарства. Багацька К.В. з метою формування територіальними громадами політики фінансування комунальних підприємств пропонує класифікувати їх за суспільною роллю та значенням в життєзабезпеченні територіальної громади. Дослідниця поділяє комунальні підприємства на класи в залежності від виконання певних соціальних функцій (наприклад, пільговий проїзд, надання комунальних послуг за заниженими тарифами тощо) та суспільного значення (надання життєво необхідних послуг) [4].

Загірняк Д.М., Глухова В.І. [6] проаналізували діяльність підприємств комунальної власності, окреслили їх класифікацію, визначили та дослідили тенденції змін чисельності комунальних підприємств по Україні та по її областях, розглянули показники їх фінансового стану, джерела їх фінансового забезпечення; оцінили рівень державної підтримки даної галузі та внесок комунальних підприємств в доходну частину місцевих бюджетів.

Дідур С., Глухова В. [9] визначили ключові проблеми щодо прозорості та підзвітності підприємств комунальної форми власності та запропонували такі підходи до їх вирішення: забезпечення дотримання підзвітності, прозорості в діяльності комунальних підприємств та повне оприлюднення ними публічної інформації і відповідних даних; обов'язкове оприлюднення фінансових планів і звітів про їх виконання, з деталізацією джерел формування власних, залучених і позикових фінансових ресурсів комунальних підприємств; вдосконалення законодавчих та нормативно-правових актів, що регулюють діяльність комунальних підприємств, розробка стратегії їх розвитку.

Проте наразі відсутні ґрунтовні дослідження щодо класифікації комунальних підприємств для посилення контролю та аналізу результатів їх діяльності.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є оцінка діяльності комунальних підприємств територіальної громади м. Херсона та розробка підходів до класифікації комунальних підприємств для потреб контролю та аналізу їх діяльності.

Виклад основного матеріалу дослідження

Одне із найважливіших завдань будь-якого органу місцевого самоврядування полягає в забезпеченні комфортного проживання мешканців міста, раціональному використанні рухомого й нерухомого майна, земельних ділянок та інших ресурсів, що перебувають у комунальній власності.

Відповідно до ст. 1 Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні» право комунальної власності – це право територіальної громади володіти, доцільно, економно, ефективно користуватися і розпоряджатися на свій розсуд і в своїх інтересах майном, що належить їй, як безпосередньо, так і через органи місцевого самоврядування [10].

Комунальне підприємство – підприємство, що діє на основі комунальної власності територіальної громади, або підприємство, у статутному капіталі якого частка комунальної власності територіальної громади становить 50 і більше відсотків. Проаналізуємо тенденції змін чисельності комунальних підприємств по Україні та Херсонській області в період децентралізації (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка чисельності комунальних підприємств в Україні

Юридичні особи	2018	2019	2020	2021
Юридичні особи України, всього	1 235 024	1 298 435	1 350 627	1 395 448
Комунальні підприємства	11 640	12 842	13 883	14 174
Питома вага комунальних підприємств, %	0,94	0,99	1,03	1,02
Комунальні організації (установи) органів державної влади	61 782	60 508	59 103	58 887
Питома вага комунальних організацій, %	5,00	4,66	4,38	4,22
Абсолютний приріст (цепний): комунальних підприємств	х	1 202	1 041	291
комунальних організацій	х	-1 274	-1 405	-216
Юридичні особи Херсонської області	28 298	29 034	29 581	29 574
Комунальні підприємства	533	573	578	579
Питома вага комунальних підприємств, %	1,88	1,97	1,95	1,96
Комунальні організації (установи) органів державної влади	1 849	1 801	1 796	1 796
Питома вага комунальних організацій, %	6,53	6,20	6,07	6,07
Абсолютний приріст (цепний): комунальних підприємств Херсонської області	х	40	5	1
комунальних організацій Херсонської області	х	-48	-5	0

Джерело: складено за даними [11]

В Україні існує 14174 комунальних підприємств, кількість яких щороку збільшується, та 58887 комунальних організацій (установ) органів державної влади в Україні, що в 4 рази більше в порівнянні з підприємствами. Чисельність комунальних організацій (установ) органів державної влади щороку по Україні в цілому

і по Херсонській області скорочується, чисельність комунальних підприємств, навпаки, щорічно збільшується. Одною із причин цього є те, що в умовах реформування галузі охорони здоров'я до складу комунальних некомерційних підприємств стали відносити бюджетні установи охорони здоров'я.

По Херсонській області частка комунальних підприємств в загальній кількості юридичних осіб майже в двічі перевищує аналогічний показник по Україні і на 1 січня 2022 року становила 1,96%. Аналогічна ситуація спостерігається і по комунальним організаціям (установам) органів державної влади: по Херсонській області їх частка становить 6,1%, в той час як по Україні 4,2%.

Створення комунальних підприємств у великій кількості саме після виборів [7] підтверджує, що органи місцевого самоврядування мають на меті іноді не забезпечення добробуту громадян, а реалізацію корупційних інтересів чиновників.

Значна кількість комунальних підприємств, відсутність дієвого контролю з боку держави та занизька увага громадськості до питань формування і використання ресурсів комунальних підприємств перешкоджають ефективному моніторингу їхньої діяльності. Незважаючи на велику кількість комунальних підприємств, офіційна фінансова звітність багатьох із них не оприлюднюється на офіційних сайтах місцевих органів влади. В умовах діджиталізації недостатнє оприлюднення даних щодо діяльності комунальних підприємств негативно впливає на загальну прозорість їх фінансового стану та в цілому місцевих фінансів.

Станом на 1 жовтня 2021 року в Херсоні функціонувало 30 комунальних підприємств, з яких 13 здійснювало діяльність в сфері житлового та комунального господарства, 2 – надавали транспортні послуги, по одному комунальному підприємству – в сфері будівництва та ремонту доріг, послуг, інженерно-технічної діяльності, пов'язаної з будівництвом та розробкою містобудівної та проектної документації, надання в оренду нерухомого майна, з організації парків, в сфері спорту та відпочинку, культури; 8 комунальних підприємств надають послуги з охорони здоров'я [12].

На комунальних підприємствах Херсона працює близько 6630 осіб, що становить 14,1% загальної чисельності працюючих. За результатами аналізу діяльності комунальних підприємств середньомісячна заробітна плата працюючих станом на 01.10.2021 року становила 12058 грн., адмінперсоналу – 15075 грн., що на 3605 грн. більше середньої заробітної плати по Херсонській області.

Сукупний дохід комунальних підприємств, які здійснювали господарську діяльність, за дев'ять місяців 2021 року склав 1124,0 млн. грн. В Херсоні вісім комунальних підприємств мають статус неприбуткових. За досліджуваний період тільки 5 комунальних підприємств Херсона мають потенціал для самофінансування. 22,72% комунальних підприємств потенційно здатні забезпечувати свою діяльність за рахунок зароблених коштів. За січень – вересень 2021 року вони заробили чистого прибутку в сумі 21249,7 тис. грн. Левову частину у формуванні цього прибутку має міське комунальне підприємство «Виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства м. Херсона» – 20674,0 тис. грн. Решта підприємств є або низькорентабельними і дофінансовуються з міського бюджету, або є збитковими і повністю перекладають свої інвестиційні і поточні потреби на плечі міської влади. За січень-вересень 2021 року 12 комунальних підприємств Херсона (54,5% загальної кількості) отримали збиток сумарно 53336,9 тис. грн. Найбільший збиток понесли МКП «Херсонтеплоенерго», КП «Міське дорожнє управління» та ЖЕК №1 Суворовського району [12].

Оскільки для більшості комунальних комерційних підприємств характерна збитковість, тому фінансове забезпечення діяльності відбувається у значній мірі за рахунок фінансування з місцевих бюджетів. Існування за рахунок отримання ними бюджетної допомоги може спотворювати конкуренцію, а також нести в собі корупційні ризики. В 2021 році комунальні підприємства Херсона профінансовані на загальну суму 810,6 млн. грн., у т. ч. з міського бюджету виділено 213,3 млн. грн., з яких тільки 32,2 млн. грн. використано на фінансування комунальних некомерційних підприємств.

Головною причиною низької ефективності комунальних підприємств є тарифні обмеження та низька ділова активність (недостатній рівень доходів порівняно з ресурсами, задіяними для отримання такого доходу), невідповідність понесених витрат з можливими обсягами доходів, неефективне управління активами.

Для приватного підприємства це є сигналом до посилення контролю і оптимізації витрат, перегляду системи управління фінансами. Для керівництва комунальних підприємств погіршення фінансових результатів, як правило, не має жодних наслідків.

Відсутність реального впровадження реформи корпоративного управління на комунальних підприємствах пояснюється як небажанням зменшувати корупційні можливості, пов'язані з їх діяльністю, так і ризиком втрати оперативного контролю над суб'єктом, за діяльність якого влада несе політичну відповідальність.

Результативність аналізу діяльності комунальних підприємств певною мірою залежить від функцій і завдань, що покладені на ці підприємства, а також від їх суспільного значення в життєзабезпеченні міста чи громади. Відповідно, системне розділення комунальних підприємств на певні класи і групи допоможе місцевій владі здійснювати адекватну оцінку ефективності їх діяльності.

За словником іншомовних слів класифікація – це система розподілу предметів, явищ або понять на класи, групи тощо за спільними ознаками, властивостями. Основою класифікації є певний набір ознак, в яких зафіксовані властивості і відносини об'єктивно властиві системі, що досліджується.

В науковій літературі недостатня увага приділена питанню класифікації комунальних підприємств. Більшість науковців поділяють комунальні підприємства за видами діяльності, способами закріплення майна та способами утворення статутного капіталу. Багацька К.В. наголошує на виключну роль класифікації комунальних підприємств при обранні політики їх фінансування та пропонує класифікувати комунальні підприємства за способами отримання доходів, типами фінансування доходів та за способами участі у закупівлях [4, с. 77]. З метою підвищення ефективності управління комунальними підприємствами пропонуємо вдосконалити їх класифікацію шляхом розмежування за трьома підходами: правовим, економічним та фінансовим (табл. 2).

Таблиця 2

Класифікація комунальних підприємств

Ознака	Класифікаційні групи
Правовий підхід	
За способом закріплення майна	Комунальне комерційне підприємство (право господарського відання майном).
	Комунальне некомерційне підприємство (право оперативного управління майном).
За способом утворення статутного капіталу	Комунальне унітарне підприємство.
	Комунальне корпоративне підприємство.
Економічний підхід	
За призначенням	Соціальні об'єкти – заклади освіти та охорони здоров'я, житловий фонд, забезпечення населення комунальними послугами, інженерно-технічна інфраструктура міста.
	Комерційні об'єкти – підприємства комунальної власності, функціонування яких безпосередньо не пов'язано з виконанням певних соціальних функцій.
За видами діяльності	Житлово-комунальне господарство (обслуговування житлового фонду, санітарно-технічні підприємства, енергетичні підприємства, благоустрій). Ремонт і утримання доріг. Утримання зелених насаджень і зон відпочинку. Ритуальні послуги. Міський транспорт. Капітальне будівництво. Інформаційні послуги. Адміністративні послуги. Шкільне харчування. Організація торгівлі. Охорона здоров'я. Іміджеві.
За способом отримання доходів	Тарифні.
	Нетарифні.
За функціональним призначенням	Надання послуг.
	Виконання робіт.
	Управління комунальним майном.
За монопольним статусом	Комунальні підприємства, що здійснюють діяльність на ринку природних монополій, зокрема забір, очищення та постачання води, каналізація, відведення й очищення стічних вод, монтаж водопровідних мереж, систем опалення та кондиціонування.
	Комунальні підприємства на ринках соціальної сфери, зокрема загальна медична практика, діяльність лікарняних закладів, інша діяльність у сфері охорони здоров'я.
	Комунальні підприємства на конкурентних та потенційно конкурентних ринках, зокрема збирання відходів, діяльність із прибирання, надання в оренду й експлуатацію власного чи орендованого нерухомого майна, надання ландшафтних послуг, організування поховань і надання суміжних послуг.
За розмірами	Середнє комунальне підприємство.
	Мале комунальне підприємство.
	Мікропідприємство комунальне.
Фінансовий підхід	
За методом фінансування	Госпрозрахункові.
	Бюджетні.
За способом участі в публічних закупівлях	За типом організатора в публічних закупівлях: не є замовником у розумінні закону; замовники в окремих сферах господарювання; замовник (потреби територіальної громади).
	Учасники.
За типом формування капіталу	Повністю фінансуються з бюджету (більше 90%).
	Суттєво фінансуються з бюджету (від 50% до 90%).
	Частково фінансуються з бюджету (менше 50%, не періодично отримують кошти).
	Повністю фінансуються самостійно за рахунок внутрішніх джерел.
	Є «посередниками» при виконанні бюджетних програм.
За податковим статусом	Платники податку на прибуток.
	Неприбуткові організації.
За формами отримання коштів з місцевого бюджету	Для формування статутного капіталу.
	Як дохід від виконання замовлень виконавчих органів влади, виконання замовлень бюджетних установ і організацій.
	Як державна фінансова допомога (дотації, гранти, субсидії, податкові пільги, списання боргів, кредити на пільгових умовах).

Правовий підхід до класифікації комунальних підприємств спирається на концепцію права власності: права володіння та права управління майном. За економічним підходом основними ознаками класифікації є: за призначенням, видами діяльності, способом отримання доходів, функціональним призначенням. Доцільно виділити нові класифікаційні ознаки – за розміром та монопольним статусом комунального підприємства. Фінансовий підхід передбачає класифікацію за методом фінансування, способом участі в публічних закупівлях, типом формування капіталу, за формами отримання коштів з місцевого бюджету та податковим статусом комунального підприємства.

Висновки

Отже, комунальне господарство являє собою важливий багатогалузевий господарський комплекс, призначення якого полягає у наданні комунальних послуг населенню, бюджетним установам та комерційним підприємствам, що сприяють соціально-економічному розвитку і зміцненню безпеки держави. Від ефективного функціонування комунальних підприємств залежить рівень економічного розвитку регіонів та країни в цілому, оскільки їх діяльність пов'язана із забезпеченням життєдіяльності громад і територій.

За результатами проведеного дослідження та аналізу діяльності окремих комунальних підприємств м. Херсон визначено незадовільний фінансовий стан підприємств, їх збитковість, нестача прозорості в їхній діяльності. Відсутність дієвого контролю з боку держави та системних перетворень у сфері комунального господарства, наявність корупційних ризиків, небажання з боку місцевої влади ефективно використовувати їх фінансові ресурси не дозволяє досягти бажаного результату щодо створення фінансово спроможних та ефективно працюючих у ринкових умовах комунальних підприємств, які б надавали споживачам послуги необхідного рівня і якості.

Вважаємо, що вдосконалена класифікація комунальних підприємств шляхом розмежування за трьома підходами: правовим, економічним та фінансовим сприятиме підвищенню ефективності управління комунальними підприємствами. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на дослідження особливостей організації та методики бухгалтерського обліку комунальних підприємств.

Список використаної літератури

1. Терещенко О. О., Конєва Т. А. Формалізація критеріїв політики фінансування підприємства. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2020. № 3. С. 88–97. DOI: https://doi.org/10.32782/2520-2200/2020-3-33.

2. Коцюрба О. Ю. Інструменти фінансового забезпечення діяльності підприємств житлово-комунального господарства. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету*. 2017. № 31. С. 265–272.

3. Погорєлов В. С. Формування бюджетів територіальних громад в умовах фіскальної децентралізації : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.08. Київ, 2019. 22 с.

4. Багацька К. В. Класифікація комунальних підприємств як основа вибору політики їх фінансування. *Економіка та держава*. 2021. № 9. С. 74–79. URL: http://www.economy.in.ua/?op=1&z =5019&i=11 (дата звернення: 12.07.2023). DOI: 10.32702/2306-6806.2021.9.74.

5. Багацька К. В. За крок від банкрутства: Чому більшість комунальних підприємств неефективні і збиткові і як це можна змінити. *Економічна правда*. 2020. URL: https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2020/ 10/20/666444/ (дата звернення: 11.07.2023).

6. Загірняк Д. М., Глухова В. І., Кравченко Х. В. Діяльність комунальних підприємств і їх фінансове забезпечення в умовах децентралізації. *Ефективна економіка.* 2021. № 1. URL: http://www.economy. nayka.com.ua/?op=1&z=8528 (дата звернення: 11.07.2023). DOI: 10.32702/2307-2105-2021.1.12.

7. Жулин О. В., Зеленюк-Джунь Л. В. Управління фінансовими ресурсами комунальних підприємств і перспективи їх розвитку. *Бізнес-інформ*. 2020. № 7. URL: http://www.business-inform.net/export_pdf /businessinform-2020-7_0-pages-174_180.pdf (дата звернення: 11.07.2023). DOI: 10.32983/2222-4459-2020-7-174-180.

8. Килимник І. І. Практичні проблеми в галузі житлово-комунального господарства та шляхи їх вирішення. *Open Journal System*. 2015. № 1. С. 48–50.

9. Дідур С., Глухова В., Кравченко Х. Аналіз та оцінка прозорості діяльності комунальних підприємств в умовах децентралізації. *Економіка та суспільство.* 2021. № 24. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/212 (дата звернення: 10.07.2023). DOI: 10.32782/2524-0072/2021-24-39.

10. Про місцеве самоврядування в Україні: Закон України від 21.05.1997 р. № 280/97-ВР. Дата оновлення: 09.07.2023. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 12.07.2023).

11. Статистичний щорічник України за 2020 рік. URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb /11/Yearbook_2020.pdf (дата звернення: 10.07.2023).

12. Інформація про діяльність підприємств комунальної власності територіальної громади міста Херсона у січні-вересні 2021 року. URL: https://miskrada.kherson.ua/prozoryj-kherson/informatsiia-pro-diialnist-pidpryiemstv-komunalnoi-vlasnosti-terytorialnoi-hromady-mista-khersona-u-sichni-veresni-2021-roku/ (дата звернення: 10.07.2023).

References

1. Tereschenko, O. O., & Konieva, T. A. (2020). Formalization of enterprise financing policy criteria. *Problems of the systemic approach in economics*, *3*, 88-97. doi: https://doi.org/10.32782/2520-2200/2020-3-33

2. Kotsiurba, O. Yu. (2017). Instruments of financial support for the activities of housing and communal enterprises. *Scientific works of the Kirovohrad National Techical University*, 31, 265–271.

3. Pohoryelov, V. S. (2019). *Formation of budgets of territorial comm unities in the conditions of fiscal decentralization*. (Abstract of the diss. of the cand. of econ. scien.). Kyivskyi Vadym Hetman National University of Economics, Kyiv.

4. Bagatska, K. V. (2021). Classification of municipal utility companies as a basis for choosing their policy of financing. *Economy and the state*, 9, 74–79. doi: 10.32702/2306-6806.2021.9.74

5. Bahatska, K. V. (2020). One step away from bankruptcy: Why most utilities are inefficient and unprofitable and how to change it. *Economic truth.* Retrieved from https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2020/ 10/20/666444//

6. Zagirniak, D. M, Glukhova, V. I., & Kravchenko, H. V. (2021). Activities of communal enterprises and their financial support in conditions of decentralization. *Efficient economy*, 1. Retrieved from http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8528. doi: 10.32702/2307-2105-2021.1.12

7. Zhulyn, O. V., & Zelenyuk-Dzhun', L. V. (2020). Management of financial resources of utilities and prospects for their development. *Biznes-inform*, 7. Retrieved from http://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2020-7_0-pages-174_180.pdf. doi: 10.32983/2222-4459-2020-7-174-180

8. Kylymnyk, I. I. (2015). Practical problems in the field of housing and communal services and ways to solve them. *Open Journal System*, 1, 48–50.

9. Didur, S., Glukhova, V., & Kravchenko, K. (2021). Analysis and evaluation of transparency of activities of communal enterprisesin conditions of decentralization. *Economy and society*, 24. Retrieved from https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/212. doi: 10.32782/2524-0072/2021-24-39

10. About local self-government in Ukraine. 280/97-VR. (1997).

11. Statistical Yearbook of Ukraine for 2020. (2020). Retrieved from https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/11/Yearbook_2020.pdf

12. Information on the activities of communally owned enterprises of the territorial community of the city of Kherson in January-September 2021. (2021). Retrieved from https://miskrada.kherson.ua/prozoryj-kherson/informatsiia-pro-diialnist-pidpryiemstv-komunalnoi-vlasnosti-terytorialnoi-hromady-mista-khersona-u-sichni-veresni-2021-roku/

УДК 330.322:004 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.33

І. В. СТАНКЕВИЧ
доктор економічних наук, професор,
т.в.о. завідувача кафедри менеджменту і маркетингу
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ORCID: 0000-0003-3937-9145

Г. О. САКУН
кандидат філософських наук, доцент,
доцент кафедри менеджменту і маркетингу
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ORCID: 0000-0002-5878-7809

О. В. САКУН
аспірант кафедри менеджменту і маркетингу
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ORCID: 0009-0006-9282-0429

СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ ФЕНОМЕН «ВЕЛИКИХ ДАНИХ» В СТРАТЕГІЇ ЦИФРОВОГО МАРКЕТИНГУ

Стаття присвячена формуванню соціально-економічного феномену «великих даних» в стратегії цифрового маркетингу сучасних підприємств. Концепція «цифрової революції» визначає фундаментальні зміни, які відбулися в житті споживачів та в економічній реальності через зростаючу важливість інформаційних технологій, особливо інтернету, який змінив спосіб отримання й обробки інформації, спілкування один з одним та встановлення відносин, одночасно впливаючи на форму соціальної середовища споживача. Інтернет, соціальні мережі, мобільні додатки та інші технології цифрових комунікацій стали частиною повсякденного життя мільярдів людей у всьому світі. Організації відреагували на цю зміну у поведінці споживачів, зробивши цифрові технології важливим та невід'ємним компонентом своїх маркетингових стратегій. Соціально-економічний феномен «великих даних» охопив усі галузі та бізнес-функції. Самі «великі дані» стали важливим фактором виробництва поряд з працею та капіталом. У статті розглянуто концепцію інтернету речей, основні поняття, передумови виникнення та вплив інноваційних технологій на виробничі та соціальні сфери. Обґрунтоване значення цифрових технологій для сфери маркетингу, цінової політики підприємств та виробничої сфери загалом. Розглянуто питання застосування технологій Big Data у сучасній маркетинговій діяльності. Проаналізовано проблеми, обмеження та ризики їх застосування на практиці. Особливий акцент зроблений на на технологіях Smart Data як провідному напряму розвитку Big Data в сучасному цифровому маркетингу. Доведено, що цифровий маркетинг є найсучаснішою сферою маркетингу, що стрімко розвивається та з кожним днем підтверджує свою ефективність. А безліч каналів комунікацій, і навіть принципів, націлених на споживача, дозволяють підприємствам розширювати ринки збуту та знаходити свого лояльного споживача.

Ключові слова: *цифровий маркетинг, стратегія, інтернет речей, інноваційні технології, «великі дані».*

I. V. STANKEVYCH
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Temporary Acting Head of the Department of Management and Marketing
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture
ORCID: 0000-0003-3937-9145

H. O. SAKUN
Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Management and Marketing
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture
ORCID: 0000-0002-5878-7809

O. V. SAKUN
Postgraduate Student at the Department of Management and Marketing
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture
ORCID: 0009-0006-9282-0429

SOCIO-ECONOMIC PHENOMENON OF "BIG DATA" IN DIGITAL MARKETING STRATEGY

The article is devoted to the formation of the socio-economic phenomenon of "big data" in the digital marketing strategy of modern enterprises. The concept of the "digital revolution" defines the fundamental changes that have taken place in the lives of consumers and in economic reality due to the growing importance of information technologies, especially the Internet, which has changed the way of receiving and processing information, communicating with each other and establishing relationships, while influencing the form of the consumer's social environment . The Internet, social networks, mobile applications and other digital communication technologies have become part of the daily lives of billions of people around the world. Organizations have responded to this change in consumer behavior by making digital technologies an important and integral component of their marketing strategies. The socio-economic phenomenon of "big data" has permeated all industries and business functions. "Big data" itself has become an important factor of production along with labor and capital. The article examines the concept of the Internet of Things, the main concepts, the prerequisites for its emergence and the impact of innovative technologies on the industrial and social spheres. Reasonable value of digital technologies for the sphere of marketing, price policy of enterprises and production sphere in general. The question of the application of Big Data technologies in modern marketing activities is considered. The problems, limitations and risks of their application in practice are analyzed. Special emphasis is placed on Smart Data technologies as the leading direction of Big Data development in modern digital marketing. It has been proven that digital marketing is the most modern field of marketing that is rapidly developing and proving its effectiveness every day. And many communication channels, and even principles aimed at the consumer, allow enterprises to expand sales markets and find their loyal consumers.

Key words: *digital marketing, strategy, Internet of Things, innovative technologies, "Big Data".*

Постановка проблеми

У XXI столітті інформаційно-комунікаційні технології набувають величезного значення, але їх революційний розвиток призводить до суттєвих змін у багатьох сферах життєдіяльності суспільства. Бізнес-середовище не є винятком. Активне використання цифрових технологій вплинуло також і на ринки традиційних підприємств. Компанії опинилися в умовах інтенсивної глобальної конкуренції і тепер змушені адаптуватися до нових ринкових реалій. Тому для збереження своєї конкурентоспроможності у середньо- та довгостроковій перспективі необхідно враховувати та реалізовувати можливості цифровізації у всіх сферах та напрямах діяльності підприємств.

Ці зміни, спричинені цифровими інформаційно-комунікаційними технологіями, називаються цифровою трансформацією (цифровізацією). Часто поняття «цифровізація» та «інформатизація» використовуються як синоніми, проте вони не є тотожними, хоч і схожі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вперше термін "big data" був ужитий у журналі "Nature" у 2008 році редактором журналу К. Лінчем. Надалі тематикою цього феномену займалися С. Лор, М. Поспіха, Дж. Машей, Н. Бауман. Питання застосування концепції Big Data в різних галузях знань та у прикладних цілях удосконалення управління організаціями різного профілю маркетингової діяльності широко досліджуються сьогодні у всьому світі.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є обґрунтування сучасного бачення концепції інтернету речей, основних понять, передумов виникнення та впливу інноваційних технологій на виробничі та соціальні сфери життя; обґрунтовати значення цифрових технологій для сфери маркетингу, цінової політики підприємств та виробничої сфери загалом та розглянути питання застосування технологій Big Data у сучасній маркетинговій діяльності.

Викладення основного матеріалу дослідження

Під інформатизацією передусім розуміється впровадження інформаційних технологій у різні сфери суспільства з підвищення ефективності їх роботи. При цьому цифровізація може визначатися як вид інформатизації та передбачати перевтілення інформації у такий її вигляд. як цифрова інформація за допомогою нових цифрових технологій, рішень, процесів [1].

У ширшому визначенні цифровізація передбачає не лише оцифрування даних, а також запровадження нових принципів роботи, застосування сучасних технологій, враховуючи технології штучного інтелекту, доповненої реальності, блокчейн, інтернет речей та інші, які підвищують ефективність роботи компаній, організацій, інститутів та галузей, а також створюють людиноцентристську модель економіки [2].

Деякі дослідницькі організації спрогнозували майбутнє IoT та широке поширення його впливу. Так, компанія «Еріксон» прогнозує, що до кінця 2022 року з 28 млрд пристроїв, підключених до інтернету, близько 16 млрд будуть становити IoT-пристрої, а до 2025 р. кількість IoT-пристроїв буде перевищувати кількість мобільних телефонів [2].

Українські компанії все частіше стали використовувати у практиці своєї діяльності технології цифрового маркетингу. Швидка передача та обробка великих обсягів даних дозволяє виробнику приймати швидке та грамотне рішення щодо зміни асортименту.

В наш час використання цифрових каналів, таких як Інтернет, електронна пошта, мобільні телефони та цифрове телебачення, у маркетингу зросла, і маркетологи повинні розуміти, як користуватися ними для різних цілей.

Багато компаній використовують стратегію цифрового маркетингу для адаптації своєї компанії та успіху прийняття технологій залежить від уявної простоти використання.

Стратегія цифрового маркетингу наголошує на тому, що цифрові технології роблять маркетинг ефективнішим, оскільки вони дають можливість індивідуальної уваги, кращого управління кампаніями, кращого продукту, маркетингового дизайну й реалізації стратегічної мети.

Цифровий маркетинг – нове явище, яке дозволяє маркетологу прискорити двосторонню взаємодію, комунікацію своєчасний та актуальний, індивідуально налаштований сервіс і контент клієнтів. Цифровий маркетинг включає будь-яку форму онлайн маркетингових каналів через веб-сайт, блоги, соціальні мережі, електронну пошту, бази даних, мобільне та цифрове телебачення. Цей маркетинговий інструмент може допомогти маркетологу виміряти та знати, як їхні потенційні клієнти сприйняли товар. Інтернет-маркетинг знижує роль агентів, що дозволяє компаніям надавати переваги клієнтам. Крім того, будь-який відгук, який споживач висловлює в доброму чи поганому сенсі, приносить користь для користувача цієї інформації в межах розвитку та вдосконалення продукту. Тому багатьом компаніям доводиться інтегрувати цифровий маркетинг у свою маркетингову програму та бізнес щоб отримати конкурентні переваги [3].

Самі технології Big Data завжди включають як мінімум самі дані, їх аналітику та технології надання даних. Визначальні характеристики великих даних зазвичай описують за допомогою 3V (Volume, Velocity, Variety) – об’єм, швидкість, різноманіття. Однак, саме різноманіття найбільших даних та технологій роботи з ними дозволяє говорити ще про необхідність достовірності, життєздатності, цінності для бізнесу та осіб, які приймають рішення, мінливості та необхідності їх візуалізації (таблиця 1).

Таблиця 1

Ефекти використання технологій аналізу Big Data у виробництві [1]

Напрям використання	Сфера зусиль	Вплив на результати господарської діяльності	
		Мінімізація витрат	Зростання доходу
Дослідницька робота й розробка продукту	Інжиніринг, управління життєвим циклом	Зменшення витрат на 20–50%	Зростання прибутку на 30%
Управління ланцюгами поставок	Прогнозування та формування попиту, планування поставок	Скорочення оборотного капіталу на 3–7%	Зростання прибутку на 2–3%
Виробництво	Аналіз даних, віртуальне моделювання виробництва	Скорочення операційних витрат на 10–25%	Зростання доходу на 7%
Гарантійне обслуговування	Аналіз даних сенсорів, вмонтованих в продукти	Скорочення експлуатаційних витрат на 10–40%	Зростання об’єму виробництва на 10%

Значення великих даних для сучасного суспільства вже досить вивчена. Приклади використання даних у медицині та будівництві, безумовно, галузі інформатизації особливо вражають. У сучасних умовах відбувається сегментування самих технологій Big Data та їх галузева спеціалізація. Від окремих вдалих кейсів цей ринок переходить до розробки галузевих моделей збору, аналізу та використання великих даних. Інструментарій роботи може бути подібним, але різними стають межі застосування, форми організації та наслідки впровадження.

Маркетинг за своєю сутністю переходить від використання великих даних до трансформації маркетингових технологій під впливом великих даних. По-перше, виходить на перше місце аналітика, яка довгий час в маркетингу дорівнювала статистичним інструментам. По-друге, з’являються нові маркетингові технології на межі великих даних та конкретних маркетингових інструментів (змінюється мерчандайзинг, реалізація рекламних кампаній, управління відділом маркетингу) [1].

Компанії постійно шукають засоби подолання описаних вище проблем та розробляють власні стратегії роботи з величезними даними. Для подолання перешкод впровадження великих даних використовують: міждепартаментські співробітники групи, які об’єднують фахівців різних напрямків, здатних працювати з великими даними; проектні групи або стартапи, які пропонують інноваційні інструменти роботи з великими даними; демократизацію роботи з великими даними, тобто перехід від складних систем обробки до візуалізації; нові ролі та статуси в компаніях, тобто з’являються посади директорів з цифрових технологій або директорів з маркетингових технологій[5].

Активне використання Big Data в маркетингу дає компаніям низку переваг:

1. Створення найточнішого портрету цільового споживача.
2. Передбачення реакції споживачів на маркетингові «повідомлення» та пропозиції того чи іншого продукту.
3. Персоналізація рекламних повідомлень.
4. Оптимізація виробництва та стратегій розподілу.
5. Створення цифрового маркетингу та рекламних кампаній.

6. Збереження великої кількості клієнтів шляхом найменших витрат.

7. Отримання кращого ставлення до власного продукту підприємства в містах і т. п. [1].

Після цих переваг трансформується розуміння звичних маркетингових інструментів. Наприклад, комплекс маркетингу збагачується новими ідеями:

– просування: за рахунок аналізу даних маркетологи можуть створити точний портрет потенційного клієнта. Більше того, можна навіть спрогнозувати реакцію споживачів на рекламу.

– продукт: сучасні інструменти обробки даних можуть використовуватись для дослідження продуктів та ринку. Крім того, виробник може переглядати та аналізувати активність у digital-середовищі, що допомагає покращувати продукт згідно потреб та бажань клієнтів.

– місце: аналіз великих даних дозволяє визначити найефективніші канали розміщення реклами та самі товари. Зокрема, сьогодні вести продаж у деяких випадках вигідніше у режимі он-лайн.

– вартість: для коректного встановлення вартості можна проаналізувати дані постачальників, фінансові звіти, бізнес-моделі тощо. Якщо цільова аудиторія досить велика й різноманітна, можна використовувати кастомізоване ціноутворення [4].

Поява нових джерел даних та нових засобів аналізу відкриває перед маркетологами низку можливостей. Наприклад, розвиток ринку цифрових пристроїв для здоров'я та фітнесу дозволяє не тільки самому споживачеві аналізувати власні дані, а також маркетологам виміряти фізіологічну реакцію клієнта на рекламні оголошення, ціни, продукти тощо. Особливу увагу маркетинг приділяє сьогодні технологіям розпізнавання особистості, які дозволять точніше розуміти, які саме рекламні та маркетингові матеріали бачить і розуміє споживач, а також побудувати правильні параметри рекламних кампаній.

Розширення джерел даних вимагає від маркетологів якнайшвидшого переходу від питання «Де взяти дані?» до питання «Як їх обробити?». Більш важливим стає розуміння того, які дані варто збирати, які завдання ставити під час аналізу, як впроваджувати отримані дані. І поки йде освоєння технологій Big Data, більш прогресивні компанії починають освоювати ідеї Smart Data. Дані не обов'язково повинні бути більшими, вони мають стати розумними та корисними для бізнесу.

Така користь для бізнесу виникає не з самих даних, а з можливості компанії правильно впровадити збір, обробку та аналіз даних у свої бізнес-процеси. Важливо пам'ятати, що «коли справа доходить до KPI бізнесу, то тут результат перенесення чогось із одного місця в інше – збільшення прибутку або зменшення витрат — не таке очевидне. Але саме аналітика, заснована на даних із облікових систем, допомагає такі історії виявити і залатати діри в бізнес-процесах, будь то продаж, закупівля, виробництво чи клієнтська база» [2].

Прикладом розумного використання даних в маркетингу може стати географічний аналіз розташування магазинів або точок контактів із споживачами як самої компанії, так і її основних конкурентів. Якщо на такі геодані накласти дані про місця проживання або основного проведення часу споживачів, то можна помітити, як неохоплені поки що ніким місця для організації магазинів або точок контактів, так і оптимізувати розташування своїх торгівельних просторів. В такому випадку відбувається поєднання великих даних (місця проживання клієнтів) із сторонніх джерел (наприклад, дані про поверхню або вартість квадратного метра з баз забудовників) та малих даних самої компанії (адреси точок продажів або точок контактів зі споживачем). В такому разі великі дані перетворюються на розумні дані.

Висновки

Таким чином, завдяки активному розвитку цифрових технологій з кожним днем, керівники компаній повинні усвідомлювати, що маркетингові стратегії, прийняті ними у минулому, не працюватимуть у нинішніх умовах, тому їх слід адаптувати відповідно до поточних тенденцій цифровізації суспільства та всіх сфер діяльності підприємств.

Сьогодні цифровий маркетинг переживає фазу активного розвитку. Основним напрямком є медійна та контекстна реклама. Робота цифрового маркетингу здійснюється шляхом створення певних точок взаємодії на різних цифрових каналах з метою досягнення довгострокових відносин з потенційними клієнтами. Перебування компанії на різних цифрових каналах допомагає її клієнтам познайомитися з пропонованим продуктом чи послугою, що зрештою призводить до придбання.

На основі всього вищевикладеного можна зробити висновок про те, що цифровий маркетинг є сферою маркетингу, що стрімко розвивається та з кожним днем підтверджує свою ефективність. А безліч каналів комунікацій, і навіть принципів, направлених на споживача, дозволяють підприємству розширювати ринки збуту та знаходити свого покупця.

Список використаної літератури

1. Проскуріна Н. Штучний інтелект у маркетинговій діяльності. Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. 2020. № 4, С. 129–140.

2. Самойленко Л. Б. Можливості та проблеми застосування технологій Big data вітчизняними компаніями [Електронний ресурс]. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/1_2018/59.pdf.

3. Стеблюк Н.Ф., Копейкіна Є.В. Технології штучного інтелекту в маркетингу. Приазовський економічний вісник. 2019. Випуск 3(14), С. 462–466.

4. Кузьомко В.М., Репнікова І. П. Використання штучного інтелекту у цифровому маркетингу. Інфраструктура ринку. 2017. Випуск 13, С. 112–118.

5. Salkowitz Rob FROM BIG DATA TO SMART DATA: Using data to drive personalized brand experiences. Режим доступа: https://goo.gl/w22jEr.

References

1. Proskurina N. Artificial intelligence in marketing activity. Foreign trade: economy, finance, law. 2020. No. 4, pp. 129–140.

2. Samoilenko L. B. Possibilities and problems of using Big data technologies by domestic companies [Electronic resource]. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/1_2018/59.pdf.

3. Stebluk N.F., Kopeykina E.V. Artificial intelligence technologies in marketing. Pryazovsky Economic Bulletin. 2019. Issue 3(14), pp. 462–466.

4. Kuzyomko V.M., Repnikova I.P. Use of artificial intelligence in digital marketing. Market infrastructure. 2017. Issue 13, pp. 112–118.

5. Salkowitz Rob FROM BIG DATA TO SMART DATA: Using data to drive personalized brand experiences. Access mode: https://goo.gl/w22jEr.

ПУБЛІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

УДК 81’27+37 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.34

В. М. ДЕМЧЕНКО
кандидат філологічних наук, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-1841-7798

Н. М. КОВАЛЬСЬКА
кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-5758-8373

КОМУНІКАТИВНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ЯК МОВНО-ПСИХОЛОГІЧНЕ ЯВИЩЕ

У статті проаналізовано особливості комунікативного середовища з позицій соціолінгвістики та психології з урахуванням світового досвіду досліджень мовної ситуації та білінгвізму. З’ясовано, що види комунікативного середовища (побутове, територіальне, групове тощо) є й сферами використання певної мовної системи та системи моделей поведінки, які характеризують комунікантів. Тому визначається феномен комунікативного середовища зі своїми психологічними, етнічними, віковими, статусними, територіальними особливостями, які зумовлюють певний мовний вибір. Доведено, що з розвитком такого середовища відбувається уніфікація форм реалізації мови (горизонтальних і вертикальних) до однієї структури, якою визначено койне як комплекс загальноприйнятих мовних одиниць усіма мовцями, незважаючи на вікові, статеві, статусні й інші відмінності. Досліджено, що типологічно українська мова за визначеними атрибутами віднесена до одного типу з російською та білоруською, але типологічно схожа з польською та македонською. Визначено, що на території колишньої імперії білінгвізм виявлявся у стосунках «національна місцева мова (зокрема українська) – російська мова», і тому саме місцева мова потребувала реального захисту після деколонізації, щоб вийти на один функційний рівень із метрополійною російською. Така мовна ситуація визначається як гіперглосна, а двомовність є повною (для ідеального мовця) та неповною. Акцентовано на тому, що активний тип білінгвізму характеризує українців – носіїв національної мови як першої, а пасивний – носіїв її як другої. При цьому росіяни є переважно монолінгвами.

Зроблено висновок, що дослідження вибору мови в ситуації білінгвізму (саме зі спорідненими мовами) має непересічне значення для держави, адже від цього залежить не лише функційний та структурний розвиток української мови, а й становлення реальної державної незалежності.

Ключові слова: *комунікативне середовище, українська мова, російська мова, білінгвізм, національна ідентичність, мовна ситуація.*

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

N. M. KOVAL`SKA
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Public Administration
and Local Self-Government
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-5758-8373

COMMUNICATIVE ENVIRONMENT AS A LINGUISTIC AND PSYCHOLOGICAL PHENOMENON

The article analyzes the peculiarities of the communicative environment from the standpoint of sociolinguistics and psychology, taking into account the world experience of research into the language situation and bilingualism. It was found that the types of communicative environment (domestic, territorial, group, etc.) are also areas of use of a certain

language system and system of behavior models that characterize communicators. Therefore, the phenomenon of the communicative environment with its psychological, ethnic, age, status, territorial features, which determine a certain language choice, is determined. It has been proven that with the development of such an environment, the forms of language implementation (horizontal and vertical) are unified into one structure, which defines koine as a set of generally accepted language units by all speakers, regardless of age, sex, status and other differences. It has been investigated that typologically the Ukrainian language is classified according to certain attributes to the same type as Russian and Belarusian, but typologically similar to Polish and Macedonian. It was determined that in the territory of the former empire, bilingualism manifested itself in the relationship "national local language (in particular, Ukrainian) – Russian language", and therefore it was the local language that needed real protection after decolonization in order to reach the same functional level with metropolitan Russian. Such a language situation is defined as hyperglossal, and bilingualism is complete (for an ideal speaker) and incomplete. Emphasis is placed on the fact that the active type of bilingualism characterizes Ukrainians – speakers of the national language as the first, and the passive type – speakers of it as the second. At the same time, Russians are mainly monolingual.

It was concluded that the study of language choice in the situation of bilingualism (especially with related languages) is of great importance for the state, because not only the functional and structural development of the Ukrainian language depends on it, but also the establishment of real state independence.

Key words: *communicative environment, Ukrainian language, Russian language, bilingualism, national identity, language situation.*

Постановка проблеми

У нашому сьогоденні закладено різноманітні виклики не лише демократичному суспільству, але й взагалі існуванню людства. Виклики ці виходять від імперських сил, які прагнуть реваншу за свої поразки, прагнуть якогось великого розділу території Землі, де вони будуть володарювати багатьма народами, граючи роль узурпаторів, диктаторів, сатрапів і мріючи про один великий слухняний народ, який буде готовий на все заради свого владики. Звісно, є засоби протистояння цьому лихові, один із яких – етнічна ідентичність, що передбачає особливу ментальність, яка відрізняє кожен окремий народ від інших, а отже – гордість за свою історію, культуру, мову, традиції та героїв. Саме тому феномен ідентичності потребує як наукових досліджень, так і підтримки від держави, яка цю ідентичність оберігає. Важливим у цій площині є вибір членом соціуму мови широкого (повсякденного) спілкування, адже в такому разі мова стає офіційною, а в умовах державності – державною, і таким чином є ніби духовною основою цієї держави, її головним – фактичним – репрезентантом.

У сфері науки питання вибору мови вивчається соціолінгвістикою та психологією (зокрема етнічною), адже цей вибір залежить як від соціальних чинників, так і психологічних. До цього додається функційний і структурний рівні самої етнічної (національної) мови, перший із яких у зовнішньому вимірі свідчить про здорове буття мови (на всіх рівнях спілкування – у родині, у побуті, на навчанні, на роботі, в управлінні та культурі), а другий – у внутрішньому вимірі – про саму мову (її структурний розвиток, пристосованість до мінливого світу, контакти з іншими мовами тощо). Такому розвитку може завадити лише інша мова – більш впливова та імперативно підкріплювана. Це реалізується в умовах імперії, коли метрополійна мова впливає та пригнічує мови окремих етносів, які входять у склад такої держави. У такому разі функційний рівень «підвладної» мови невпинно звужується, реалізуючись лише в побуті, а структурний – примітивізується (лише для побутового рівня). Результатом такого звуження та примітивізування може бути лише один – асиміляція етносу – носія цієї мови.

Українська наука вивчає шляхи запобігання такій ситуації (розвиток мови, психологічна підтримка комунікативного середовища, пропаганда державності), а влада на законодавчому рівні створює для державної мови гідні умови функційного розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відповідно до предмета нашого дослідження – аналітичних особливостей комунікативного середовища з позицій соціолінгвістики та психології, відзначимо внесок українських учених у цій науковій сфері. Так, мовознавці розглядали питання як національної психології (зокрема В. Русанівський – мовно-образний простір української ментальності [1]), генетичної закодованості в освітній площині з урахуванням ментальних особливостей українських учнів при виборі ними мови в ситуації спілкування (Г. Печерна [2]), історичних передумов мовної ситуації в Україні як комплексу, що сформував сучасні проблеми (Ю. Карпенко [3]), так і конкретно виклики національній ідентичності, зумовлені історично складеною двомовністю (зокрема Ю. Саплін – про чинники білінгвістичної взаємодії на лексичному рівні [4]), та питання мовної політики держави із залученням компаративістського аналізу європейського досвіду (Ю. Жлуктенко [5]). Долучилися до цих досліджень і ми, проаналізувавши історичний розвиток мовного середовища на Півдні України (В. Демченко [6]).

Формулювання мети дослідження

Зважаючи на наведену вище актуальність поставленої проблеми, метою цієї статті визначаємо аналіз особливостей комунікативного середовища з позицій соціолінгвістики та психології, ґрунтуючись на світовому досвіді досліджень мовної ситуації та білінгвізму.

Викладення основного матеріалу дослідження

Якщо розглядати основний інструмент спілкування – мову (як систему), то бачимо, що вона існує в реальному середовищі, яке передбачає і колектив її носіїв, і певні умови її функціонування. Тобто функційним середовищем мовної системи є людська спільнота (інакше – група комунікантів), у межах якої реалізується спілкування як психологічний процес. Ця психологічність виявляється у внутрішніх зв'язках таких груп, які характеризуються або демографічно-етнічними ознаками, або соціальними, через що наукою визначаються певні види комунікативного середовища – сімейно-побутове, територіальне, соціально-групове [6]. Із соціолінгвістичного боку, другому відповідає діалектна (горизонтальна) мовна система, а першому та другому – вертикальна, певною мірою жаргонна, і взагалі їх характеризує тимчасовість, адже мова функціонує тут відповідно до певного часового проміжку – батьківська сім'я, дитячий садочок, школа, виш, виробництво тощо, і лише власна сім'я стає середовищем більшого часового проміжку (за умови її сталості). Звісно, територіальна мовна система зі своїми комунікаційними функційними зв'язками є найбільш сталою в часі, а тому складає основу будь-якої національної мови.

Види комунікативного середовища можна називати й умовами чи сферами використання певної мови, серед яких наявні й довші за часовим вектором (національна, загальнолюдська), і коротші (сфери медіа, ділової комунікації, ситуативні). Однак головним є те, що мовну систему розглядаємо як систему моделей поведінки, що характеризують окремі групи комунікантів (адже успадковуються через культуру). Тому в цьому розумінні використовуються вже поняття «мова-код» і «етнос», де форма коду співвідноситься із соціальними перемінними, і мовний вибір корелює з особливостями вже розвитку нації, суспільства й навіть держави загалом [2]. Мова-код при цьому фіксується на рівні менталітету – психологічної закодованості певного етносу, а той є природним явищем, що передбачає об'єктивні передумови свого існування, куди сторонньому впливу втрутитися дуже важко (хіба що в разі тривалої асиміляторської політики імперії, що реалізується крайніми методами аж до геноциду).

Схематично функціювання мови передбачає існування власне її самої, а в її межах – окремих систем, і тому поняття мови дефінується як «система систем» або «система підсистем», що узагальнюються зрештою в зовнішній та внутрішній конгломерати, які взаємодіють між собою, визначаючи вплив соціуму на формування стану мови, та організовують певну загальну мовну систему. Наявність цих кореляцій доводить, що мовне варіювання не є вільним за характером, а співвідноситься із соціальними відмінностями [5]. Саме тому ми й визначаємо феномен комунікативного середовища зі своїми психологічними, етнічними, віковими, статусними, територіальними особливостями, які кожна по собі та всі разом зумовлюють певний мовний вибір. Із такої кореляції й постає соціолінгвістика як наука, а також і психолінгвістика, що суміщає особливості психологічного вибору (мовних змін) під впливом певних ситуативних або сталих чинників.

Отже, традиційно світова лінгвістика за допомогою синхронічних і діахронічних досліджень вивчає різноманітні факти впливу соціальних і психологічних чинників на розвиток мови, тобто випадки сумісного варіювання мовних і соціальних (психологічних) структур. Дослідження комунікативних ситуацій виявляють відповідні особливості використання мовних форм або індивідом, або групою індивідів (у тому розрізі, про який ішлося вище – сімейному, територіальному, виробничому тощо). У першому разі об'єктом стає ідіолект, у другому – соціолект, але при тому наявна їх взаємозумовленість, адже саме особливості ідіолектів групуються для визначення різноманітних чинників формування соціолекту [3].

Навіть коли говоримо про мовну ситуацію чи інтеракцію, вирішальним чинником є особливості комунікативної компетенції кожного окремого мовця. Слід зазначити, що існує кілька термінів на позначення мовної компетенції індивідуума – «набір готовностей», «репертуар мовця», «мовна потенція», які загалом називають мовний запас, матеріальну підготовку носія певної мови, що реалізується у відповідних умовах комунікації. Тобто в кореляціях із соціальними / психологічними чинниками. При цьому володіння різними формами мови одночасно – рівною мірою – є ідеалізованим варіантом (на наш час і в нашому суспільстві ситуація, за якої мовець володіє та активно спілкується двома-трьома мовами та кількома соціальними діалектами, не властива більшості комунікантів). Також зауважимо, що соціальні (вертикальні) діалекти як окремі функційні системи вже не мають чітких регулярних мовних рис (хіба що сленг окремих фахових груп, скажімо комп'ютерників, що виявляє чималу кількість мінливої лексики іноземного походження та місцевих квазіформ, але все одно ця система занадто мінлива в часі). Тобто відбувається помітна уніфікація мовних функційних форм – як горизонтальних, так і вертикальних – до однієї структури (але не на користь літературної форми) [5].

Така уніфікація доводить, що відбувається розвиток комунікаційного середовища, адже ще півстоліття тому досліджувалися різноманітні соціальні діалекти («мова сім'ї», «мова школярів», «мова робітників», «мова ринку» тощо або мовні стосунки на кшалт «батько-дитина», «керівник-підлеглий»), діалектологія переживала помітне піднесення, поповнюючи кожного року базу даних Національної академії наук України мовним матеріалом, забраним у різних регіонах країни, а також складеними картами з ізоглосами. І ось уже констатуємо, що й діалектні страти доволі швидко узагальнилися, сформувавши надрегіональне койне, яке зрозуміле всім українцям незважаючи на їх територіальний, віковий чи освітній рівень [4]. Ще можна виокремити якісь форми, властиві місту й селу, але все одно це здебільшого спільна форма, зокрема на лексичному рівні, що залишає

певні відмінності на фонетичному (хоча навряд чи мовлення закарпатця вже стане загадкою для східняка, як було ще півстоліття тому).

Після означених уніфікацій залишається незмінним літературний страт, але відповідно до розвитку суспільства, політичної форми держави та інших перемінних чинників він також зазнає змін, поповнюючись новою лексикою, що часто приходить туди з діалектного чи й сленгового масивів, а також позбавляючись старих одиниць, не актуальних у нових умовах. Із психологічного боку, для мовця важливо розвиватися разом із комунікаційною системою і не залишитись на периферії суспільної комунікації. Саме тому людина похилого віку, яка має досконалий і сучасний мовленнєвий репертуар, не відчуває своєї відірваності від суспільства. До цього репертуару поряд із літературним стратом обов'язково входять одиниці вищезазначеного наддіалектного койне та, можливо, й вертикального страту – того ж таки молодіжного сленгу. У цих умовах переключення з одного комунікативного коду на інший відбувається або в ситуації білінгвізму (двомовності), або, меншою мірою, – у ситуаціях стильової варіативності. Останнє – прерогатива не обов'язково людей освічених, але осіб із високою мовною культурою. Такі мовці навіть із формально нижчим освітнім рівнем можуть володіти вищою формою мови, на що впливають етнопсихологічні та генетичні чинники.

Стильова варіативність у свою чергу має три різновиди: 1) діалект і розмовно-побутова регіональна мова (причому друга субстанція може бути похідною від першої, але вони обидві зумовлені географічними ознаками – територіальним походженням мовця); 2) соціолект (зумовлений соціальним станом – статусом мовця), що може диференціюватись у свою чергу за різноманітними професійними різновидами; 3) стилістичний рівень і функціональний стиль, що передбачають різні комунікативні ситуації, функції мовлення, але залежать від рівня мовної компетенції індивідуума, який, як уже зазначалось, не завжди залежить від освітнього рівня [4].

При цьому зауважимо, що варіативність спостерігається як у мовній системі, так і в соціальній. Так, у часи перебільшеної уваги до соціального (класового) розмежування суспільства, науковці й виокремлювали численні мовні варіативні страти, визначаючи серед них «низькі» (діалект як мова нижніх прошарків) та «високі» (літературна форма як мова «панівних» класів). Звісно, високою декларувалася саме російська мова як мова імперської метрополії, а низькою – та ж українська. Аналогічно в Іспанії та Франції, де статус діалектів мали національні кодифіковані мови – галісійська, каталонська, провансальська, баскська та інші. Такі коди й сьогодні психологічно усвідомлюються їх носіями – галісійцями, каталонцями, провансальцями, басками – як національні мови, що доводить тезу щодо «невмирущості» етносу, доки існує його мовний код.

Принагідно слід зазначити про такий цікавий факт, який ми вже відзначали раніше [6], що нечасто колоністами були представники метрополії – носії високої культури й, відповідно, мови (наприклад, під час колонізації Південної Америки португальцями та іспанцями або під час заселення Південної України росіянами). Але при тому ці особи формально становили вищий соціальний страт серед тубільної більшості, а їх культура (мова) – відповідно еталон метрополійної мови. Можемо лише уявити росіянина – колишнього красноармійця чи актуального чекіста, який зайняв посаду керівника певної структури десь на Волині. Його мовлення, переповнене одиницями революційної новомови та матизмами, було повною мірою чужим для місцевих українців, які до цього російської мови взагалі не чули. Звісно, з такої мови може сформуватися через кілька поколінь аборигенів новий код – місцевий варіант метрополійної мови (на кшалт американської англійської, фінської шведської, аргентинської іспанської тощо).

Отже, ситуація в умовах диглосії (вибір із-поміж наявних у комунікаційному репертуарі кодів), коли можливі суттєві мовні зміни (слово може перейти з жаргонного в літературне, з літературного в архаїчне), на сьогодні втрачає свою актуальність, і система реалізаційних форм звузилася до надрегіонального койне. Цей термін позначає комплекс елементів літературної мови, територіальних діалектів, просторіччя та, можливо, й іншої мови (компонента білінгвістичної опозиції з мовою етнічної більшості певної території). Воно й саме є опозиціонером до іншої мови, яка в такому разі становить регіональний варіант метрополійної, адже перебуває на території кількісного домінування місцевої мови (байдуже в якій формі – діалектній, койне чи літературній) [5]. Зауважимо, що койне – природний та органічний різновид мови, який має в основі не лише мішані мовні страти, але й діалектні елементи, вік яких налічує до тисячі років, а літературна форма, як би ми того не бажали, є неорганічною, на відміну від органічних говорів села, місць компактного проживання етносу. Проте жодна мова в світі функційно не реалізується в літературній формі.

Для порівняння мов-кодів учені виробили кілька атрибутів, які висвітлюють певні їх типологічні характеристики: атрибут стандартизації враховує наявність норм, що прийняті колективом мовців – носіїв відповідної мови; атрибут життєвості передбачає саму наявність такого колективу; атрибут історичності враховує, чи розвивається мова в процесі її використання; атрибут гомогенності визначає факт походження відповідної мови від прамови, ураховуючи ступінь її автономності; атрибут редукованості передбачає порівняння обсягу використання споріднених мовами структурних одиниць; атрибут змішання визначає наявність елементів і структур, що не виводяться з прамови [6]. Для української мови це віднесення її до одного типу соціуму з російською та білоруською; типологічна схожість із польською; типологічна близькість із македонською; віднесення до молодих стандартних

разом зі словацькою, білоруською, македонською. Також в оцінюванні функційного статусу мови використовуються такі параметри, як тип мови (стандартна, креольська); статус (органічна, сумісна, стримувана, заборонена); процент її носіїв (за умовними рангами); її функції (зовнішньої комунікації, внутрішньої; мова освіти на всіх етапах; богослужбова).

Зі зміною офіційного статусу деяких мов у Європі на початку XXI століття сформувалася складна й неоднозначна ситуація, через що потрібно проаналізувати білінгвістичну ситуацію в межах існування комунікативного середовища. Головним чином ми говоримо про слов'янські країни, що отримали незалежність, а їхні етнічні мови стали державними. Проте найбільш складними є ситуації, де історично наявний білінгвізм. Так, на території колишнього СРСР у нових країнах такими є стосунки «національна місцева мова – російська мова», у яких місцеві мови потребують реального захисту, щоб вийти на один функційний рівень із російською, що від метрополійного статусу мала чимало преференцій у часи двох імперій – російської та радянської [4]. Отже, сучасній мовній ситуації найбільш властивий білінгвізм – двомовність, одним із компонентів якої обов'язково є російська мова, що стала вже рідною для кількох поколінь представників місцевого етносу.

У такому білінгвістичному протистоянні наука описує певні мовні ситуації та їх результати, що фіксуються у відповідних термінах. Ситуації: екзоглосна – опозиція літературної мови, що домінує, та місцевої з низьким статусом (мовна ситуація в умовах означених вище імперій, де місцеві були пригноблені як на функційному рівні, так і на психологічному); ендоглосна – опозиція літературної мови з її соціальними діалектами (ідеальний варіант, скажімо в Угорщині); гіпоглосна ситуація – опозиція літературної мови з мовою заробітчан (також певним чином ідеальна, скажімо в Португалії); гіперглосний – опозиція літературної мови з іншою – більш впливовою (найнебезпечніший варіант через невизначеність ступеня такої впливовості). Результати: 1) мова-переможець стає загальною мовою нової спільноти, а переможена зникає (в Римській імперії – доля Галії, Іберії, Дакії); 2) декілька мов уживаються разом (балто-слов'янський ареал); 3) контакт двох мов призводить до схрещення (англійська з французькою, сербська та хорватська).

Якщо аналізувати за такими параметрами мовну ситуацію на території колишнього СРСР, то вона буде гіперглосною, а стосунки між компонентами національно-російського білінгвізму мають ознаки всіх трьох результативних типів. Російська мова в результаті централізаційної політики Російської імперії та СРСР є мовою-переможницею, загальною мовою нової спільноти – «радянського народу»; деякі переможені мови майже зникли (Далекий Схід, Північ Росії, Білорусь), а деякі мали до цього тенденцію (зокрема й українська). Причому цей тип результату майже повністю реалізований у міських умовах. Проте часом і кілька мов уживаються разом (українська з російською, румунська з російською, румунська з українською тощо), але функціональна навантаженість їх суттєво відрізняється: у місцях компактного проживання певної національності – на користь мови цієї національності, у місті – на користь російської мови, у сільських умовах – на користь мови основного етносу в регіоні чи країні. У будь-якому разі через вплив російської мови відбувається культурна асиміляція носія місцевої мови. Якщо держави, що були сателітами СРСР (Польща, Болгарія, Угорщина тощо), вийшли з найменшими втратами із ситуації взаємодії з російською мовою, то в колишніх республіках Союзу саме негативні особливості національно-російського білінгвізму є однією з найсуттєвіших перешкод до формування національної ідентичності.

Потрібно зазначити й типи білінгвізму, що відбивають принципові особливості протиставлення його компонентів: за змішаного білінгвізму дві мови зливаються в одну систему, за координованого існують дві мовні системи. У такому разі білінгв має в репертуарі окремі мовні системи, з яких вибирає відповідні засоби спілкування. Із психологічного боку, змішаний різновид передбачає відповідність у свідомості мовця одного поняття двом термінам, що дозволяє легко переходити з однієї мови на іншу. Аналогічне розмежування наявне й у іншій парі: повний (два коди як ізольовані системи), неповний (реалізація мовлення одним із компонентів). За ступенем володіння мовами розрізняється нормативний білінгвізм (мовець дотримується норми в обох мовах) і ненормативний (функційно друга мова реалізується з порушеннями) [4]. Тут, щоправда, є цікавий момент щодо самовизначення мовцем свого досконалого володіння такою нормою, адже йому часом лише здається, що він досконало нею володіє. За характером використання таких мов – цільовий та побутовий, або частковий та відносний (уміння володіти лише в окремих сферах спілкування). Тобто це потенційна чи реальна двомовність (неактивне спілкування другою мовою та активне її використання). Також відзначаються й інші параметри для характеристики білінгвізму – індивідуальний, масовий, регіональний, національний. Також коли двомовність властива всім соціально-етнічним групам, вона повна, коли ж дві мови використовуються окремими групами мовців – часткова.

Означені типи білінгвізму, що характеризують мовну ситуацію та умови контактування двох мов-складових, можна спростити на активний і пасивний, де перший різновид передбачає реальне розрізнення мовних кодів, ситуативне перемикання, мовну, культурну інтерференцію та запозичення іншомовних слів. У свою чергу пасивний тип на відміну від такого інтелектуального набору, властивого особі з високим рівнем спілкування, характеризує зворотне явище. Наприклад, російсько-національний різновид двомовності, що є пасивним порівняно з національно-російським, викликає найбільше негативних емоцій – через низький рівень не лише володіння носіями російської мови як першої мовою корінної національності, але й узагалі зацікавленості в цьому. Лише у країнах

Прибалтики спостерігаються позитивні процеси в цьому ракурсі, адже там застосовуються силові заходи в реалізації мовної політики. Натомість в Україні, де також уже діє відповідне законодавство, ментальна делікатність не дозволяє відповідним чином контролювати його виконання. При цьому слід не дозволяти російській мові ні найменшого шансу на функційний реванш, адже українська мова, що вже істотно підняла свій статус, швидко втрачатиме ці завойовані позиції.

Звісно, явище білінгвізму було об'єктом численних соціолінгвістичних досліджень переважно з середини XX століття та потребувало чіткої стратифікації, адже складність полягає в тому, що в єдиній лінгвоструктурі можуть бути задіяні різні мови – споріднені, неспоріднені, близькоспоріднені. Особливо небезпечною є третій різновид, який може призвести до інтерференції, применшення та подальшого зникнення однієї з них. Так, в Іспанії серед романських мов (активних і неактивних) одна логічно займає вищий страт, інші – нижчий (кастільська проти каталонської, баскської та ін.). У Канаді дві мови належать до вищого страту (французька й англійська), хоча фактичний стан все одно виявляє відносну «зверхність» тієї ж англійської. Також буває, що одна мова в різних країнах перебуває і в різних ситуаціях: іспанська – в Іспанії та Латинській Америці, румунська – в Румунії та Молдові, російська – в Росії та Україні [5]. Як ми вже визначали, в таких умовах вона вже є варіантом свого автохтонного коду, а не діалектом чи піджином.

Оскільки авангардом соціолінгвістики були США, учені інших країн брали вже вироблену параметрію досліджень мовних ситуацій, додаючи до цього власні розробки, орієнтовані на місцеві особливості. Так, український дослідник Ю. Жлуктенко визначає мовну ситуацію як комплекс, що враховує наявність відповідних мов, умови їх використання, кількість їх носіїв, ціннісне ставлення членів мовного середовища до цих мов. Іншими словами, мовна ситуація є моделлю соціально-комунікативних систем і підсистем, які співіснують і взаємодіють у межах цього середовища. У таких умовах ця мовна гетерогенність диференціюється на внутрішньокультурну, коли реалізація мовного потенціалу орієнтована як на рідну (внутрішню) культуру носія, так і на зовнішньокультурну, що орієнтована на чужу (зовнішню) культуру, яка є метрополійною – фактично пропагандистом імперії [5].

Визначено, що білінгвістична взаємодія може бути функційною – передбачає відповідні особливості функціонування мов-компонентів у процесі комунікації з виокремленням мовної ситуації як складової державної політики; та структурною – передбачає взаємний вплив внутрішніх складових цих двох мов. Відповідно до цього одні дослідники вивчають соціологічний параметр (особливості функціювання мов), інші – інтерферентні явища (як результат такої структурної взаємодії), ще інші – проблеми білінгвізму загалом (у синхронічному та діахронічному вимірах), адже функційний параметр залежить від структурного як його результат. Зважаючи на це, дослідники пропонують відповідний комплекс атрибутів для аналізу білінгвізму. Це зокрема соціально-економічні, етнічні, культурно-історичні умови виникнення й розвитку білінгвістичної опозиції; вплив зовнішньої мови на внутрішню (для національно-імперського різновиду) та внутрішньої мови на зовнішню (для імперсько-національного різновиду) [1].

Із цих параметрів останній органічно поєднується з другим – як результат впливу однієї мови на іншу, а всі разом вони допомагають у вивченні умов виникнення та функціювання двомовності на певній території зі структурним взаємовпливом мов – компонентів білінгвізму. Саме таким чином у 70-ті роки комплексно досліджувався національно-російський білінгвізм в окремих національних регіонах імперії, що призвело до офіційних висновків про «плідне співіснування російської та місцевих мов», які ґрунтувалися на ідеологічних засадах, а насправді такий взаємовплив передбачає реальну асиміляцію національної місцевої. Що ж стосується принципу «взаємодопомоги», то таке можливе лише в певному ідеальному розрізі, коли ті ж слов'янські мови насправді рівні – не «великі» та «малі», не «старі» та «нові», не «більш розвинені» та « менш розвинені».

Результати досліджень засвідчили такі результати: в Азербайджані за п'ятдесят років у складі імперії міське населення збільшилося в 4,5 рази, робітників стало більше вшестеро, службовців – уп'ятеро (відповідно 52%, 23%, а також 25% селян). Серед азербайджанців (74% у «республіці») майже всі національну мову мають рідною, російською лише володіють 15%. Серед вірмен (9%) 84% мають національну мову рідною, 35% володіють російською, 15% – азербайджанською (тобто тут наявне явище полілінгвізму). Серед росіян азербайджанську мову знають 7%, вірменську – 9% (то певно вірмени, які записалися росіянами). Ми вже зазначали, що на території ще Російської імперії особи, які отримали освіту метрополійною мовою (звісно, російською), визнавали себе за великоросів, і визначались цим разом із євреями й поляками саме вірмени. Звісно, підґрунтям такої асиміляції стала урбанізація, адже саме у великих містах проживала більша частина росіян і євреїв. Так, в азербайджанському місті росіян – 18% (13% – вірмени), а в селі відповідно 1,5% та 5,5%. Причому російською мовою селяни не користуються взагалі, а 10% службовців використовують її лише на роботі, 15% робітників говорять нею вдома (як і на роботі) [6]. Тобто процес денаціоналізації відбувається лише завдяки індустріалізації та урбанізації.

У Литві, де литовців за національністю фіксується 80%, росіян – 8,5% та поляків 7,5%, у сільській місцевості на 1923 рік проживало 84% населення, а 1970 року – вже половина населення, у місті – також 50%. Цікавий розподіл в освіті: у 3,5 тис. литовських школах вчилося 84% усіх учнів Литви, у 110 російських – 12,5%, у 190 польських – 4%. Збільшилося змішаних шлюбів: на 1959 рік – 6%, на 1963 рік – уже 35%. Тобто саме в цей період відбувалася

активна асиміляція населення через процеси міграції та урбанізації внаслідок індустріалізації. У сусідній Естонії становище стає ще більш небезпечним: сільського населення – 39%, міського – 61%, при тому що в містах росіян проживає 25%). Інші вектори мовно-національної політики спостерігаються в Бурятії, де росіян учетверо більше за бурятів – з усіма похідними явищами. Слід згадати, що колись найрадикальніші центристи Російської імперії визнавали право на державну чи національну суверенність лише тих етносів, які ідентифікують себе самостійними народами. Але тих же бурятів, автохтонність яких є незаперечною, за п'ятдесят років майже не стало.

Існує таке визначення обсягу використання національної мови, що обмежений колом життєвих потреб цього етносу, хоча воно може бути занадто вузьким як для нормального функціонування мови. Наприклад, житель Індії в сімейному та дружньому колі, у Церкві спілкується рідною мовою, у сфері ж управління – англійською, у магазині та на роботі – обома. Проте в імперії функційний обсяг використання рідної мови був вужчим, що й доводять тогочасні дослідження, якими визначено, що білінгвізм передбачає знання обох мов-компонентів відносно однаковою мірою, хоча цієї вимоги (активного білінгвізму) дотримувалися лише носії місцевих мов. Натомість носії російської не володіли й не використовували цю мову, будучи категоричними монолінгвами. Що стосується аборигенів – носіїв російської мови як першої, то хоча вони й визначились із чужою «рідною» мовою, змінивши власну етнічну ідентичність, то вони не усвідомлюють, що чи не навічно залишилися зі своїми етнічними ментальними особливостями (що ніколи цілком не відповідатимуть обраній іншій національності). Скажімо, франкомовним жителям Канади чи Бельгії властиві саме канадські та бельгійські характери. Натомість дослідженнями виявлено етнопсихологічну рису росіян – неприйняття інших мов (і не лише «підвладних», але й інших світових – англійської, німецької та ін.), що начебто зумовлено історичним соціальним пріоритетним становищем росіян у часи імперій. Проте є контраргумент щодо цього: росіяни і на території Америки чи Ізраїлю не виявляють особливого бажання оволодіти місцевими національними мовами. Навіть знаючи місцеву мову, вони залишаються пасивними білінгвами.

Як бачимо, серед проаналізованих вище регіонів імперії лише в Бурятії мовна ситуація певною мірою аналогічна територіям, які свідомо уникалися вченими через політичні причини. Так, в Україні чи Молдові, Латвії чи Білорусі мовні ситуації завжди характеризувалися неоднозначністю, і причинами цього є всі зазначені явища, пов'язані з історичною присутністю росіян як колоністів. Саме тому ті ж українці та молдовани виявляють тривалий білінгвальних досвід, а з-поміж білорусів питома вага носіїв російської як першої давно переважає частку носіїв білоруської. Сьогодні, з отриманням національними мовами цих нових країн статусу державних, вивчення мовних ситуацій у тих ареалах (діахронічно – через аналіз мовного стану в певні часові відрізки, синхронічно – через вивчення умов функціювання місцевих національних мов у сучасному їх стані) має дуже важливіше значення – і не лише для функційного розвитку цих мов, але й для становлення взагалі реальної державності, що перебуває під загрозою з боку колишньої метрополії. Скажімо, в Україні більше ніж де-інше функціюють порівну обидві мови-компоненти у комунікативних ситуаціях – через причини довготривалого сумісного проживання двох етносів і близькою спорідненістю їхніх мов [5], адже типологічна спорідненість мов завжди була предметом наукових дискусій мовознавців. І хоча вітчизняні вчені (уже не говоримо про російських – не одна вітчизна в нас) розділилися на два табори, один із яких стоїть за генезу цих мов від ідеалізованої давньоруської, а другий – від ідеалізованої праслов'янської. При тому європейські вчені-славісти відзначають повну типологічну спорідненість української з польською, а з російською – лише через певні структурні ознаки та історичну взаємодію [6].

Висновки

Види комунікативного середовища – сімейно-побутове, територіальне, соціально-групове – водночас є й сферами використання певної мови, мовної системи, системи моделей поведінки, які характеризують комунікантів. У такому разі використовуються терміни «мова-код» і «етнос», адже мовний вибір корелює з особливостями розвитку нації, суспільства й держави. Мова-код фіксується на рівні психологічної закодованості певного етносу. Саме тому визначається феномен комунікативного середовища зі своїми психологічними, етнічними, віковими, статусними, територіальними особливостями, які зумовлюють певний мовний вибір.

Із розвитком комунікаційного середовища відбувається уніфікація мовних функційних форм – як горизонтальних (діалект), так і вертикальних (різноманітні жаргони) – до однієї структури (поза літературною формою як комунікаційним ідеалом). Зокрема територіальні діалекти втрачають відчутні розрізнювальні риси, залишаючи їх лише на фонетичному рівні, частково – на лексичному. Проте загалом носії різних наріч української мови вже не відчувають таких відмінностей. Жаргони вже не є закритими системами, адже їх одиниці входять в активне загальнонародне мовлення. Загалом визначаємо спільну форму розмовного мовлення – койне як комплекс зрозумілих мовних одиниць усіма комунікантами, незважаючи на вікові, статеві, статусні й інші відмінності. Сюди ж відносимо й просторіччя (чи «суржик») як апріорі «просту мову», тобто розмовний конгломерат. І цього не треба соромитися, оскільки кожна мова світу реалізується в ситуаціях побутової (широкої) комунікації саме таким кодом.

На території колишньої імперії наявними були стосунки «національна місцева мова – російська мова», у яких саме місцева потребує реального захисту після деколонізації, щоб вийти на один функційний рівень із російською, що через свій метрополійний статус мала чимало преференцій. Проте й сучасній мовній ситуації в нових країнах

властивий білінгвізм, одним із компонентів якого обов'язково є російська мова, що стала вже рідною для кількох поколінь представників місцевого етносу. Така ситуація визначається як гіперглосна, а двомовність є повною (для ідеального мовця) та неповною. При цьому активний тип білінгвізму характеризує українців – носіїв національної мови як першої, а пасивний – носіїв її як другої. Росіяни ж є переважно монолінгвами.

Зрештою дослідження вибору мови в ситуації білінгвізму (саме зі спорідненими мовами) має непересічне значення для держави, адже від цього залежить не лише розвиток самої української мови, зокрема функційний, але й узагалі становлення реальної державної незалежності, що перебуває під загрозою з боку колишньої метрополії, яка завжди буде прагнути цю незалежність нівелювати.

Список використаної літератури

1. Русанівський В. Єдиний мовно-образний простір української ментальності. *Мовознавство*. 1993. № 6. С. 3–13.

2. Печерна Г. Мова – генетичний код. *Українська мова та література в школі*. 1993. № 2. С. 28–33.

3. Карпенко Ю. Українська гіпотеза. *Мовознавство*. 1993. № 5. С. 3–8.

4. Саплін Ю. Внутрішні і зовнішні чинники білінгвістичної взаємодії лексики. *Мовознавство*. 1991. № 3. С. 42–49.

5. Жлуктенко Ю. Органічність мови як соціолінгвістичний параметр багатомовної ситуації. *Мовознавство*. 1987. № 4. С. 13–19.

6. Демченко В.М. Мовне середовище. Екстралінгвістичний нарис про Південь України : монографія. Херсон: АЙЛАНТ, 2001. 212 с.

References

1. Rusanivs′kyi V. (1993) Yedynyi movno-obraznyy prostir ukrayins′koyi mental′nosti [The unified linguistic and figurative space of the Ukrainian mentality]. Movoznavstvo [Linguistics]. № 6. S. 3–13.

2. Pecherna H. (1993) Mova – henetychnyy kod [Language is a genetic code]. Ukrayins′ka mova ta literatura v shkoli [Ukrainian language and literature at school]. № 2. S. 28–33.

3. Karpenko Yu. (1993) Ukrayins′ka hipoteza [The Ukrainian hypothesis]. Movoznavstvo [Linguistics]. № 5. S. 3–8.

4. Saplin Yu. (1991) Vnutrishni i zovnishni chynnyky bilinhvistychnoyi vzayemodiyi leksyky [Internal and external factors of bilingual vocabulary interaction]. Movoznavstvo [Linguistics]. № 3. S. 42–49.

5. Zhluktenko Yu. (1987) Orhanichnist′ movy yak sotsiolinhvistychnyy parametr bahatomovnoyi sytuatsiyi [Language organicity as a sociolinguistic parameter of a multilingual situation]. Movoznavstvo [Linguistics]. № 4. S. 13–19.

6. Demchenko V.M. (2001) Movne seredovyshche. Ekstralinhvistychnyy narys pro Pivden′ Ukrayiny [Language environment. Extralinguistic essay about the South of Ukraine]: monohrafiya. Kherson: AYLANT, 212 s.

УДК 324 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.35

П. П. КОНОНЕНКО
аспірант кафедри парламентаризму
Навчально-науковий інститут публічного управління та державної служби
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
ORCID: 0000-0002-8195-8469

МОДИФІКАЦІЇ ВИБОРЧИХ СИСТЕМ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ

Аналізуючи виборче законодавство України, не можна не звернути увагу на суперечливість у питанні правового регулювання виборчого процесу. Недоліки вітчизняних виборчих систем призводять до зниження виборчої культури (поширення політичної корупції, абсентеїзму тощо) та зниження рівня довіри населення до органів державної влади. Тому в період активної конституційно-правової реформи постає нагальна потреба в розробці ефективних виборчих систем. Перед українськими вченими постало питання вибору найбільш ефективних виборчих технологій при проведенні кампаній в умовах різних виборчих систем.

У дослідженні було виявлено, що виборча система – це передбачена законом сукупність виборчих процедур, пов'язаних з формуванням органів влади. Виборчі системи являють собою різні модифікації двох основних типів: мажоритарної та пропорційної. На основі виборчого права формується відповідний тип виборчої системи.

Метою статті став порівняльний аналіз діючих виборчих систем держав світу, зокрема і на прикладі діючої виборчої системи в Україні.

Зроблені висновки про те, що представницька система передбачає виділення в представницькому органі квоти від певних соціальних груп. Мажоритарна система передбачає вибори, як правило, в одномандатних округах і визначення переможця за більшістю голосів, отриманих в округах. Пропорційна система передбачає вибори за партійними списками та розподіл мандатів між партіями пропорційно кількості голосів, отриманих кожною з них у межах виборчого округу. Змішана система передбачає вибори за мажоритарним і пропорційним принципами. В свою чергу, виборча система в Україні базується на законодавстві про вибори Президента, Верховної Ради та місцевих органів влади. Нова виборча система поклала початок політичному структуруванню органів державної влади та місцевого самоврядування.

Ключові слова: *виборча система, пропорційна система, мажоритарна система, виборчий округ, змішана система, вибори, представницький орган, квота.*

P. P. KONONENKO
Postgraduate Student at the Department of Parliamentarism
Educational and Scientific Institute of Public Administration and Civil Service
of Taras Shevchenko Kyiv National University
ORCID: 0000-0002-8195-8469

MODIFICATIONS OF ELECTORAL SYSTEMS: COMPARATIVE ANALYSIS

Analyzing the election legislation of Ukraine, one cannot fail to pay attention to the inconsistency in the issue of legal regulation of the election process. The shortcomings of domestic electoral systems lead to a decline in electoral culture (the spread of political corruption, absenteeism, etc.) and a decrease in the level of public trust in state authorities. Therefore, in the period of active constitutional and legal reform, there is an urgent need to develop effective electoral systems. Ukrainian scientists faced the question of choosing the most effective election technologies when conducting campaigns in the conditions of different election systems.

The research revealed that the electoral system is a set of electoral procedures provided for by law, related to the formation of government bodies. Electoral systems are different modifications of two main types: majoritarian and proportional. The appropriate type of electoral system is formed on the basis of the right to vote.

The purpose of the article was a comparative analysis of the current electoral systems of the countries of the world, in particular, using the example of the current electoral system in Ukraine.

Conclusions were made that the representative system provides for the allocation of quotas from certain social groups in the representative body. The majoritarian system provides for elections, as a rule, in single-mandate constituencies and determining the winner based on the majority of votes received in the constituencies. The proportional system provides for elections based on party lists and the distribution of mandates between parties in proportion to the number of votes received by each of them within the electoral district. The mixed system provides for elections based on majoritarian and proportional principles. In turn, the electoral system in Ukraine is based on the legislation on the elections of the President, Verkhovna Rada and local authorities. The new electoral system marked the beginning of the political structuring of state and local self-government bodies.

Key words: *electoral system, proportional system, majoritarian system, electoral district, mixed system, election, representative body, quota.*

Постановка проблеми

Після здобуття незалежності Україна одразу розпочала активні процеси розбудови демократичних інститутів та громадянського суспільства. Впродовж історії національного державотворення важливу роль відіграє порядок формування представницьких органів влади. На конституційному рівні були встановлені лише загальні вимоги до інституту виборів, а питання виборчих систем залишалися предметом виключно законодавчого регулювання. Проте, аналізуючи виборче законодавство України, не можна не звернути увагу на суперечливість у питанні правового регулювання виборчого процесу. Особливо це стосується парламентських виборів, які проводилися за однаковими виборчими системами не частіше двох разів поспіль. Недоліки вітчизняних виборчих систем призводять до зниження виборчої культури (поширення політичної корупції, абсентеїзму тощо) та зниження рівня довіри населення до органів державної влади. Тому в період активної конституційно-правової реформи постає нагальна потреба в розробці ефективних виборчих систем. Перед українськими вченими постало питання вибору найбільш ефективних виборчих технологій при проведенні кампаній в умовах різних виборчих систем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Серед ґрунтовних напрацювань щодо виборчих систем та розвитку виборчого права України можна відмітити роботи Бабенка К.А. [1], Баранівського В.Ф. [2], Воронянського О.В. [4], Кулішенка Т.Ю. [4], Скубія І.В. [4], Ільницького М.С. [6], Новікова О.В. [9], Томахіва В. [10] тощо. Окремі напрацювання та роз'яснення щодо виборчого кодексу та процесу надаються Ключковським Ю.Б. [7]. Розглядав демократичні принципи виборів в Україні Бучин М.А. [3] та інші.

Формулювання мети дослідження

Метою цієї роботи є порівняльний аналіз виборчих систем держав світу, зокрема і на прикладі діючої виборчої системи в Україні.

Викладення основного матеріалу дослідження

Виборча система – це передбачена законом сукупність виборчих процедур, пов'язаних з формуванням органів влади. Виборча система у вузькому розумінні цього терміну – це спосіб розподілу місць в органах державної влади між кандидатами залежно від результатів голосування виборців. Виборчі системи в різних країнах відрізнятимуться за багатьма параметрами. Ця різноманітність визначається історичними, культурними особливостями, а також політичними завданнями. Як зазначають Р. Таагепера та М. Шугарт, порівняно з іншими елементами політичної системи виборчими правилами легше маніпулювати, вони дозволяють створити перевагу для кількох сильних партій і звести нанівець роль малих партій або, навпаки, надати останнім право на представництво в парламенті [2; 3].

Виборча система з XIX ст. функціонує в рамках виборчого права, яке пройшло складну еволюцію демократизації. Якщо на етапі зародження виборче право вимагало високого майнового цензу, через що у виборах брав участь лише незначний відсоток (3–8%) населення, то з середини XX ст. населення отримало виборче право.

Як правило, виборчі системи являють собою різні модифікації двох основних типів: мажоритарної та пропорційної. На основі виборчого права формується відповідний тип виборчої системи. Світовій практиці відомі чотири її види: представницька (куріальна), мажоритарна, пропорційна, змішана.

Куріальна система існувала на початку XX ст. в Австрії. Він передбачав поділ виборців на окремі курії, кожна з яких мала своє представництво в парламенті. Наприклад, в Австрії за законом 1873 р. виборці поділялися на п'ять курій: землевласницьку, торгово-промислову, сільську, міську та загальне виборче право. Для кожної курії із загальним цензом активного виборчого права окремо визначався спеціальний ценз для групи виборців. Так, представники землевласницьких курій повинні були володіти нерухомістю, міські та сільські общинні курії – сплачувати встановлений податок, торговельно-промислові палати – входити до складу цих палат, загальні виборчі курії мали шестимісячний ценз осілості [6].

Мажоритарна система заснована на мажоритарному принципі (переможцем виборів вважається кандидат, який набрав найбільшу кількість голосів). Округи тут одномандатні, тобто від кожного округу обирається по одному депутату.

Мажоритарна система має свої різновиди. У мажоритарній системі кандидат, який отримав більше голосів, ніж будь-який із його суперників, вважається обраним відносно своєї (простої) більшості. Система проста, оскільки забезпечує перемогу однієї партії (кандидата) навіть з мінімальною перевагою. Але може статися так, що за партію, яка перемогла, проголосує меншість виборців (решту голосів заберуть інші партії), а сформований цією партією уряд не матиме підтримки більшості громадян. Зараз ця система використовується в США, Канаді, Великій Британії, Новій Зеландії та ін. [5].

Мажоритарна система абсолютної більшості передбачає, що обраним є кандидат, який набрав більше половини голосів виборців, які взяли участь у голосуванні (50% плюс один голос).

У світовій практиці існує кілька різновидів цієї системи:

1) система двох турів. Якщо жоден із кандидатів не набрав більше половини голосів виборців, проводиться другий тур виборів, у якому, як правило, беруть участь два кандидати, які досягли найкращих результатів, що дозволяє одному з них отримати більшість голосів. (абсолютна чи відносна);

2) альтернативне голосування. Використовується на виборах до нижньої палати парламенту Австралії. В одномандатному окрузі виборець голосує за кількох кандидатів, позначаючи цифрами (1, 2, 3 і т. д.) навпроти прізвищ тих, кому надано найбільшу перевагу (рейтингове голосування). Якщо жоден з кандидатів не набирає абсолютної більшості, кандидати з найменшими першими перевагами виключаються з подальшого підрахунку, а подані за них голоси передаються кандидатам другої переваги. Потім виключаються кандидати з найменшою кількістю перших і других переваг. Перерозподіл голосів відбувається до тих пір, поки один із кандидатів не набере абсолютну кількість голосів [4].

Мажоритарна система кваліфікованої більшості використовується рідко, коли потрібна підтримка двох третин або трьох чвертей від загальної кількості поданих голосів (використовується в Чилі при обранні членів парламенту).

Пропорційна система передбачає голосування за партійними списками, що означає виділення багатомандатного округу (округ – вся територія країни) або кількох округів. Це найпоширеніша система (країни Латинської Америки, Бельгія, Швеція та ін.). Зміст цієї системи полягає в тому, що кожна партія отримує кількість мандатів у парламенті, пропорційну кількості поданих за неї голосів. При всій демократичності цієї системи є один недолік. Він гарантує представництво навіть малих партій, що у випадку парламентської чи змішаної форм правління створює проблеми з формуванням уряду. Це стає можливим, коли жодна партія не має абсолютної більшості в парламенті або не може її створити, не вступаючи в коаліцію з іншими партіями. У багатьох країнах цей недолік, а також надмірну роздробленість партій намагаються згладити шляхом запровадження «виборчого бар'єру» (бар'єру) – найменшої кількості голосів, необхідних для обрання одного депутата. Як правило, в різних країнах він становить 2–5% [7].

Існує багато варіантів пропорційної системи голосування:

1) система з загальнонаціональним партійним списком (Ізраїль, Нідерланди). Голосування відбувається по всій країні в межах одного загальнонаціонального округу;

2) система з регіональними партійними списками передбачає утворення кількох округів (Австрія, Скандинавські країни, Іспанія, Греція та ін.);

3) система закритих списків: виборець голосує за партію і не може висловити свою перевагу окремому кандидату, зазначеному в партійному списку. Кандидати в партійному списку розташовуються в порядку зменшення важливості, причому кандидати в нижній частині списку мають менше шансів на перемогу;

4) система відкритих списків дозволяє голосувати за партію та висловлювати перевагу одному з її кандидатів, тобто виборці можуть змінювати позицію кандидатів у списку (преференційне голосування). Це робиться різними способами: виборець ставить хрестик навпроти імен кандидатів, яких би хотів бачити (Бельгія); записує імена кандидатів у бюлетень (Італія); ранжує кандидатів за ступенем важливості (Швейцарія, Люксембург тощо) [4; 5; 9].

Немає ідеальної виборчої системи. Кожен з них має свої плюси і мінуси.

Прихильники використання традиційних різновидів мажоритарної системи голосування серед основних її недоліків виділяють такі:

• не відображає реальної позиції політичних сил у країні та не забезпечує їх адекватного представництва у парламенті. Перш за все, це стосується системи голосування в один тур, коли перемагає кандидат, який набрав менше половини загальної кількості голосів. Але навіть якщо одна партія набере 52%, проблема залишається – 48% виборців будуть позбавлені представництва. Бувають випадки, коли «зникає» до двох третин голосів, поданих за непройшли кандидатів. Така ситуація може стати джерелом потенційних політичних конфліктів і сприяти активізації непарламентських методів боротьби з боку сторони, яка програла;

• створює диспропорції між отриманими голосами та отриманими мандатами. Наприклад, на парламентських виборах 1997 року у Великій Британії лейбористи отримали 64% місць, тоді як за них проголосували лише 44% виборців, консерватори отримали 31% голосів і 25% місць, а ліберал-демократи – 17% голосів і лише 7% місць [10];

• встановлює залежність результатів голосування від поділу округів, що може створити «спокусу» маніпуляцій з визначенням їх меж та кількості виборців з метою отримання виборчої вигоди;

• можливість переваги регіональних (місцевих) інтересів над національними;

• призводить до подорожчання виборчого процесу у разі необхідності другого туру [4].

До позитивних моментів пропорційної виборчої системи можна віднести:

• забезпечує більш адекватне представництво політичних сил;

• зменшує кількість «непідрахованих» голосів виборців. Навіть при використанні виборчого бар'єру рідко буває, щоб не враховано більше однієї чверті голосів, а ще рідше це число наближається до однієї секунди;

• допускає представництво меншин (наприклад, етнічних, релігійних);

• стимулює створення партій і розвиток політичного плюралізму [2; 9].

Але ця система має недоліки:

– слабкий зв'язок кандидата в депутати з виборцями;

– залежність депутата від партійної фракції в парламенті;

– породжує у парламенті більшу кількість фракцій, які конкурують між собою і як наслідок – негативно впливає на стабільність роботи останнього;

– сприяє формуванню (при парламентській та змішаній формах правління) коаліційних урядів, які іноді менш ефективні та стабільні, ніж однопартійні;

– потенційно збільшує вплив партійної еліти на формування виборчих списків, особливо якщо використовується система закритих списків [7; 9].

У деяких країнах (Німеччина, Болгарія) намагаються знайти компроміс між двома виборчими системами і використовують різні варіанти змішаної системи, яка передбачає поєднання елементів пропорційної та мажоритарної систем. Таке ж питання піднімають і у Верховній Раді України.

У політології активно дискутується про вплив виборчих систем на конфігурацію партійної системи країни та характер міжпартійних відносин.

Західний політолог Р. Кац, проводячи дослідження у Великій Британії, Ірландії та Італії, дійшов таких висновків:

– пропорційне представництво сприяє вияву партіями більш ідейних і радикальних позицій з політичних питань, ніж в умовах відносної більшості;

– у двопартійних системах відбувається поступове зближення ідеологічних позицій партій;

– партії, що конкурують у невеликих округах, здебільшого зосереджуватимуться на особистості лідера та патронажі, тоді як партії, що конкурують у великих округах, будуть схильні до проблемної орієнтації [7; 10].

Змішана виборча система – це поєднання мажоритарної та пропорційної виборчих систем. Має різні модифікації. У найпоширенішому варіанті змішаної виборчої системи частина депутатів обирається за пропорційним, а частина – за мажоритарним принципом, до нижньої палати парламенту. При цьому пропорційна і мажоритарна частина можуть мати різне значення. Так, у Німеччині, Росії, Литві, Грузії пропорційні та мажоритарні значення становлять половину, а в Угорщині – дві та одну третину від загальної кількості депутатських місць. У цій системі виборець отримує два голоси: один за одного з кандидатів, другий за один зі списків. Існує також варіант змішаної виборчої системи, коли нижня палата обирається за пропорційними принципами, а верхня – за мажоритарними [9].

Виборча система в Україні базувалася на таких законодавчих актах: Закон УРСР «Про вибори Президента УРСР», Закон України «Про внесення змін до Закону УРСР про вибори Президента УРСР». Української РСР», Закону України «Про вибори народних депутатів України», Закону України «Про вибори депутатів і голів сільських, селищних, районних, міських, районних у містах, обласних рад», а також Закону про України «Про внесення змін і доповнень до Закону України «Про вибори депутатів та голів сільських, селищних, районних, міських, районних у містах, обласних рад» [1; 6].

Законодавчими актами про вибори Президента України передбачено порядок висування та реєстрації кандидатів у Президенти України.

Згідно з чинним законодавством, партії, виборчі блоки, які налічують не менше 1000 осіб і зареєстровані Центральною виборчою комісією як такі, що беруть участь у виборах Президента, а також збори виборців, якщо в них бере участь не менше 500 громадян України.

Партії можуть створювати виборчі блоки за рішенням своїх керівних органів. Відповідно до статуту партія чи виборчий блок мають право висувати кандидата на посаду Президента України до своїх вищих керівних органів (з'їздів, конференцій, загальних зборів), якщо на них подано більше двох третин обраних делегатів, але на них присутні не менше 200 осіб.

Українське виборче законодавство для органів місцевого самоврядування є значно прогресивнішим, ніж законодавство для парламенту, оскільки передбачало: по-перше, жорсткіші вимоги до висунення та реєстрації кандидатів, по-друге, закріплює для депутатів місцевих представницьких органів і у разі повторне голосування голів рад за принципом відносної більшості.

Виборча система України на рівні парламентських виборів змінилася з мажоритарної на змішану, за якою 225 депутатів обираються за партійними списками та 225 депутатів обираються в одномандатних округах на основі відносної більшості. Суб'єктами висування є громадяни України, які реалізують це право як шляхом самовисування, так і через політичні партії, виборчі блоки партій, а також збори громадян і трудові колективи [5].

Виборча система на рівні формування місцевих органів влади (для органів самоврядування базового рівня) є мажоритарно-преференційною (тобто три депутати обираються до обласної ради від багатомандатних мажоритарних округів). Виборча система на місцевому рівні не передбачає, як це було раніше, грошової застави як для депутатів, так і для керівників органів місцевого самоврядування. Проте при висуванні кандидатів до відповідних рівнів Рад зберігає чисельний ліміт для партій, громадських організацій і трудових колективів. Нова виборча система поклала початок політичному структуруванню органів державної влади та місцевого самоврядування. Проте цей процес не приніс бажаного результату, а навпаки, загострив конфлікти як у самому парламенті між

різними політичними групами, так і між виконавчою та законодавчою владою. Виникла потреба в подальшому законодавчому вдосконаленні цього процесу, яка мала б проявитися в таких моментах: 1) перехід на пропорційну основу; 2) підвищення рівня виборчого бар'єру, збільшення його розміру для партійних блоків; 3) уніфікація моделей виборів на всіх рівнях формування влади (глава держави, парламент та органи місцевого самоврядування); 4) узгодження виборчого законодавства із законами про партії, Кабінеті Міністрів, Регламентом Верховної Ради, які б встановлювали статус владних і опозиційних сил, межі їх партійної відповідальності перед суспільством [6; 8; 10].

Висновки

Виборча система – це передбачена законом сукупність виборчих процедур, пов'язаних з формуванням органів влади. Виборча система функціонує на принципах загальності, рівності та таємності голосування. Проте виборче законодавство передбачає ценз осілості та віку. Віковий ценз для активного (право вибору) і пасивного (право бути обраним) виборчого права різний. Крім того, в деяких країнах (Австрія, Бельгія, Нідерланди) передбачено обов'язкове голосування. Виборчі системи поділяються на чотири види: представницьку (куріальну), мажоритарну, пропорційну, змішану. Представницька система передбачає виділення в представницькому органі квоти від певних соціальних груп. Така система існувала в деяких країнах Європи на початку 20 століття. Мажоритарна система передбачає вибори, як правило, в одномандатних округах і визначення переможця за більшістю голосів, отриманих в округах. Мажоритарна система поділяється на такі види: абсолютна більшість (для перемоги в першому турі необхідно отримати більше 50% голосів виборців), відносна більшість (для перемоги достатньо простої більшості); преференційний (переможець визначається за складним механізмом відбору, який передбачає виключення кандидатів, які набрали найменшу кількість перших місць). Пропорційна система передбачає вибори за партійними списками та розподіл мандатів між партіями пропорційно кількості голосів, отриманих кожною з них у межах виборчого округу. Пропорційна система поділяється на такі види: з жорсткими списками (виборці голосують за весь список); з преференціями (виборець за списком обирає свого кандидата); пропорційна система з напівжорсткими списками (виборці голосують за список або за окремого кандидата). Змішана система передбачає вибори за мажоритарним і пропорційним принципами. Виборча система в Україні базується на законодавстві про вибори Президента, Верховної Ради та місцевих органів влади. Попереднє виборче законодавство України не відповідало сучасним цивілізаційним стандартам через такі обставини: 1) суб'єктами виборчого процесу є трудові колективи; 2) переможець парламентських виборів визначається за принципом абсолютної більшості як у першому, так і в другому турі; 3) недосконалий механізм голосування, що призводить до зловживань; 4) партії перебувають у гіршому становищі порівняно з іншими суб'єктами виборчого процесу. Нове виборче законодавство встановило змішану систему парламентських виборів; мажоритарної відносної більшості, а також пільгових для виборів до органів місцевого самоврядування.

Список використаної літератури

1. Бабенко К. А. Конституційно-правове регулювання і розвиток виборчого права України. URL: https://6aas.gov.ua/ua/proekty/articles/b/439-konstitutsijno-pravove-regulyuvannya-i-rozvitok-viborchogo-prava-ukrajini.html.

2. Баранівський В.Ф. Політологія: Підручник. Київ: Національна академія управління, 2016 р. 236 с.

3. Бучин М. А. Демократичні принципи виборів: політико-правові аспекти регулювання в Україні : моногр. Львів : Вид-во Львівської політехніки. 2012. 364 с.

4. Воронянський О.В., Кулішенко Т.Ю., Скубій І.В. Політологія: Підручник. Харків: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2017 р. 180 с.

5. Іванов Д. Віртуалізація суспільства. URL: http://lib.ru/POLITOLOG/ivanov_d_v.txt.

6. Ільницький М.С. Теоретико-правові засади виборчого процесу. Європейські перспективи № 2, 2018. URL: https://dspace.univd.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/11455/Teoretyko_pravovi_Ilnytskyi_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

7. Ключковський Ю.Б. Виборчі системи та українське виборче законодавство: монографія. Національний університет «Києво-Могилянська Академія». К.: Час Друку, 2011. 132 с.

8. Нестерович В.Ф. Поняття виборчої системи та її основні розуміння в конституційному праві.Публічне право. 2019. № 1. С. 17–19.

9. Новиков О. В. Пропорційна система відкритих списків в Україні – перспектива чи реальність? *Молодий вчений*. 2017. No 11 (51). С. 958–962.

10. Томахів В. Політологія, Навч. Посібник. Вид. т-е, доповнене. Тернопіль: ТНЕУ, 2018. 244 с.

References

1. Babenko K. A. (2019) Konstytutsiyno-pravove rehulyuvannya i rozvytok vyborchoho prava Ukrayiny [Constitutional and legal regulation and development of electoral law of Ukraine]. URL: https://6aas.gov.ua/ua/proekty/articles/b/439-konstitutsijno-pravove-regulyuvannya-i-rozvitok-viborchogo-prava-ukrajini.html [in Ukrainian].

2. Baranivs′kyy V.F. (2016) Politolohiya: Pidruchnyk [Political science: Textbook]. Kyyiv: Natsional′na akademiya upravlinnya, 236 p. [in Ukrainian].

3. Buchyn M. A. (2012) Demokratychni pryntsypy vyboriv: polityko-pravovi aspekty rehulyuvannya v Ukrayini : monohr [Democratic principles of elections: political and legal aspects of regulation in Ukraine: monogr.]. L′viv : Vyd-vo L′vivs′koyi politekhniky. 364 p. [in Ukrainian].

4. Voronyans′kyy O.V., Kulishenko T.YU., Skubiy I.V. (2017) Politolohiya: Pidruchnyk [Political science: Textbook]. Kharkiv: KHNTUS·H imeni Petra Vasylenka, 180 p. [in Ukrainian].

5. Ivanov D. Virtualizatsiya suspil′stva [Virtualization of society]. URL: http://lib.ru/POLITOLOG/ivanov_d_v.txt [in Ukrainian].

6. Il′nyts′kyy M.S. (2018) Teoretyko-pravovi zasady vyborchoho protsesu [Theoretical and legal principles of the election process]. Yevropeys′ki perspektyvy No. 2. URL: https://dspace.univd.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/11455/Teoretyko_pravovi_Ilnytskyi_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y [in Ukrainian].

7. Klyuchkovs′kyy YU.B. (2011) Vyborchi systemy ta ukrayins′ke vyborche zakonodavstvo: monohrafiya [Electoral systems and Ukrainian electoral legislation: monograph]. Natsional′nyy universytet «Kyyevo-Mohylyans′ka Akademiya». K.: Chas Druku, 132 p. [in Ukrainian].

8. Nesterovych V.F. (2019) Ponyattya vyborchoyi systemy ta yiyi osnovni rozuminnya v konstytutsiyňomu pravi [The concept of the electoral system and its basic understanding in constitutional law]. Publichne pravo. No. 1. 17–19 pp. [in Ukrainian].

9. Novykov O. V. (2017). Proportsiyňa systema vidkrytykh spyskiv v Ukrayini – perspektyva chy real′nist′? [Proportional system of open lists in Ukraine – prospect or reality?] Molodyy vchenyy. No. 11 (51). 958-962 pp. [in Ukrainian].

10. Tomakhiv V. (2018). Politolohiya, Navch. Posibnyk [Political science, Education. Manual]. Vyd. t-e, dopovnene. Ternopil′: TNEU. 244 p. [in Ukrainian].

УДК 342.241 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.36

І. В. ЛАЗЕБНА
кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри публічного управління та адміністрування
Державний торговельно-економічний університет
ORCID: 0000-0001-5668-7487

І. П. ДИННИК
кандидат наук з державного управління,
доцент кафедри публічного управління та адміністрування
Державний торговельно-економічний університет
ORCID: 0000-0003-2474-7371

СЛУЖБА В ОРГАНАХ МІСЦЕВОГО САМОВРЯДУВАННЯ: УКРАЇНСЬКІ РЕАЛІЇ ТА ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД

У статті розглянуто питання сучасних викликів та проблем, пов'язаних з організацією та функціонуванням служби в органах місцевого самоврядування та зазначені шляхи вдосконалення на основі зарубіжного досвіду. Акцентовано увагу на необхідності подальшого реформування системи служби в органах місцевого самоврядування в Україні, адже це є важливою процесією для покращення якості та ефективності роботи службовців, а також забезпечення прозорості, професіоналізму та довіри до органів місцевого самоврядування, що також є проблематичним аспектом в Україні.Найбільш глибоко використаний аналіз скандинавського досвіду, зокрема зазначені такі питання як: правове регулювання, повноваження органів місцевого самоврядування, професійна підготовка службовців для виконання своїх обов'язків та система оплата праці. Висновки статті сприятимуть формуванню наукового та практичного розуміння ролі служби в органах місцевого самоврядування в Україні. Результати дослідження можуть бути використані у процесі розробки та впровадження реформ, спрямованих на покращення організації та функціонування служби в органах місцевого самоврядування в Україні.Детально розглядаються проблематичні питання українських реалій через призму низки нововведень, до яких належать відсутність чіткого правового регулювання, неефективна система управління та кадрова політика, а також недостатня професійна підготовка службовців, та подальші можливі варіанти розвитку в цілому системи публічної служби й органів місцевого самоврядування загалом. Зазначено також вплив реформування на ефективність та розвиток територіальних громад та на самих службовців, яким доведеться пристосуватися до нових змін.

Ключові слова: *служба в органах місцевого самоврядування, публічна служба, державна служба, євроінтеграційні реформи, децентралізація, політична неупередженість, швейцарська модель самоврядування.*

I. V. LAZEBNA
Ph.D. in Economics, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Public Administration
State University of Trade and Economics
ORCID: 0000-0001-5668-7487

I. P. DYNNYK
Ph.D. in Public Administration,
Associate Professor at the Department of Public Administration
State University of Trade and Economics
ORCID: 0000-0003-2474-7371

SERVICE IN LOCAL SELF-GOVERNMENT: UKRAINIAN REALITIES AND FOREIGN EXPERIENCE

The article examines the issues of current challenges and problems related to the organization and functioning of the service in local self-government and identifies ways of improvement based on foreign experience. The author emphasizes the need to further reform the system of service in local self-government in Ukraine, as this is an important process for improving the quality and efficiency of employees' work, as well as ensuring transparency, professionalism and trust in local self-government , which is also a problematic aspect in Ukraine.

The analysis of the Swedish experience is used most deeply, in particular, such issues as legal regulation, powers of local self-government, professional training of employees to perform their duties and the system of remuneration. The conclusions of the article will contribute to the formation of a scientific and practical understanding of the role of service

in local self-government in Ukraine. The results of the study can be used in the process of developing and implementing reforms aimed at improving the organization and functioning of the service in local self-government in Ukraine.

The author analyzes in detail the problematic issues of Ukrainian realities through the prism of a number of innovations, including the lack of clear legal regulation, inefficient management system and personnel policy, as well as insufficient professional training of employees, and further possible options for the development of the public service system and local self-government in general. The impact of the reform on the efficiency and development of territorial communities and on the employees themselves, who will have to adapt to the new changes, is also noted.

Key words: *local self-government service, public service, civil service, european integration reforms, decentralisation, political impartiality, swiss model of self-government.*

Постановка проблеми

Основна проблема, яка виникає, полягає в неефективності та недостатньому професіоналізмі службовців, що призводить до незадовільного функціонування органів місцевого самоврядування (далі – ОМС), однією з причин якої є недосконале правове регулювання. За умов реформаційних змін розглянуто актуальні нововведення, які розбудовують старі норми в рамках децентралізації країни та згідно з європейськими стандартами. Контекст швидких реформ та потреби у змінах зумовлює актуалізацію проблеми пристосування службовців місцевого самоврядування до перетворень та виводить на новий рівень питання привабливості відповідної служби для громадян задля успішної реалізації ними розвитку своєї територіальної громади.

Саме розгляд реформаційних змін станом на зараз актуалізують проблему пошуку нових перспективних механізмів розвитку служби в органах місцевого самоврядування та удосконалення чинного законодавства, яке регулює цю службу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженням питання становлення української системи служби в органах місцевого самоврядування займались й інші науковці, серед яких: О. Бойко [2], К. Волошина [10], М. Демченко [3], І. Лопушинський [4], Р. Плющ [4], М. Примуш [7], В. Філіпова [4], І. Щебетун [10], Я. Ярош [7]. М. Демченко [3] – питання правових аспектів розвитку муніципальних фінансів, аналіз статуту окремої громади щодо системи відкритості та прозорості місцевого самоврядування; О. Бойко [2] – питання реформ ОМС через призму європейських стандартів; Примуш М. В., Ярош Я. Б. [7] – питання напрямків процесів реформування місцевого самоврядування з урахуванням реформ, аналіз впливу владно-політичних інститутів на ОМС; І. Лопушинський, В. Філіпова, М. Плющ [4] – питання проходження служби в ОМС, недосконалість чинного законодавства, проблеми деполітизації; І. Щебетун, К. Волошина [10] – аналіз Європейської хартії місцевого самоврядування та порівняння з чинною Конституцією України, питання децентралізація та надання потрібних повноважень ОМС для здійснення сталого розвитку своєї територіальної громади.

Мета даної статті полягає в необхідності дослідження актуального стану служби в органах місцевого самоврядування в Україні через призму нових реформ та з урахуванням поточного стану системи публічного управління в Україні та порівняння зі зарубіжним досвідом, де ця сфера розвинена та ефективна. Передумовою цієї мети є вирішення наступних **завдань** наукової статті: проаналізувати нормативно-правові акти, які регулюють службу в органах місцевого самоврядування; визначити головні проблематичні аспекти законодавчої бази щодо служби в органах місцевого самоврядування; порівняти український та зарубіжний досвід, виявити схожість та відмінності в організації та функціонування служби в органах місцевого самоврядування; ідентифікувати, які проблеми правової сфери потребують подальшого розвитку та імплементувати вирішення цих проблем в українські реалії.

Викладення основного матеріалу дослідження

Здобуття Україною незалежності та розбудова державності на нових засадах призвели до інституціоналізація місцевого самоврядування в нашій країні як одного з важливих інститутів громадянського суспільства. Служба в органах місцевого самоврядування в Україні є діяльністю, пов'язаною з виконанням завдань і функцій органів місцевого самоврядування на місцевому рівні [8], важливість якої зумовлена наступними аспектами: по-перше, в глобальному сенсі це є неодмінним елементом демократичного управління, оскільки вона допомагає забезпечити взаємодію та вплив громадян на прийняття рішень; по-друге, така служба є дієвим механізмом захисту та реалізації інтересів громадян; по-третє, вона є певною необхідністю для забезпечення ефективного функціонування громади та прийняття рішень на місцевому рівні, що відіграє також важливу роль після і впродовж реформ щодо децентралізації органів місцевого самоврядування.

Тобто, становлення громадянського суспільства зумовлене наявністю активних членів органів місцевого самоврядування, які здатні брати на себе відповідальність за вирішення питань місцевого значення, а отже – становлення служби в органах місцевого самоврядування як окремої публічної підсистеми вимагало запровадження відповідних правових засобів-гарантів захисту прав і свобод муніципальних утворень, а також встановлення певних обов'язків та зобов'язань перед державою, оскільки саме це забезпечує: єдність в управлінні країною, збереження певного рівня узгодженості, фінансові та матеріальні потреби для виконання своїх функцій органами місцевого самоврядування [3].

Головний інструмент державного правового регулювання полягає в встановленні законодавчих та підзаконних актів, основним з яких є Закон України «Про службу в органах місцевого самоврядування», де поняття служби в органах місцевого самоврядування визначається як професійна, на постійній основі діяльність громадян України, які займають посади в органах місцевого самоврядування, що спрямована на реалізацію територіальною громадою свого права на місцеве самоврядування та окремих повноважень органів виконавчої влади, наданих законом [8]. Проте законодавство має ряд недоліків, серед яких, на нашу думку, варто виділити місцеву політизацію – на громадян впливає місцеве самоврядування як партійна структура, оскільки політичні закону стосуються фінансування органів місцевого самоврядування або мають на них певний вплив. Саме недоліки українського законодавства призводять до численних конфліктів між органами державної влади та місцевого самоврядування [3].

Інша проблема правового регулювання стосується також нечіткості чинного законодавства, а саме – на місцях службовці органів місцевого самоврядування мають виконувати свою функцію та приймати ефективні рішення для своєї громади, але стикаються з недостатньою кількістю повноважень, наданих їм або з недостатньою кваліфікацією кадрового персоналу, що значно погіршує виконання їхніх обов'язків та загалом впливає на усю систему служби в органах місцевого самоврядування [3]. З нашої точки зору, саме такі недоліки зумовили прийняття Верховною Радою України 2 травня 2023 року в другому читанні та в цілому законопроєкт «Про службу в органах місцевого самоврядування» (№ 6504 від 05.01.2022) [9]. Основні відмінності від чинного однойменного закону представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця старого Закону України «Про службу в органах місцевого самоврядування» та проєкту нової редакції одноіменного Закону № 6504

Діючий Закон	Законопроєкт № 6504
Не чітке розрізнення службовців, які мали здійснювати виконавчу функцію, від осіб, обраних громадою для здійснення законодавчої та представницької функції.	Розмежування посад службовців МС та виборних посадових осіб
Принцип неприйнятності політичної дискримінації при здійсненні службової діяльності у місцевому самоврядуванні.	Принцип політичної неупередженості
Існування можливості призначення керівника служби, який мав брати на себе відповідальність за забезпечення ефективності роботи службовців та реалізацію стратегічних цілей органів місцевого самоврядування.	Створення інституту керівника служби в ОМС
Переведення на держслужбу та з держслужби з конкурсом	Переведення на держслужбу та з держслужби без конкурсу
Передбачений чесний відбір без звітності на Єдиному порталі вакансій публічної служби, лише на офіційному вебсайті місцевої ради	Прозорий відбір та звітність на Єдиному порталі вакансій публічної служби та на офіційному вебсайті місцевої ради
надавав можливість оцінювати результати роботи службовців і встановлювати відповідальність за їх діяльність у межах встановлених процедур та критеріїв.	Обов'язкове оцінювання результатів службової діяльності
Заробітна плата складається з окладу, додаткових виплат, компенсацій, надбавок.	Нова система оплати праці в ОМС, нова схема посадових окладів та встановлення граничної суми

Джерело: складено автором за даними [8; 9].

Проєкт № 6504 встановлює передумови для створення професійних служб, а саме: розмежування посад між службовцями місцевого самоврядування та виборними посадовими особами, запровадження принципу політичної неупередженості працівників, прозорий конкурсний відбір, оцінка результатів службової діяльності, винагороди, покарання та підвищення, нова система оплати праці. Посади будуть займатися через конкурс, а порядок проведення таких конкурсів затверджується відповідним місцевим комітетом з урахуванням стандартної закріпленої законодавством процедури. Рішення про оголошення конкурсу приймає начальник служби, який створює конкурсну комісію [2]. Дуже значущим і для демократичного суспільства, і в умовах євроінтеграції стане те, що вакансії будуть оголошені на Єдиному порталі вакансій державної служби та на офіційних сайтах місцевих рад, а конкурс буде передбачати перевірку документів, тести, співбесіди та/або інші види оцінювання, згідно з правилами конкурсу [6]. Це, в свою чергу означає, і рівні умови для кандидатів, і прозорість інформації, і забезпечення якості професійних навичок службовців тощо.

На нашу думку, цей законопроєкт фактично наближує службу в органах місцевого самоврядування до служби в державних органах, використовуючи ті самі механізми та інструменти регулювання службової діяльності: професійні стандарти (певні вимоги, які регулюють навички, знання та поведінку), конкурсний відбір (звітність на Єдиному порталі, об'єктивний відбір, процесуальний аспект), дотримання законодавства (діяльність службовців ґрунтується виключно відповідно до законодавства України, включаючи правила щодо етики, конфлікту інтересів та інші норми, що регулюють діяльність службовців).

Варто звернути увагу на досвід скандинавських країн (табл. 2), де службовці повинні діяти незалежно від політичних впливів та інших зовнішніх чинників і працюють виключно заради інтересів громади, що сприяє розвитку їхніх комунікаційних навичок, адже саме в цьому і полягає їх фукнція – у взаємодії з громадою [7].

Таблиця 2

Порівняння досвіду організації служби в органах місцевого самоврядування України та скандинавських країн

Аспекти	Україна	Швеція	Норвегія	Данія
Утотожнення понять	Поняття "публічна служба" використовується для опису державної служби, а також для виконавчих органів місцевого самоврядування. Окремо від цього, існує поняття "служба в органах місцевого самоврядування"	Поняття "offentlig tjänst" (публічна служба) використовується для опису як державної служби, так і служби в органах місцевого самоврядування	Поняття "offentlig tjeneste" (публічна служба) використовується як для державної служби, так і для служби в органах місцевого самоврядування	Поняття "offentlig tjeneste" (публічна служба) застосовується для опису як державної служби, так і служби в органах місцевого самоврядування
Структура	Централізована система з обласними та місцевими відділеннями	Децентралізована система з комунами та регіональними органами самоврядування	Децентралізована система з комунами та округами	Децентралізована система з комунами та регіональними органами самоврядування
Роль службовців	Виконавча робота, надання послуг та розробка політик в межах місцевого самоврядування	Виконавча робота, розробка політик та надання послуг на місцевому рівні		
Вимоги до кваліфікації	Визначені національними законами та правилами, необхідна кваліфікація залежить від посади	Високий рівень освіти, професійні навички	Високий рівень освіти, професійні навички та досвід роботи у відповідній сфері	Високий рівень освіти, професійні навички та досвід роботи у відповідній сфері
Оплата праці	Зарплата встановлюється національними нормативними актами та враховується вислуга років	Зарплата базується на системі колективних договорів	Зарплата враховує рівень кваліфікації та відповідальності	Зарплата базується на системі колективних договорів та враховує рівень кваліфікації та відповідальності

Джерело: складено автором за даними [5; 7].

Інакше питання стосувалося системи обліку заробітної плати, що також відображено у табл. 2, в органах місцевого самоврядування – великий розрив в індивідуальних заробітних платах, що, очевидно, порушує універсальний принцип справедливості, на якому базується європейська національна система оплати праці. Також розмір зарплати залежить від додаткової винагороди, встановленої керівником. Повертаючись до досвіду скандинавських країн (табл. 2), там органи наділені повноваженнями самостійно вирішувати деталі та схеми оплати, проте законодавством встановлені чіткі та справедливі межі, засновані на компетенціях та відповідальності [1].

Законопроєкт ж частково вирішує цю проблему шляхом реформування схеми посадових окладів і встановлює крайню межу посадових окладів. Ним ж не передбачається встановлення нижньої межі і корегування частки виплат, які залежать від суб'єктивної думки керівника [4]. Не дивлячись на те, що суттєві зміни відбулися в кращу сторону, все ще існують питання, пов'язані з частками виплат за стаж, які потребують збалансованого підходу з урахуванням інтересів службовців в органах місцевого самоврядування. Наступні реформи, на нашу думку, будуть вузьконаправленими саме з цієї сфери, оскільки перехід до системи на основі навичок та компетенцій є надзвичайно складним завданням з огляду не тільки не існуючу недосконалу публічну систему, а й з урахуванням поточної ситуації станом на 2023 рік в Україні.

Україна розділяє такі поняття як «державна служба» та «служба в органах місцевого самоврядування», натомість вони можуть мати схожі риси і бути повністю тотожними в деяких країнах, що відображено на табл. 2. Основними причинами такого ототожнення є те, що обидва типи служби спираються на загальні принципи професіоналізму, неперервності, неприбутковості, забезпечення інтересів громадян при виконанні публічних обов'язків [10].

Наприклад, у Швеції використання поняття публічна служба для опису як державної служби, так і служби в органах місцевого самоврядування пояснюється тим, що в обох випадках служба базується на принципах прозорості, неприбутковості та забезпечення інтересів громадян. Проте ці служби й там розділяють по тим самим причинам, що й в Україні: різна компетенція та сфера впливу; право на автономію та самоврядування, а також різні специфіки роботи та контекст. Цікавою особливістю у скандинавській моделі місцевого самоврядування є те, що службовці в органах місцевого самоврядування в Швеції мають високий рівень професіоналізму та незалежності – вони проходять спеціалізовану підготовку та мають відповідні кваліфікації для виконання своїх обов'язків [8].

У Данії поняття публічна служба також застосовується для опису як державної служби, так і служби в органах місцевого самоврядування. Це пов'язано зі спільними принципами ефективного та надійного виконання публічних обов'язків незалежно від рівня управління. Щодо Норвегії, то слід звернути увагу на вимоги до службовців в ОМС, таким чином не враховується надбавка за вислугу років, а основні критерії покладаються на такі елементи, як: високий рівень освіти, професійні навички та досвід роботи у відповідній сфері [8].

Таке узагальнення впливає на спрощення адміністративних процедур та забезпечення єдиної системи набору і управління персоналом; уніфікація норм та принципів регулювання службової діяльності, що також спрощує виконання та розуміння вимог, прав та обов'язків для службовців як на рівні державних, так і місцевих органів.

Висновки та перспективи

Отже, модель скандинавської організації служби в органах місцевого самоврядування має ряд схожих рис – велика увага до розвитку місцевого самоврядування та його ролі в управління територіями; певні особливі вимоги для службовців в ОМС; акцент уваги на прозорості та відкритості; використання інноваційних підходів для покращення ефективності роботи службовців в ОМС – на підставі яких при майбутніх реформах щодо служби в ОМС українським діячам треба звернути увагу на досвід саме цих країн з таких аспектів як: професійна підготовка та кваліфікація (вивчення підходів щодо надання належної професійної підготовки та кваліфікації службовцям), конкурсний відбір та прозорість, конкурсний відбір та прозорість (вивчення практик забезпечення об'єктивного та справедливого процесу), залучення громадськості (на основі високо компетентних спеціалістів запроваджувати вищий рівень залучення громадськості до процесів в ОМС).

У статті доведено, що активна реформація служби в органах місцевого самоврядування позитивно впливає на всю систему публічної служби, в тому числі і на відповідні територіальні громади, де здійснюють свої повноваження службовці, однак їх все ще недостатньо та вони потребують більш детального, глибокого розгляду щодо їх майбутнього впровадження таким чином, щоб захистити службовців в органах місцевого самоврядування та надати їм певні гарантії, а також підняти імідж даної служби.

Подальші реформи мають включати в себе ґрунтовний розгляд зарубіжного досвіду, зокрема окрема увагу треба звернути на скандинавську модель місцевого самоврядування та на її окремі елементи: вимоги до службовців, їх система окладів, правил та етики. Таким чином посадові особи органів місцевого самоврядування зможуть ефективно виконувати свої завдання та сприяти розвитку не тільки своєї територіальної громади, а також бути рушієм для позитивних змін для всієї України.

Список використаної літератури

1. Багмет М., Ємельянов В. Історія та практика державного управління і місцевого самоврядування в Україні. Миколаїв : МДГУ. Т. 2 : *Актуальні проблеми реформування органів місцевого самоврядування*. 292 с.

2. Бойко О. Служба в органах місцевого самоврядування: заручник чи провайдер. URL: https://rubryka.com/blog/service-in-local-self-government/ (дата звернення: 21.05.2023).

3. Демченко М.О. Правові аспекти розвитку та вдосконалення окремих інститутів місцевого самоврядування, участь громадян у цьому процесі. *Розвиток місцевого самоврядування як чинник демократизації суспільства:* збірник тез доповідей Маріупольського державного університету, м. Київ 27 квітня 2023 р. С. 17–21.

4. Лопушинський І., Філіппова В., Плющ Р. Служба в органах місцевого самоврядування україни: Новації законодавчого забезпечення. *Expert: Paradigm of Law and Public Administration.* 2022. Вип. (1). С. 103–113. https://doi.org/10.32689/2617-9660-2022-1(19)-103-113 (дата звернення: 23.05.2023).

5. Місцеве самоврядування в країнах Скандинавії та Балтії. SKLInternational, 2020. 84 с.

6. Новий Закон України "Про службу в органах місцевого самоврядування": нова якість служби. Децентралізація в Україні. URL: https://decentralization.gov.ua/news/16506 (дата звернення: 21.05.2023).

7. Примуш М. В., Ярош Я. Б. Шляхи реформування органів місцевого самоврядування в Україні у контексті зарубіжного досвіду. *Політичне життя.* 2021. № 1. С. 31–40. URL: https://doi.org/10.31558/2519-2949.2021.1.5 (дата звернення: 21.05.2023).

8. Про службу в органах місцевого самоврядування : Закон України від 07.06.2001 р. № 2493-III : станом на 1 серп. 2021 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2493-14#Text (дата звернення: 25.05.2023).

9. Про службу в органах місцевого самоврядування: Проєкт Закону «Про службу в органах місцевого самоврядування» № 6504 від 05 січня 2022 року / Шмигаль Д. / Кабінет Міністрів України URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=73563 (дата звернення 21.05.2023)

10. Щебетун І. С., Волошина К. Ю. Проблеми реформування місцевого самоврядування: зарубіжний досвід та українські реалії. *Правничий часопис Донецького національного університету імені Василя Стуса*. 2022. № 2. С. 82–91. URL: https://doi.org/10.31558/2786-5835.2022.2.9 (дата звернення: 22.05.2023).

References

1. Bagmet M., Yemel'yanov V. *Istoriya ta prakty'ka derzhavnogo upravlinnya i miscevogo samovryaduvannya v Ukrayini* [History and practice of public administration and local self-government in Ukraine] Mykolayiv: MDGU Aktual'ni problemy' reformuvannya organiv miscevogo samovryaduvannya [in Ukrainian].

2. Bojko O. (2023) *Sluzhba v organax miscevogo samovryaduvannya: zaruchny'k chy' provajder* [Service in local self-government: hostage or provider].

3. Demchenko M.O. (2023) *Pravovi aspekty' rozvy'tku ta vdoskonalennya okremy'x insty'tutiv miscevogo samovryaduvannya, uchast' gromadyan u cz'omu procesi* [Legal aspects of the development and improvement of certain local self-government institutions, and the participation of citizens in this process]. Rozvy'tok miscevogo samovryaduvannya yak chy'nny'k demokraty'zaciyi suspil'stv [in Ukrainian].

4. Lopushy'ns'ky'j I., Filippova V., Plyushh R. (2022) *Sluzhba v organax miscevogo samovryaduvannya ukrayiny': novaciyi zakonodavchogo zabezpechennya* [Service in local self-government bodies of Ukraine: Innovations in legislative support]. Expert: paradigm of law and public administration.

5. SKLInternational (2020): *Misceve samovryaduvannya v krayinax Skandy'naviyi ta Baltiyi* [Local government in the Scandinavian and Baltic countries].

6. Novy'j Zakon Ukrayiny' (2023) *"Pro sluzhbu v organax miscevogo samovryaduvannya": nova yakist' sluzhby'. Decentralizaciya v Ukrayini* [The new Law of Ukraine «On Service in Local Self-Government»: a new quality of service. Decentralisation in Ukraine].

7. Pry'mush M. V., Yarosh Ya. B. (2021) Shlyaxy' reformuvannya organiv miscevogo samovryaduvannya v Ukrayini u konteksti zarubizhnogo dosvidu [Ways to reform local self-government in Ukraine in the context of foreign experience]. Polity'chne zhy'ttya. [in Ukrainian].

8. Pro sluzhbu v organax miscevogo samovryaduvannya : Zakon Ukrayiny' vid 07.06.2001. № 2493-III.

9. Shmy'gal' D. (2022). Pro sluzhbu v organax miscevogo samovryaduvannya: Proyekt Zakonu «Pro sluzhbu v organax miscevogo samovryaduvannya» № 6504 05.01.2022.

10. Shhebetun I. S., Voloshy'na K. Yu. (2022) *Problemy' reformuvannya miscevogo samovryaduvannya: zarubizhny'j dosvid ta ukrayins'ki realiyi* [Problems of reforming local self-government: foreign experience and Ukrainian realities]. Pravny'chy'j chasopy's Donecz'kogo nacional'nogo universy'tetu imeni Vasy'lya Stusa [in Ukrainian].

УДК 351/354:35.071:342.92:3315.07 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.37

Н. О. СЕРЬОГІНА
кандидат юридичних наук, доцент,
завідувач відділу аспірантури та докторантури
Національний університет охорони здоров'я України
імені П. Л. Шупика
ORCID: 0000-0002-4491-4723

ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ ЗАЙНЯТОСТІ В СФЕРІ МЕДИЦИНИ ЯК НЕОБХІДНА ПЕРЕДУМОВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

У статті розкрито проблемних аспектів зайнятості в сфері медицини як необхідна передумова забезпечення безпеки держави. Досліджено стан зайнятості в сфері медицини зважаючи на останні події в Україні, зокрема поширення пандемії коронавірусної хвороби. Встановлено, що загострення сучасних проблем глобального характеру (розповсюдження епідемій, загострення військових конфліктів, зростання старіння суспільства тощо) обумовлюють появу необхідності у медичному обслуговуванні належного рівня, а також у якісній відбудові кадрового забезпечення сфери охорони здоров'я, зокрема у покращенні зайнятості населення в даній сфері. Розкрито проблеми зайнятості в сфері медицини в Україні, зокрема скорочення кількості зайнятих у сфері медицини; погіршення авторитетності медичних спеціальностей; значне скорочення масштабів підготовки медпрацівників; стабільне зменшення доступу населення до отримання медичної освіти; погіршення рівноваги кількості зайнятих в сфері медицини між міською та сільською місцевостями; недостатній рівень мотивації медпрацівників до ефективної діяльності, що зумовлено недосконалістю системи її оплати; висока частка працівників пенсійного віку у структурі кадрового забезпечення сфери медицини; неконтрольовані міграційні процеси серед медпрацівників з України за кордон. Наведено чинники, що впливають на стан зайнятості в сфері медицини. Визначено шляхи вирішення проблеми зайнятості в сфері медицини в Україні, зокрема покращення кадрового забезпечення сфери охорони здоров'я за рахунок впровадження удосконалених освітніх програм; сприяння дотримання прав працівників, зайнятих в сфері медицини; подолання перешкод в напрямі доступу студентів до отримання медичної спеціальності; зростання обсягів фінансування в розвиток сфери медицини з метою залучення капіталовкладень у базову підготовку медичних працівників. Подібні заходи сприятимуть створенню висококваліфікованого та мотивованого кадрового забезпечення в сфері медицини, а також посилить його ефективність, що в результаті дозволить покращити стан зайнятості в даній сфері.

Ключові слова: *зайнятість населення, медицина, безпека держави, проблеми зайнятості в сфері медицини, чинники, шляхи вирішення проблеми зайнятості.*

N. O. SEROHINA
Candidate of Law, Associate Professor,
Head of the Department of Postgraduate and Doctoral Studies
Shupyk National Healthcare University of Ukraine
ORCID: 0000-0002-4491-4723

PROBLEMATIC ASPECTS OF EMPLOYMENT IN THE FIELD OF MEDICINE AS A NECESSARY PREREQUISITE FOR ENSURING STATE SECURITY

The article reveals the problematic aspects of employment in the field of medicine as a necessary prerequisite for ensuring the security of the state. The state of employment in the field of medicine was studied, taking into account the latest events in Ukraine, in particular the spread of the coronavirus disease pandemic. It has been established that the aggravation of modern problems of a global nature (the spread of epidemics, the exacerbation of military conflicts, the increase in the aging of society, etc.) cause the emergence of the need for medical care of an appropriate level, as well as for the qualitative reconstruction of personnel support in the field of health care, in particular, in improving the employment of the population in this sphere The problems of employment in the field of medicine in Ukraine are revealed, in particular, the reduction in the number of people employed in the field of medicine; deterioration of the authority of medical specialties; a significant reduction in the scope of training of medical workers; stable decrease in the population's access to medical education; deterioration of the balance of the number of people employed in the field of medicine between urban and rural areas; insufficient level of motivation of medical workers for effective activity, which is caused by the imperfection of the system of its payment; a high share of employees of retirement age in the structure of personnel support in the field of medicine; uncontrolled migration processes among medical workers from Ukraine abroad. Factors influencing the state of employment in the field of medicine are given. Ways to solve the problem of employment in the field of medicine in Ukraine have been determined, in particular, the improvement of human resources in the field of health care through the implementation of improved educational programs; promoting the observance of the rights of

workers employed in the field of medicine; overcoming obstacles in the direction of students' access to obtaining a medical specialty; increase in the amount of funding for the development of the field of medicine in order to attract capital investments in the basic training of medical workers. Such measures will contribute to the creation of highly qualified and motivated personnel in the field of medicine, as well as increase its effectiveness, which will ultimately improve the employment situation in this field.

Key words: *population employment, medicine, state security, employment problems in the field of medicine, factors, ways to solve the employment problem.*

Постановка проблеми

Найголовнішим пріоритетом будь-якої держави є сприяння ефективному розвитку сфери медицини (особливо в частині кадрового забезпечення), що має на меті забезпечення належного рівня суспільного здоров'я та безпеки держави загалом. При суспільних трансформаціях, притаманних сучасності, в розвитку медицини спостерігаються досить активні зміни кількості зайнятих та структури кадрового забезпечення, які переважно пов'язані із зростаючим попитом на медичні послуги, збільшенням їх асортименту і покращенням рівня обслуговування суспільства.

На даний час жодна країна не здатна забезпечити високий рівень суспільної життєдіяльності та добробуту не приділяючи уваги забезпеченню високого рівня ефективності розвитку медицини, яка гарантує будь-якому громадянину надання екстреної та високоякісної медичної допомоги. Однак, зважаючи на практичний досвід зарубіжних країн, можна стверджувати, що впродовж останніх років переважає тенденція до зменшення кількості зайнятих в даній сфері. Безумовно, це призводить до погіршення доступності та якості медичного обслуговування населення, а також до утруднення умов отримання медичної допомоги. Загострення сучасних проблем глобального характеру (розповсюдження епідемій, загострення військових конфліктів, зростання старіння суспільства тощо) обумовлюють появу необхідності у медичному обслуговуванні належного рівня, а також у якісній відбудові кадрового забезпечення сфери охорони здоров'я, зокрема у покращенні зайнятості населення в даній сфері. У розвинутих зарубіжних країн на сьогоднішній день все більше загострюється проблематика, пов'язана із браком медичних працівників, яку вирішують переважно за рахунок посилення міжнародних міграційних процесів медичного персоналу шляхом стимулювання його високою оплатою праці та гідним рівнем життєдіяльності. В той час, коли менш розвинуті країни більш проблематично переживають дані процеси. Тому, на даний час досить важливо дослідити найбільш актуальні проблеми зайнятості в сфері медицини, вирішення яких сприятиме забезпеченню належного рівня суспільного здоров'я та безпеки держави загалом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблематику зайнятості в сфері медицини досліджували такі науковці як Р. Власенко, А. Волосовець, О. Волосовець, В. Заболотько, Є. Лук'янчук, Т. Носуліч, Н. Орлова, Т. Сабецька та інші. Проте, незважаючи на достатню кількість напрацювань науковцями даної проблематики, на сьогоднішній день недостатньо розкрите питання зайнятості в сфері медицини зважаючи на останні події в Україні, зокрема поширення пандемії коронавірусної хвороби.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є розкриття проблемних аспектів зайнятості в сфері медицини як необхідна передумова забезпечення безпеки держави.

Викладення основного матеріалу дослідження

Проблеми зайнятості в медичній системі обговорювалися на офіційних світових майданчиках задовго до пандемії COVID-19. Так, Комісією ООН із зайнятості у сфері охорони здоров'я та економічного зростання визначено, що до 2030 р. в країнах з низьким і нижче середнього рівнем доходів прогнозована глобальна нестача медичних працівників сягне 18 млн. [2, с. 20]. Варто зазначити, що капіталовкладення у кадрове забезпечення в сфері медицини виступає своєрідною гарантією покращення рівня продуктивності функціонування даної сфери в сучасних умовах.

Проблематика зайнятості в сфері медицини потребує комплексного вивчення, у тому числі й виявлення регіональних особливостей формування раціональної професійно-кваліфікаційної структури, визначення основних проблем і перспектив розвитку. На основі таких досліджень можна вносити чіткі пропозиції щодо подальшого реформування системи охорони здоров'я як на загальнодержавному, так і на регіональному рівнях. Завдання забезпечення відповідності рівня її розвитку суспільним потребам закономірно висувають високі вимоги до загальної та професійної підготовки працівників закладів охорони здоров'я, зумовлюють необхідність володіння сучасними технологіями лікувального процесу. Водночас розвиток кадрового потенціалу сфери медицини об'єктивно пов'язаний з тенденціями зайнятості населення, сформованими в останні роки, які, ймовірно, зберігатимуться і в перспективі. Серед них:

– зростання частки осіб похилого віку в складі робочої сили (зайнятих);

– скорочення частки молоді в складі зайнятого населення;

– збільшення чисельності зайнятих у сфері управління;

– зменшення чисельності працюючих безпосередньо у виробництві товарів і послуг [4, с. 174].

Унаслідок загальносвітового тренду щодо зменшення кількості зайнятих в сфери медицини, стан здоров'я населення та рівень організації медичної допомоги у багатьох країнах, особливо з низьким індексом розвитку, в умовах пандемії COVID-19 знаходиться під загрозою через можливе зменшення обсягів надання та зниження доступності медичної допомоги, зокрема невідкладної [8].

Епідемії, війни, старіння населення та зростання рівня захворюваності збільшує потребу у медичних послугах та загострює проблему ефективного відновлення кадрового потенціалу системи охорони здоров'я, що частіше розвинутими країнами вирішується за рахунок міжнародної міграції лікарів та медичних сестер. Це стимулюється значними відмінностями в оплаті праці медичних працівників і загальній якості їх життя у різних країнах [2, с. 21]. Зростання темпів розвитку медицини та невідкладної допомоги в умовах пандемії обумовлює збільшений попит на медичних працівників. Проте, на глобалізованому ринку праці охорони здоров'я наявна пропозиція кадрових ресурсів не відповідає попиту. Відсутність кваліфікованих кадрових ресурсів у цій сфері, низька якість знань і навичок можна розглядати як велику перешкоду в досягненні цілей сталого розвитку [5, с. 113].

У відповідь на COVID-19 ряд країн Організації економічного співробітництва та розвитку (Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD) вже вжили заходів, що дозволяють мобільним медичним працівникам-мігрантам допомогти задовольнити попит на медичне обслуговування в цих країнах, що зростає. Такі дії можуть набути форми сприяння продовженню дозволу на роботу або найму, тимчасового та/ або обмеженого ліцензування, прискореної обробки визнання зарубіжних кваліфікацій або доступу до деяких робочих місць у секторі охорони здоров'я розвинутих країн світу. Задля управління міграційними процесами вже навіть створена Міжнародна платформа щодо мобільності працівників охорони здоров'я. Водночас така ситуація призведе до поглиблення кризових явищ у країнах, що нестимуть найбільші втрати кваліфікованих медичних працівників [2, с. 21].

В Україні з квітня 2020 р. на нову систему фінансування перейшли заклади охорони здоров'я так званого другого рівня, які надають спеціалізовану медичну допомогу. Після укладання договору із Національною службою здоров'я України такі медичні заклади почали отримувати фінансові відшкодування за надані медичні послуги за програмою медичних гарантій. Перед початком другого етапу медичної реформи у суспільстві спостерігалися побоювання, що окремі медичні заклади закриють, а лікарі виїжджатимуть у пошуках роботи за кордон. Проте, як показують дані електронної системи охорони здоров'я України, прогнозованої критичної ситуації з кадровим забезпеченням вітчизняної медичної системи не спостерігається [7].

Основним же джерелом збільшення чисельності медичних кадрів залишається їх ефективна підготовка та перепідготовка за освітніми програмами різного рівня. У більшості країн Європейського регіону спостерігається стале збільшення обсягів підготовки лікарів та медичних сестер. Без правильних політичних рішень, належного соціального захисту, постійної уваги влади й суспільства до галузі та постійного поповнення лав лікарів та молодших медичних працівників з медичною освітою, успішна боротьба з епідеміями інфекційних та неінфекційних хвороб стане проблематичною [2, с. 22].

Тому, зважаючи на те, що державою не достатньо приділялася увага щодо проблем зайнятості в сфері медицини, на сьогоднішній день можна спостерігати:

– скорочення кількості зайнятих у сфері медицини, див. рис. 1.

Так, на кінець 2021 року в Україні кількість зайнятого населення в сфері охорони здоров'я склала 913,4 тис. осіб, що на 268 тис. осіб або на 22,68% в порівнянні з 2012 роком. Варто зазначити, що в Україні найбільш гостро відчувають брак зайнятого населення в даній сфері у сільській місцевості.

– погіршення авторитетності медичних спеціальностей;

– значне скорочення масштабів підготовки медпрацівників;

– стабільне зменшення доступу населення до отримання медичної освіти;

– погіршення рівноваги кількості зайнятих в сфері медицини між міською та сільською місцевостями;

– недостатній рівень мотивації медпрацівників до ефективної діяльності, що зумовлено недосконалістю системи її оплати;

– висока частка працівників пенсійного віку у структурі кадрового забезпечення сфери медицини;

– неконтрольовані міграційні процеси серед медпрацівників з України за кордон.

Все вище наведене, негативно впливає на стан зайнятості в сфері медицини, а також веде до недостатнього забезпечення безпеки як держави, так і її суспільства.

Основними чинниками, що впливають на стан зайнятості в сфері медицини, є, безперечно, демографічна ситуація, особливості розвитку системи охорони здоров'я на регіональному рівні, а також промисловий або аграрний характер економічного розвитку, наявність санаторно-курортних закладів, розгалужена мережа науково-дослідних установ, наявність медичних університетів і спеціалізованих медичних закладів [4, с. 175].

За час незалежності нашої країни кількість лікарів та молодшого медичного персоналу скоротилась у 2 та 4 рази відповідно. Особливого загострення ситуація набула у 2020–2021 рр. під час коронакризи. За підрахунками

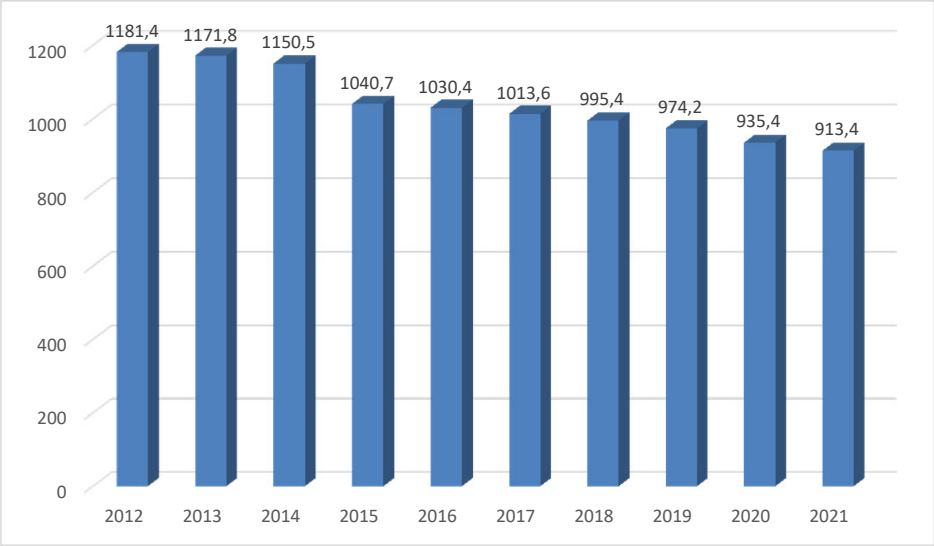


Рис. 1. Динаміка кількості зайнятого населення в сфері охорони здоров'я в Україні протягом 2012–2021 років, тис. осіб Джерело: [6]

експертів, протягом 2020 р. через незадовільні умови праці (відсутність засобів індивідуального захисту, різке зростання робочого навантаження, застарілу матеріально-технічну базу тощо) звільнилось понад 34 тис. медичних працівників. Крім того, майже третина (28,7 %) лікарів та медичних сестер були інфіковані COVID-19, частина працівників пенсійного і передпенсійного віку були змушені брати відпустки без збереження заробітної плати через загрозу інфікування та важкого перебігу коронавірусної хвороби (віковий самоценз), що на певний час виключило їх із системи охорони здоров'я [1].

З першого погляду видається, що середній рівень забезпеченості населення лікарями, який у 2020 р. склав 35,6 осіб на 10 тис. населення, є високим, адже перевищує аналогічний показник для європейських країн – 33 фахівці на 10 тис. населення. Проте варто зазначити, що в Європі мова йде виключно про лікарів-практиків, які безпосередньо надають медичні послуги, тоді як в Україні даний показник включає також методистів і організаторів, які працюють у сфері охорони здоров'я, санітарних лікарів, науковців. Так, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я на сьогоднішній день за рівнем забезпеченості лікарями та медичними сестрами й акушерками Україна знаходиться на 38-му місці в Європейському регіоні [8]. Цікаво, що за рівнем забезпеченості практикуючими лікарями Україна знаходиться на одному рівні з такими розвиненими країнами як Південна Корея, Японія, Польща й Великобританія. Разом з тим вдвічі поступається за цим показником Словаччині, Угорщині, Норвегії та Італії [2, с. 22].

Криза COVID-19 ще більше підкреслила проблему дефіциту персоналу. Тенденції ринку праці в галузі охорони здоров'я доводять, що попит на медичних працівників випереджає пропозицію та створює серйозний тиск на системи охорони здоров'я в світі. За прогнозними даними ВООЗ в 2023 році попит на медичних працівників зросте до 80 млн. працівників, тоді як пропозиція досягне 75 млн. Наслідки пандемії доводять, що державна політика країн, які традиційно формували кадрову політику в сфері охорони здоров'я на основі простих коефіцієнтів чисельності населення та еталонних показників щільності медичних працівників, не відповідає сучасним потребам населення у сфері охорони здоров'я чи надзвичайним ситуаціям. Пандемія COVID-19 підкреслює важливість оптимального управління людськими ресурсами для сфери охорони здоров'я [5, с. 116].

Проблеми якості медичного персоналу, ознакою якої є високий професіоналізм і яка забезпечуються постійною потребою у підвищенні професійних здатностей надавати кваліфіковану медичну допомогу, є актуальними і для зарубіжної практики. Так за висновками фахівців, старіння населення та дефіцит кваліфікованих лікарів підвищують важливість пошуку, найму, навчання та утримання кваліфікованих працівників. Зростаючий розрив між попитом та пропозицією кваліфікованих фахівців уже зараз створює проблеми для державних та приватних систем охорони здоров'я. Окрім того, багато лікарів відчувають професійне вигорання та зниження результативності роботи [3].

Для забезпечення ефективного функціонування системи охорони здоров'я потрібні стратегічне планування, підтримка та зміцнення потенціалу кадрових ресурсів. Для нарощування та розгортання ефективної кадрової політики в сфері охорони здоров'я необхідні стратегічні підходи, які охоплюють розгляд питань щодо чисельності та наявності медичних працівників; їх розподілу; спеціальних знань та навичок, отриманих у ході належної підготовки; організації шляхів надання послуг; безпечних та гідних умов праці, включаючи безпеку та гігієну

праці; оперативного огляду політики та регулюючих положень; допоміжних механізмів, у тому числі фінансових ресурсів [5, с. 118].

Міжнародна організація праці зазначає, що вирішення проблем кадрового забезпечення галузі охорони здоров'я може відбуватись двома шляхами: поліпшенням умов праці та вдосконаленням управлінського механізму. Підвищення ефективності використання кадрових ресурсів можна досягти шляхом посилення спроможності національних установ розробляти та впроваджувати дієвіші стратегії розвитку та здійснювати відповідне регулювання кар'єрних траєкторій працівників охорони здоров'я, реалізовувати моделі кадрової політики, що б передбачали створення «запасу» медичних працівників [1].

Висновки та пропозиції

Таким чином, на основі вище наведеного можна дійти висновку, що стан зайнятості в сфері медицини в Україні на сьогоднішній день є задовільним. Однак, існує чимало проблем в даній сфері, які при умові їх загострення можуть набути більш глобального характеру. Управління кадровим забезпеченням в сфері медицини має задовольняти потреби медичних закладів у спеціалістах з належними комунікативними якостями та кваліфікаційним рівнем, які спроможні опанувати новітні медичні технології та користуватися ними в практичній діяльності. Відтак, на нашу думку, з метою вирішення проблем зайнятості в сфері медицини, державі необхідно розробити цілий комплекс заходів, спрямованих на:

– покращення кадрового забезпечення сфери охорони здоров'я за рахунок впровадження удосконалених освітніх програм;

– сприяння дотримання прав працівників, зайнятих в сфері медицини;

– подолання перешкод в напрямі доступу студентів до отримання медичної спеціальності;

– зростання обсягів фінансування в розвиток сфери медицини з метою залучення капіталовкладень у базову підготовку медичних працівників.

На нашу думку, подібні заходи сприятимуть створенню висококваліфікованого та мотивованого кадрового забезпечення в сфері медицини, а також посилить його ефективність, що в результаті дозволить покращити стан зайнятості в даній сфері.

Список використаної літератури

1. Власенко Р.В. Щодо кадрового забезпечення галузі охорони здоров'я. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-09/ohorona-zdorovya.pdf.

2. Волосовець О. П., Заболотько В. М., Волосовець А. О. Кадрове забезпечення галузі охорони здоров'я в Україні та світі: сучасні виклики. *Українські медичні вісті.* 2020. № 1 (84). Том 2. С. 20–26.

3. Лук'янчук Є. Скоро не буде кому лікувати, або Що чекає на традиційну модель медичної допомоги?. URL: https://www.apteka.ua/article/531937.

4. Носуліч Т.М. Кадровий потенціал системи охорони здоров'я: проблеми та перспективи розвитку. *Демографія та соціальна економіка.* 2006. № 1. С. 173–179.

5. Орлова Н.С. Проблеми формування кадрового потенціалу галузі охорони здоров'я в умовах пандемії COVID-19 у світі. *Наукові інновації та передові технології.* 2022. № 10 (12). С. 112–122.

6. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/.

7. Сабецька Т.І. Аналіз кадрового забезпечення галузі охорони здоров'я України. *Економіка та суспільство.* 2022. Випуск 40. URL: https://www.economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1466/1411.

8. Organisation for Economic Co-operation and Development (2020) Contribution of migrant doctors and nurses to tackling COVID-19 crisis in OECD countries. URL: http://www.oecd.org/ coronavirus/policy-responses/contribution-of-migrant-doctors-and-nurses-to-tackling-covid-19-crisis-in-oecd-countries2f7bace2/#tablegrp-d1e94.

References

1. Vlasenko R.V. Shchodo kadrovoho zabezpechennya haluzi okhorony zdorov″ya. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-09/ohorona-zdorovya.pdf

2. Volosovets′ O. P., Zabolot′ko V. M., Volosovets′ A. O. Kadrove zabezpechennya haluzi okhorony zdorov″ya v Ukrayini ta sviti: suchasni vyklyky. Ukrayins′ki medychni visti. 2020. № 1 (84). Tom 2. S. 20–26

3. Luk″yanchuk YE. Skoro ne bude komu likuvaty, abo Shcho chekaye na tradytsiynu model′ medychnoyi dopomohy?. URL: https://www.apteka.ua/article/531937

4. Nosulich T. M. Kadrovyy potentsial systemy okhorony zdorov″ya: problemy ta perspektyvy rozvytku. Demohrafiya ta sotsial′na ekonomika. 2006. № 1. S. 173–179

5. Orlova N.S. Problemy formuvannya kadrovoho potentsialu haluzi okhorony zdorov″ya v umovakh pandemiyi COVID-19 u sviti. Naukovi innovatsiyi ta peredovi tekhnolohiyi. 2022. №10 (12). S. 112–122

6. Ofitsiynyy sayt Derzhavnoyi sluzhby statystyky Ukrayiny. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/

7. Sabets′ka T.I. Analiz kadrovoho zabezpechennya haluzi okhorony zdorov″ya Ukrayiny. Ekonomika ta suspil′stvo. 2022. Vypusk 40. URL: https://www.economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/1466/1411

8. Organisation for Economic Co-operation and Development (2020) Contribution of migrant doctors and nurses to tackling COVID-19 crisis in OECD countries. URL: http://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/contribution-of-migrant-doctors-and-nurses-to-tackling-covid-19-crisis-in-oecd-countries2f7bace2/#tablegrp-d1e94

УДК 667.021.1 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.38

В. С. ХМЕЛЮК
аспірант кафедри адміністративного та фінансового менеджменту
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: 0000-0002-5591-5932

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВЕ ПАРТНЕРСТВО З МІЖНАРОДНИМИ ОРГАНІЗАЦІЯМИ В УМОВАХ МІГРАЦІЙНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

У статті досліджено навчально-наукове міжнародне партнерство з міжнародними організаціями в умовах міграційної політики та описано важливу роль освіти навіть в умовах міграції та підтримка здобувачів освіти із України за кордоном. Досліджені ризики міграційної освіти, а саме залежність від іноземних викладачів та програм, та інші. Не виключені також і переваги та шляхи удосконалення , особливості такої освіти , що пов'язані з необхідністю забезпечення доступності та якості освіти для дітей та молоді.

Сьогодні міста та регіони з розвинутою мережею ВНЗ є так званими центрами притягання міграційних потоків бажаючих здобувати освіту. Вже зараз, суттєво зросла конкурентоспроможність цих закладів. Зростання кількості студентів, що проживають поза межами знаходження ВНЗ, засвічує про зростання обсягів освітньої міграції на внутрішньому та міжрегіональному рівнях. Існують ще й такі практичні заходи, які мають потенціал у внутрішній та міжрегіональній освітній міграції, це співпраця між університетами, обмін аспірантами та докторантами з метою їхньої участі у спільних наукових дослідженнях із різних галузей науки, викладання, написання спільних наукових праць.

Зрозуміло, що програми міжнародного співробітництва допомагають та створюють можливості навчатися, працювати та подорожувати. Дуже цінне навчально-наукове партнерство тим, що не обмежується розташуванням, а включає у себе технологічний прогрес і змогу завжди бути на зв'язку здобувачам. На сьогодні, міграційна освіта є важливим методом підвищення якості освіти та конкурентоспроможності держави в міжнародному партнерстві. Співпраця, тобто навчально-наукове партнерство з міжнародними організаціями може набувати різних форм і не повинна розглядатися як результат злиття цих організацій або ж поглинання.

Досліджено, що встановлення партнерства може бути легким завданням, а ось підтримка переваг даного партнерства у довгостроковій перспективі може виявитися складнішим завданням, потребувати додаткових зусиль двох сторін.

Сучасна міграційна освіта для нашої держави це можливість передбачення майбутніх освітніх тенденцій, демонстрація свого лідерства та неймовірні можливості для академічного та особистісного зростання як професіоналів у свої сфері.

Ключові слова: *партнерство, політика, освіта, міграція, програма, Україна, метод, навчальні заклади.*

V. S. KHMELYUK
Postgraduate Student at the Department of Administrative
and Financial Management
Lviv Polytechnic National University
ORCID: 0000-0002-5591-5932

EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC PARTNERSHIP WITH INTERNATIONAL ORGANIZATIONS IN THE CONDITIONS OF MIGRATION POLICY OF UKRAINE

The article examines educational and scientific international partnership with international organizations in the context of migration policy and describes the important role of education even in the context of migration and support for education seekers from Ukraine abroad. The risks of migration education, namely dependence on foreign teachers and programs, and others, were studied. Advantages and ways of improvement, features of such education, which are related to the need to ensure accessibility and quality of education for children and youth, are also not excluded.

Today, cities and regions with a developed network of higher education institutions are the so-called centers of attraction for migration flows of those wishing to get an education. Already now, the competitiveness of these institutions has significantly increased. The increase in the number of students living outside the location of the higher education institution indicates the increase in the volume of educational migration at the internal and interregional levels. There are also such practical measures that have the potential for internal and interregional educational migration, such as cooperation between universities, exchange of post-graduate students and doctoral students for the purpose of their participation in joint scientific research from various fields of science, teaching, writing joint scientific works.

It is clear that international cooperation programs help and create opportunities to study, work and travel. A very valuable educational-scientific partnership is not limited to location, but includes technological progress and the ability to always be in touch with applicants. Today, migration education is an important method of improving the quality of

education and the competitiveness of the state in international partnership. Cooperation, that is, educational-scientific partnership with international organizations can take different forms and should not be considered as the result of a merger of these organizations or a takeover.

It has been studied that establishing a partnership can be an easy task, but maintaining the benefits of this partnership in the long run can be a more difficult task, requiring additional efforts from both parties.

Modern migration education for our state is an opportunity to predict future educational trends, demonstrate your leadership and incredible opportunities for academic and personal growth as professionals in their fields.

Key words: *partnership, policy, education, migration, program, Ukraine, method, educational institutions.*

Постановка проблеми

Вищі навчальні заклади та дослідницькі наукові інститути покликані відіграти важливу роль в підготовці людей до майбутніх викликів, надаючи при цьому актуальні знання. По всьому світу, університети прагнуть максимально ефективно використати можливості міжнародного партнерства.

Партнерство це особливий вид відносин, при котрому люди чи організації об'єднують свої ресурси для виконання певної діяльності. Можна говорити про те, що партнерство налагоджується тоді, коли нам необхідно зробити певну справу, яку ми не можемо виконати самостійно.

Викладення основного матеріалу дослідження

Міжнародна діяльність закладу освіти здійснюється відповідно до основних напрямків міжнародної діяльності університетів та наукових інститутів.

Таким чином, викладачі й студенти приймають активну участь у різних міжнародних науково-освітніх заходах. Зі своєї сторони, керівництво навчальних закладів допомагає викладачам і студентам пройти стажування або виробничу практику за кордоном, брати участь у роботі наукових конференцій, з'їздів, семінарів за кордоном.

Окремо варто зазначити, що співпраця більше не обмежується закладами, розташованими безпосередній близькості один від одного. Так як, сучасні технології можуть поєднувати навчальні заклади, розділені сотнями або тисячами кілометрів.

Навчальні заклади обирають партнерів для співпраці, керуючись не так близькістю, як загальними баченням та стратегічними цілями.

Експерти зазначають, що пропозиції про злиття державних університетів останніми роками звучать дедалі частіше. Однак, це більш як метод скорочення витрат.

Співпраця може набувати різних форм і не повинна розглядатися як результат злиття або поглинання.

Встановлення партнерства може бути легким завданням; а ось підтримка переваг партнерства у довгостроковій перспективі може виявитися складнішим завданням.

Міграційна освіта в Україні – це процес забезпечення освітою молоді, які переселилися з інших країн чи мігрують в межах України. Такі діти та молодь можуть бути біженцями [1].

Сьогодні, Україна внаслідок військових дій переживає чи не найбільшу міграційну кризу в своїй історії. Велика кількість вимушених переселенців з України, зараз заполонили країни Європи.

Станом на травень 2023 року з України за час повномасштабної війни виїхало близько 8,1 мільйона людей, переважно жінок та дітей. Серед них – приблизно 640 тисяч школярів і близько 800 тисяч тисяч людей віком від 20 до 29 років. Найбільше біженців з України перебувають у таких десяти країнах: Польщі, Німеччині, Чехії, Італії, Іспанії, Туреччині, Великій Британії, Франції, Австрії та Нідерландах.

Іншими словами, зараз понад мільйон молодих українців виїхали і вчаться в країнах із розвиненими освітніми системами.

Провідні вчені з Інституту демографії та соціальних досліджень НАН України, наголошують, що є чіткий зворотно-пропорційний зв'язок: що довше триватиме війна, то менше людей повернеться. Отже, ми маємо вже розуміти, що частина мігрантів не повернеться.

Тож, міграційна освіта є важливим елементом інтеграції мігрантів та біженців у новому середовищі, допомагає їм успішно адаптуватися та розвиватися в нових умовах.

Однак, є чималі ризики в освіті. Головним, можна назвати, залежність від іноземних викладачів та програм, що може призвести до втрати відчуття культурної ідентичності та національної самоідентифікації [2].

Міграційна освіта в Україні має свої особливості. Зокрема, вона пов'язана з необхідністю забезпечення доступності та якості освіти для дітей та молоді, які переселилися з інших країн, а також з урахуванням їх особливих потреб.

Серед її основних переваг, можна згадати:

1. Розвиток міжнародного співробітництва між державами, відкриває можливості для обміну досвідом та знаннями.
2. Можливість для студентів отримати освіту в іноземному виші, де є більше ресурсів, та можливостей для розвитку.

3. Можливості отримання двох і більше дипломів, які визнаються в різних країнах, сприяє підвищенню конкурентоспроможності держави.

4. Співпраця між людьми з різних країн, сприяє розвитку міжнародного партнерства.

5. Наявність міграції освіти, студентів, наукових кадрів сприяє залученню іноземних інвестицій. Так як, іноземні компанії можуть отримати висококваліфікованих фахівців з міжнародним досвідом.

Серед негативних чинників, міграційної освіти, можна згадати:

1) надмірне використання ресурсів та додаткові витрати на освітні програми для мігрантів;

2) мігранти можуть зустрічати сегрегацію та дискримінацію;

3) можуть виникати труднощі у забезпеченні мігрантам доступу до якісної освіти, особливо якщо вони не володіють мовою країни, у якій вони перебувають.

В цілому, міграційна освіта є важливим методом підвищення якості освіти та конкурентоспроможності держави в міжнародному партнерстві. Однак, найважливішою умовою цих процесів є повернення емігрантів з-за кордону [3].

В наш час, програми міжнародного співробітництва допомагають та створюють можливості навчатися, працювати та подорожувати.

Серед таких програм, можна згадати про Еразмус.

Дана програма застосовується для обмінів студентів, викладачів та науковців країн-членів Євросоюзу, а також Ісландії, Ліхтенштейну, Північної Македонії, Норвегії, Туреччини. Вона надає можливість навчатися, проходити стажування чи викладати в іншій країні, що бере участь в програмі.

Головні цілі:

– Удосконалення навичок і здатності до працевлаштування студентів та сприяння конкурентоспроможності європейської економіки.

– Поліпшення якості викладання і навчання.

– Виконання Стратегії модернізації вищої освіти в країнах-членах програми і розвиток потенціалу країн-партнерів.

– Посилення міжнародного виміру в програмі Еразмус.

– Підтримка Болонського процесу і діалогу щодо політики в стратегічних країнах-партнерах.

Вищі навчальні заклади з країн-партнерів, в тому числі з України, можуть бути партнером університетів з Європи для організації проектів на мобільність для студентів.

Все для того, щоб можна було надати кращі можливості для розвитку навичок і компетенцій у студентів, залучити кращі таланти з-за кордону.

Викладачі для отримання стипендій на викладання, підвищення кваліфікації або стажування подають заявки на участь в конкурсах безпосередньо до свого закладу освіти (кредитна мобільність) на основі міжінституційних угод, і / або до партнерств (ступінчаста мобільність), так само як і представники інших країн, обмежень немає. Привілеїв і / або обмежень немає ні для однієї країни світу.

Варто зауважити, що в Єврокомісії, Еразмус назвали найуспішнішою освітньою програмою ЄС і важливим інструментом боротьби з молодіжним безробіттям. Терміни навчання і стажування можуть складати від 3 місяців до 1 року.

Метою таких програм є залучення освіченої молоді, до ринку праці та накопичення людського капіталу. Дані складові, завжди будуть, одним із ключових факторів сучасного розвитку держави

Варто зауважити, що негативним явищем для науки та економіки, є не повернення наукових кадрів, до своєї держави. Відповідно освітню міграцію, яка відбувається в одному напрямку – називають «відтік мізків» (“brain drain”).

Таким чином, вона несе серйозні виклики економічній безпеці країн-донорів.

Тому, варто згадати про таке поняття як, академічна мобільність.

Академічна мобільність – можливість учасників освітнього процесу навчатися, викладати, стажуватися чи проводити наукову діяльність в іншому вищому навчальному закладі (науковій установі) на території України чи поза її межами [4].

Згідно з програмними документами Болонського процесу, суб’єктами академічної мобільності виступають студенти, викладачі, науковці та управлінський персонал.

Академічна мобільність має безперечно позитивний вплив на національну систему освіти, та економіку держави.

Право на академічну мобільність реалізується на підставі міжнародних договорів про співробітництво в галузі освіти та науки, міжнародних програм і проектів, договорів про співробітництво між такими сторонами:

а) українськими вишами, науковими установами;

б) між вітчизняними та іноземними вишами (науковими установами); також може реалізуватися вітчизняним учасником освітнього процесу з власної ініціативи, підтриманої адміністрацією вітчизняного вишу (наукової установи), де він постійно навчається чи працює, на основі індивідуальних запрошень та інших механізмів.

Формами академічної мобільності учасників освітнього процесу, що здобувають освітні ступені молодшого бакалавра, бакалавра, магістра та доктора філософії у вітчизняних вишах, є:

а) навчання за програмами академічної мобільності;

б) мовне стажування;

в) наукове стажування.

Освітню мобільність у Європейському Союзі забезпечують спеціальні програми, міжнародні організації, які спрямовані на активізацію міжнародної співпраці та підвищення мобільності серед студентів, викладачів, науковців.

Є різні погляди на те, чи «відтік мізків» впливає негативно, позитивно, чи не впливає на країну, звідки виїжджають фахівці. Часом цей термін вживають щодо студентів, які їдуть навчатися за кордон, припускаючи, що освіта стає для них першим кроком до «кращого життя на Заході». Втім, таке твердження дискусійне.

Багато науковців воліють узагалі не вживати цього терміна.

Наприклад, старший науковий співробітник із досліджень та політики у Фонді Кауфмана Бен Вілдавський припускає, що «відтік мізків» – застарілий термін для опису явища наукової мобільності і його варто замінити на «циркуляцію фахівців» або «приток свіжих сил». Дослідник наводить приклад Китаю та Індії, куди студенти охоче повертаються після навчання за кордоном з огляду на швидкий розвиток економіки та «відродження університетів». Такий самий термін – «циркуляція фахівців» – з'явився в нещодавньому звіті ЮНЕСКО.

Бен Вілдавський пропонує також звернути увагу на сучасний тренд «глобалізації університетів»: виші розвивають партнерство з установами по всьому світу, далеко за межами країни розташування. Яскраві приклади – Нью-Йоркський університет в Абу-Дабі чи Університет «Мінерва», що має штаб-квартиру в Сан-Франциско, але вимагає від студентів змінити місце навчання після першого року у США: можна обрати Сеул, Гайдарабад, Берлін, Буенос-Айрес, Лондон або Тайбей.

Головна ідея Бена Вілдавського полягає в тому, що «вища освіта набуває форми товару на міжнародному ринку – і принципи вільної торгівлі треба застосовувати до освіти так само, як і до інших частин глобальної економіки». Зокрема, науковець стверджує, що «немає причин вважати, нібито здобутки однієї нації – це втрати для решти світу».

Висновки

Оскільки ми вже перебуваємо в безпрецедентній ситуації, коли так багато молодих людей виїхали з України з міркувань безпеки, варто прийняти її і спробувати перетворити на унікальний шанс для країни та студентів.

По-перше, за кордоном молоді люди вивчають іноземні мови і здобувають новий досвід. Ознайомившись із системами освіти розвинених країн, молодь мислитиме глобально й критичніше ставитиметься до української системи освіти й ширше – до політичної ситуації в Україні. Завдяки цьому може виникнути здоровий тиск на владу, щоб та швидше вирішувала різні питання: від глобальних, як-от зміни клімату, до локальних, як-от корупція.

По-друге, українські школи й університети боротимуться за учнів та студентів, які вчаться за кордоном, з освітніми інституціями країн, що прийняли біженців. Це стимулюватиме українські школи й виші творчо підходити до розробки навчальних програм і загалом ставати конкурентнішими. Насамперед ідеться про приватні заклади, що мають більше ресурсів.

По-третє, варто думати про українських студентів за кордоном як про амбасадорів, що перекинуть мости між українськими та закордонними освітніми закладами для потенційної академічної співпраці, програм обміну, партнерських дослідницьких проєктів.

Так, наукове співробітництво з закордонними організаціями − перспективний напрямок розвитку університету, реалізація якого відбувається через установлення та розширення контактів у галузі науки, освіти й культури з науково-дослідними центрами, організаціями, вищими навчальними закладами, асоціаціями Європи, Азії, Америки.

За даними Світового банку, 2021 року Україна отримала грошовими переказами з-за кордону суму, еквівалентну 9% ВВП, а 2022 року ця сума, за оцінками, зросте більш ніж на 20 %.

Тож можна сказати, що освіта за кордоном приносить вигоду і країнам, звідки виїжджають фахівці, і країнам, куди вони виїжджають.

Для одних це нагода повчитися в талантів з усього світу, не покидаючи власної батьківщини. Для інших – навчання за кордоном сприяє розвиткові власної країни: щонайменше туди більшає потік особистих коштів, а також налагоджуються наукові зв'язки.

Щонайбільше, країна, яка розвивається, не потребуватиме імпорту «мудрості» ззовні, натомість сама її «експортуватиме».

Проблема «відпливу мізків» існує і в розвинутих країнах, проте не несе такої загрози, тому що вакансії заповнюються висококваліфікованими іммігрантами з країн, що розвиваються [5].

При цьому, варто пам'ятати, що студенти є найціннішим активом навчально-наукового партнерства, оскільки, саме випускники підвищують цінність освіти.

В Україні відбувається складна демографічна ситуація, що ставить під загрозу існування деяких освітніх закладів. Так як, систематично зменшується кількість абітурієнтів – майбутніх працівників.

Тому, міжнародна співпраця – це стратегія, яку багато навчальних закладів повинні слідувати просто для того, щоб вижити.

Нам необхідно прийняти той факт, що «відтік мізків» або «притік свіжих сил» – залежно від того, як ми сприйматимемо ситуацію, – уже стався. Західні державні навчальні заклади відкриті для наших студентів і учнів, університети по всьому світу пропонують тисячі стипендій для українських студентів, і це можливість для України виховати нове покоління громадян світу.

Заглядаючи у майбутнє, можна прийти до висновку, що наукові заклади мають стати більш інтегрованими до ринку праці. Повинні мати можливість адаптуватися до змін, передбачати потреби та демонструвати лідерство, що надихає. Коли стаються кризи, необхідна стійкість яка дозволить долати труднощі та перетворювати їх на можливості для зростання та навчання у майбутньому.

Список використаної літератури

1. Махонюк О. В. Формування та розвиток ринку міграційних послуг в Україні: Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук (08.00.07 – Демографія, економіка праці, соціальна економіка і політика). Вінниця, 2019.

2. Закон України «Про вищу освіту» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text

3. Махонюк О. В. Формування та розвиток ринку міграційних послуг в Україні: Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук (08.00.07 – Демографія, економіка праці, соціальна економіка і політика). Вінниця, 2019.

4. Жураковська Л.А. Тенденції освітньої міграції в контексті глобалізації економічного розвитку [Електронний ресурс]. Демографія та соціальна економіка. 2014. № 1(21). Режим доступу: http://dse.org.ua/ arhcive/21/20.pdf

References

1. Makhonyuk O. V. (2019) Formation and development of the market of migration services in Ukraine: Dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of economic sciences (08.00.07 – Demography, labor economics, social economy and politics). Vinnytsia.

2. Law of Ukraine “On Higher Education” [Electronic resource]. Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text

3. Makhonyuk O. V. (2019) Formation and development of the market of migration services in Ukraine: Dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of economic sciences (08.00.07 – Demography, labor economics, social economy and politics). Vinnytsia.

4. Zhurakovska L.A. (2014) Trends of educational migration in the context of globalization of economic development [Electronic resource]. Demography and social economy. No. 1(21). Access mode: http://dse.org.ua/arhcive/21/20.pdf

УДК 629.02 https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.39

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

В. М. КОЛОДНЕНКО
старший викладач
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-8450-6759

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО АВТОМОБІЛЯ ПРИ НЕРІВНОМІРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ЙОГО КУЗОВА

У даній роботі представлено дослідження коливальних процесів, що відбуваються внаслідок експлуатації вантажних транспортних засобів, завантажених сипкими вантажами. Стрімкий ріст вантажних перевезень, зорієнтований, головним чином, на перевезення зерна з поля до місць зберігання або до портів, складає основну частку в відсотковому співвідношенні в перевезеннях вантажів подібного типу. Дороги загального користування, особливо ті, де відбувається активний рух без можливості та дозволу дорожніх знаків об'їхати той чи інший проміжок, мають великий влив на стан транспортного засобу. Одночасно із цим, вплив транспортного засобу відбувається взаємним чином і на дорожнє покриття. Якщо говорити про структурні елементи автопоїзда, цілі дослідження яких закладалися, до це такі основні елементи, як мости, рама, ресори, підвіска, колеса тощо. Разом із вище сказаним, дослідження мають свій прямий зміст лише при експлуатації з причепом. Дія такого виду навантаження на автомобіль призводить до зміни коливань як по частоті, так і за амплітудою. Тому, в дослідженні показано результати теоретичного моделювання коливань над колесами як правого, так і лівого бортів транспортного засобу за навантаження його над мостом транспортного засобу, над мостом причепу, а також між мостами автомобіля та причепа. В результаті проведеного ряду досліджень, можна зробити висновок, що виникнення коливань причепу при його завантаженні, наприклад, зерном, призводить до формування коливань над колесами у досліджуваного транспортного засобу. Закономірним є той факт, що найбільші з коливань за частотою та амплітудою спостерігаються за навантаження причепа над його мостом. Аналогічним чином, найбільші частота та амплітуда коливань відбувається і над мостом автомобіля. Мінімальні ж, за значеннями амплітуди і частоти, коливання спостерігаються за навантаження причепа між його мостами.

Ключові слова: *сідельні тягачі, експлуатаційні вимог, колеса, борт, транспортний засіб, частота коливання, навантаження, причеп, моделювання, коливання, сипке середовище.*

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

V. M. KOLODNENKO
Senior Lecturer
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-8450-6759

IDENTIFICATION OF THE DYNAMIC PARAMETERS OF A SPECIALIZED VEHICLE UNDER UNEVEN LOADING OF ITS BODY

This work presents a study of oscillatory processes occurring as a result of the operation of freight vehicles loaded with bulk cargo. The rapid growth of cargo transportation, focused mainly on the transportation of grain from the field to storage places or to ports, is the main share in the percentage ratio in the transportation of similar types of cargo. Public roads, especially those where there is active traffic without the possibility and permission of road signs to go around this or that gap, have a great influence on the condition of the vehicle. At the same time, the influence of the vehicle occurs in a reciprocal manner and on the road surface. If we talk about the structural elements of the road train, the research objectives of which were laid down, it includes such basic elements as bridges, frame, springs, suspension, wheels, etc. Along with the above, the studies have their direct meaning only when operating with a trailer. The action of this type of load on the car leads to a change in oscillations both in frequency and in amplitude. Therefore, the research shows the

results of theoretical simulation of vibrations over the wheels of both the right and left sides of the vehicle for loading it over the axle of the vehicle, over the axle of the trailer, as well as between the axles of the car and the trailer. As a result of a series of studies, it can be concluded that the occurrence of vibrations of the trailer when it is loaded, for example, with grain, leads to the formation of vibrations over the wheels of the vehicle under study. It is natural that the largest oscillations in terms of frequency and amplitude are observed when the trailer is loaded over its bridge. Similarly, the highest frequency and amplitude of oscillations occur above the bridge of the car. Minimal fluctuations in terms of amplitude and frequency are observed when the trailer is loaded between its axles.

Key words: *wheels, board, vehicle, bridge, load, trailer, simulation, oscillation, fluid medium.*

Постановка проблеми

Продуктивність автомобіля визначається масою вантажу, що перевозиться, чисельністю пасажирів, а також середньою швидкістю руху. У зв'язку з цим вона залежить від потужності двигуна, прохідності, плавності ходу та надійності автомобіля, стану дорожнього покриття, легкості керування та інших факторів, що характеризують умови праці водія.

Використання вантажних транспортних засобів в перевезенні вантажів різного стану характеризується процесами та наслідковими реакціями, що відбуваються з окремим структурними частинами транспортного засобу. З огляду на процеси, які відбуваються з вантажівкою при русі без навантаження та з ним, можна чітко виражати кілька процесів, що мають свою докорінну зміну (різниця таких процесів, точніше, їх показники, можуть сягати кількаразових ступенів зміни).

Важкі транспортні засоби, такі як вантажівки та автобуси, мають велику конструкцію, що дозволяє перевозити вантаж будь-якою місцевістю протягом тисяч миль без руйнування конструкції. Конструкція (шасі або рама) вантажівки повинна витримувати всі види вібрації (тобто поздовжню, поперечну та аібрацію згину) [1].

Серед таких процесів виділяють коливання, що відбуваються внаслідок завантаження, розвантаження, руху тощо. Питання таких змін в стійкості вантажного транспортного засобу мало б своє продовження не лише в визначенні кращого варіанту підвіски для авто, трансмісії та силового агрегату, а і пошуку нових конструкторських рішень з метою покращення ефективності експлуатації таких транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дороги стали традиційним засобом для сполучення у всьому світі. Недосконалості, руйнування та зрушення дорожнього покриття виникають внаслідок неправильної будови дорожнього матеріалу, перевищення допустимої швидкості руху транспортних засобів. Найчастіше конструкція дорожнього покриття не може забезпечити таких умов. Крім того, інтенсивність дорожнього руху створює проблеми при реконструкції та ремонті доріг, особливо з метою безпеки [2]. Однак, конструкція транспортних засобів, в умовах їх експлуатації, що прирівнюється до важких, також має своє значення. Так, метою дослідження [3] є моделювання зв'язку між динамічними вібраціями трансмісії та фіксованими обмеженнями рами транспортного засобу. Визначено, що кожна структурна одиниця, включаючи різьбові з'єднання, несе вплив на коливальні властивості транспортного засобу. Аналогічним чином, на основі досліду в роботі [3], є можливість говорити не лише про властивості кожної структурної частини, а і про кількість таких структурних частин в трансмісії вантажного транспортного засобу. Будь-який вид виконуваних робіт слід поєднувати із нормативним забезпеченням. Як підтвердження цьому, в дослідженні [4] визначено, що вплив коливань та вібрацій на водія під час роботи великовагового самоскида є значним і становить високий ступінь небезпеки здоров'ю. Водіння важких вантажних автомобілів створює високі величини найбільш шкідливих частот вібрацій, які перевищували межі впливу, що встановлені ISO, протягом більшої частини робочого часу.

Корпус коробки захищає структурні компоненти коробки (вали, шестерні, підшипники, муфти тощо). Він забезпечує герметичність для мастильних матеріалів. Вихід із ладу картера трансмісії або корпусу коробки є основною проблемою для виробника транспортного засобу. Шум і вібрації є основними причинами поломок. Тому, необхідним є зниження рівня шуму та вібрацій. Щоб запобігти відмові, слід знати власну частоту і форму власних коливань [5]. Такий короткий аналіз причин поломок коробок перемикання передач плавно підвів до актуальності обраного дослідження. Тому, наслідкові до попереднього дослідження є вивчення вібраційних характеристик [6] вантажних автомобілів під час руху та, зокрема, ефекту від включення гнучкої рами. Робота є теоретичним дослідженням і зосереджена на комфорті їзди, захисті вантажу, структурної цілісності та безпеки транспортного засобу. Нерівності дорожнього покриття видаються як стаціонарні гаусові випадкові збудження. Для аналізу динамічних реакцій транспортного засобу було використано метод спектрального аналізу, а реакції водія на прискорення було зважено відповідно до методів комфорту їзди ISO. Для вивчення впливу гнучкості рами рама вантажівки була змодельована поведінка із використанням методу кінцевих елементів та розраховані її модальні властивості. Представлено пояснення теорії модальної суперпозиції, а також обговорено та застосовано можливість поєднання цієї теорії із рівняннями Лагранжа для моделювання вантажного автомобіля, що містить гнучкі підсистеми.

Численні результати, представлені для вантажівки, включаючи спектральні щільності потужності і середньоквадратичні значення змінних динамічного відгуку транспортного засобу показали, що гнучкість рами сильно впливає на прискорення як водія, так і кузова вантажівки. Тому, дуже важливо, щоб ефекти гнучкості рами враховувалися при проектуванні основних систем підвіски, кабіни та двигуна.

Дослідження вібрацій та коливань транспортних засобів для аналізу динамічної поведінки є однією з найцікавіших тем для досліджень у галузі динаміки транспортних засобів. Основну увагу у статті [7] приділено аналізу динамічної поведінки вантажівки в різних дорожніх умовах. Дорожні умови розглядалися як умови руху дорогою і бездоріжжям. Тому, створено інтегровану обчислювальну модель важкого дорожнього транспортного засобу із використанням різних стратегій керування за допомогою методу зв'язків для аналізу його динамічної поведінки.

Рамна конструкція автомобіля складається з рами та нелінійних амортизаторів. Щоб дослідити вплив гнучкості рами та нелінійної гістерезису, у дослідженні [8] запропоновано гібридний підхід до моделювання рами транспортного засобу в поєднанні з нелінійними амортизаторами. Результати свідчать, що гібридна модель може точно відображати нелінійні динамічні характеристики. Гібридна модель також може бути основою для проектування конструкцій на основі існуючої моделі. При цьому, досліди окремих частин вантажних автомобілів все частіше зводяться до динамічної стійкості. У статті [9] на тягачі 4×2 з тривісним напівпричепом віртуально вивчалися три різні положення передньої осі, що розташовані на відстані 200 мм, 400 мм та 600 мм перед задньою віссю. Для оцінки ризику, пов'язаного з рухом, для кожного положення аналізувалися псевдовідносні пошкодження, що ґрунтуються на прискоренні, спектральній щільності потужності та графіках перетину рівнів. Тому, описана в роботі [10] конструкція пристрою для перетворення енергії вібрації та коливань, що впливає на транспортний засіб під час руху в різних дорожніх умовах закріплена з використанням першого принципу моделювання двоколісного транспортного засобу як системи пружина-маса-амортизатор. Нарешті, пристрій тестувався на різних швидкостях та умовах дорожнього покриття. Зроблено висновок, що наведене навантаження залежить від частоти і амплітуди вібрацій та коливань автомобіля.

Формулювання мети дослідження

Визначення факторів, що впливають на продуктивність роботи сідельних високотонажних тягачів при навантаженні їх причепів сипким середовищем та визначення раціональної схеми завантаження причепу, яка дозволить зменшити виникнення коливань над колесами транспортного засобу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Ідентифікація динамічних параметрів спеціалізованого автомобіля при нерівномірному навантаженні його кузова.

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

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

Розглянемо об'ємну модель динаміки транспортного засобу з залежною системою підвіски та двома задніми мостами, що показана на рисунку 1.

Тоді можна встановити наступне диференціальне рівняння вібрації транспортного засобу при русі по нерівній опорній поверхні (приймемо, що навантаження від причепа передається на сідельний зчіпний пристрій у відповідності до перерозподілу сипкого тіла в самому причепі як в повздовжній, так і в поперечній площині):

$$\begin{cases} m_{mi}\ddot{Z}_{mi} = \sum\limits_{j=n,л}(F_{вij} - F_{mij}); \\ J_{mi}\ddot{\varphi}_{mi} = (F_{mi\,л} - F_{mi\,n})\dfrac{b_{i+2}}{2} + (F_{вi\,n} - F_{вi\,л})\dfrac{b_{i+5}}{2}; \\ m_{в}\ddot{Z}_{в} = \sum\limits_{j=n,л}\sum\limits_{i=1}^{3}(F_{cij} - F_{вij}); \\ J_{вx}\ddot{\psi}_{в} = \sum\limits_{i=1}^{3}(F_{вi\,n} - F_{вi\,л})\dfrac{b_{i+5}}{2} + \sum\limits_{i=1}^{2}(F_{ci\,л} - F_{ci\,n})\dfrac{b_1}{2}; \\ J_{вy}\ddot{\psi}_{в} = -l_1\sum\limits_{j=n,л}F_{в1j} + \sum\limits_{j=n,л}\sum\limits_{i=1}^{3}l_iF_{вij} + \sum\limits_{j=n,л}\sum\limits_{i=2}^{3}l_{i+4}F_{cij}; \\ m_c\ddot{Z}_c = F_s - \sum\limits_{j=n,л}\sum\limits_{i=1}^{2}F_{cij}; \\ J_{cx}\ddot{\psi}_c = \dfrac{b_2}{2}\left[F_s\sum\limits_{i=1}^{2}(F_{ci\,n} - F_{ci\,л})\right]; \\ J_{cy}\ddot{\psi}_c = l_5\sum\limits_{j=n,л}F_{c2j} + l_4\left[F_s - \sum\limits_{j=n,л}F_{c1j}\right]; \\ m_s\ddot{Z}_s = -F_s. \end{cases} \quad (1)$$

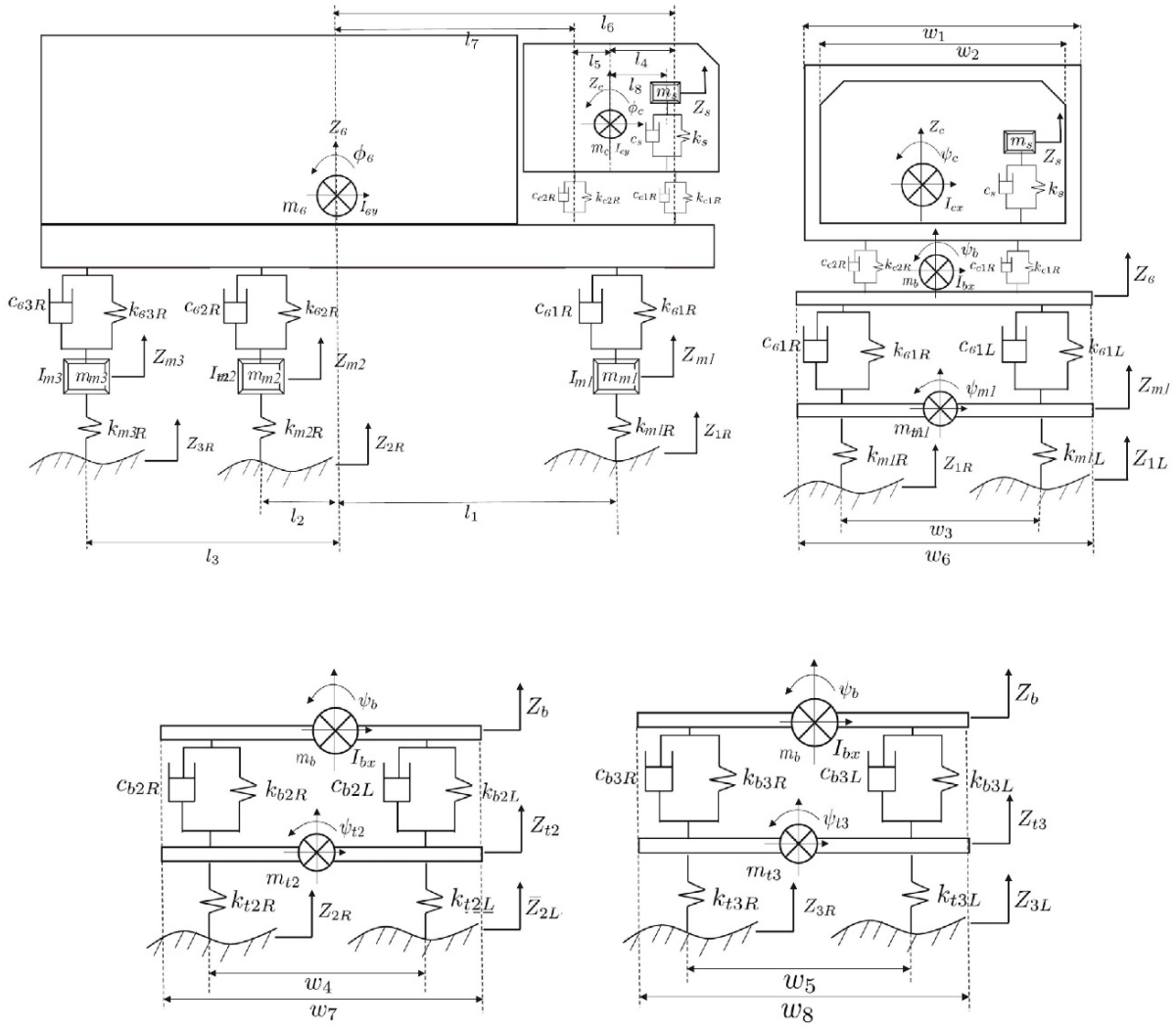


Рис. 1. Динамічна коливальна модель вантажного автомобіля

Тоді, сила F_s представляє вертикальну реакцію системи підвіски сидіння водія:

$$F_s = -k_s\left(Z_s - Z_c - l_4\varphi_c - \frac{b_2}{2}\psi_c\right) - C_s\left(\dot{Z}_s - \dot{Z}_c - l_4\dot{\varphi}_c - \frac{b_2}{2}\dot{\psi}_c\right) \tag{2}$$

Сила F_{cij} є вертикальною силою реакції підвіски кабіни:

$$\begin{aligned} F_{cij} = k_{cij}&\left(Z_c + l_{k+3}\varphi_c - (-1)^j\frac{b_2}{2}\psi_c - Z_в - l_{k+5}\varphi_в + (-1)^j\frac{b_1}{2}\psi_в\right) + \\ +C_{cij}&\left(\dot{Z}_c + l_{k+3}\dot{\varphi}_c - (-1)^j\frac{b_2}{2}\dot{\psi}_c - \dot{Z}_в - l_{k+5}\dot{\varphi}_в + (-1)^j\frac{b_1}{2}\dot{\psi}_в\right). \end{aligned} \tag{3}$$

Сила F_{mij} визначається як вертикальна сила реакції системи підвіски автомобіля:

$$\begin{aligned} F_{вij} = k_{вij}&\left(Z_в + l_i\varphi_в - (-1)^j\frac{b_{i+5}}{2}\psi_в - Z_{mi} + (-1)^j\frac{b_{i+2}}{2}\psi_{mi}\right) + \\ C_{вij}&\left(\dot{Z}_в + l_i\dot{\varphi}_в - (-1)^j\frac{b_{i+5}}{2}\dot{\psi}_в - \dot{Z}_{mi} + (-1)^j\frac{b_{i+2}}{2}\dot{\psi}_{mi}\right). \end{aligned} \tag{4}$$

Сила F_{mij} визначає вертикальну силу реакції опорної поверхні:

$$F_{mij} = k_{mij}\left(Z_{mi} - (-1)^j\frac{b_{i+2}}{2}\psi_{mi} - Z_{ij}\right) + C_{mij}\left(\dot{Z}_{mi} - (-1)^j\frac{b_{i+2}}{2}\dot{\psi}_{mi} - \dot{Z}_{ij}\right) \tag{5}$$

Усі наведені вище формули задовольняють умовам: $i = 1, 2, 3$; $k = 1, 2$; $j = п, л$ і $(–1)^п = –1$, $(–1)^л = 1$. Величини m_s, m_c, $m_в$ та m_{mi} відповідно представляють демпфування під сидінням, кабіною, кузовом і підвіскою автомобіля. J_{mi} – момент інерції осі i-го колеса; $J_{вх}$ і $J_{вy}$, відповідно, моменти інерції навколо осей x і y; J_{cx} і J_{cy} – відповідно момент інерції кабіни навколо осей x і y . Ψ_{mi} – кут крену осі i-го колеса; $\Psi_в$ і $\varphi_в$ – відповідно крен і тангаж кузова; Ψ_c і φ_c – відповідно крен і тангаж кабіни. Z_s, Z_c, $Z_в$ і Z_{mi} представляють вертикальне переміщення сидіння, кабіни, кузова та транспортного засобу відповідно; Z_{ij} – вертикальні значення коливань опорної поверхні під кожним колесом. k_s, k_{cij}, $k_{вij}$ і k_{mij} представляють жорсткість підвісок сидіння, кабіни, автомобіля та шин відповідно. C_s, C_{cij}, $C_{вij}$ і C_{mij} представляють демпфування підвісок сидіння, кабіни, автомобіля та шин відповідно. l_1, l_2 і l_3 – відстань від центру осі кузова до центру осі кожного колеса; l_4, l_5 і l_8 – відстань від центру осі кабіни до центру передньої частини кабіни, центру задньої частини та центру сидіння кабіни; l_6 і l_7 – відстань від центру осі кузова до центру передньої частини кабіни і центру задньої частини відповідно. b_{i+2} представляє відстань між центрами трьох груп коліс відповідно; b_{i+5} означає ширину колії транспортного засобу.

При моделюванні коливального руху причепа за рахунок навантаження сипким середовищем, проведено аналіз впливу розташування потоку сипкого середовища на вертикальні коливання останнього. Швидкість вивантаження сипкого середовища (зерна) обрана на рівні 4500 л/хв, що відповідає швидкості розвантаження бункера комбайна John Deere 9500. Розрахунок проводився для трьох характерних точок розташування потоку сипкого середовища: над колесами причепа, над колесами транспортного засобу і посередині між мостами автомобіля та причепа. Результати розрахунків наведені на рисунку 2.

Як видно з рисунка 2, наявність збурюючого впливу та великого плеча при перевантаженні зерна з бункеру комбайну в причеп над мостом останнього призводить до формування великих вертикальних коливань. Зменшення даного коливання можна досягти за рахунок вивантаження сипкого матеріалу між мостами причепу та транспортного засобу.

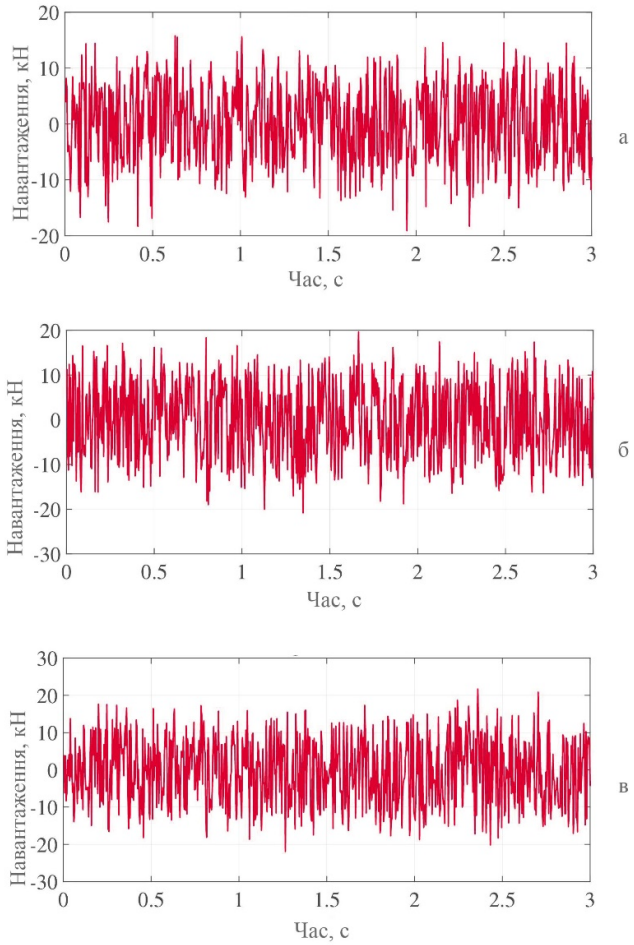


Рис. 2. Результати теоретичного моделювання коливань причепу транспортного засобу при навантаженні його над мостом транспортного засобу (а), над мостом причепу (б) та між мостами автомобіля та причепа (в)

На основі математичної моделі (1) проведено моделювання коливань над колесами транспортного засобу при різних варіантах навантаження причепу. Результати моделювання наведені на рисунках 3 та 4.

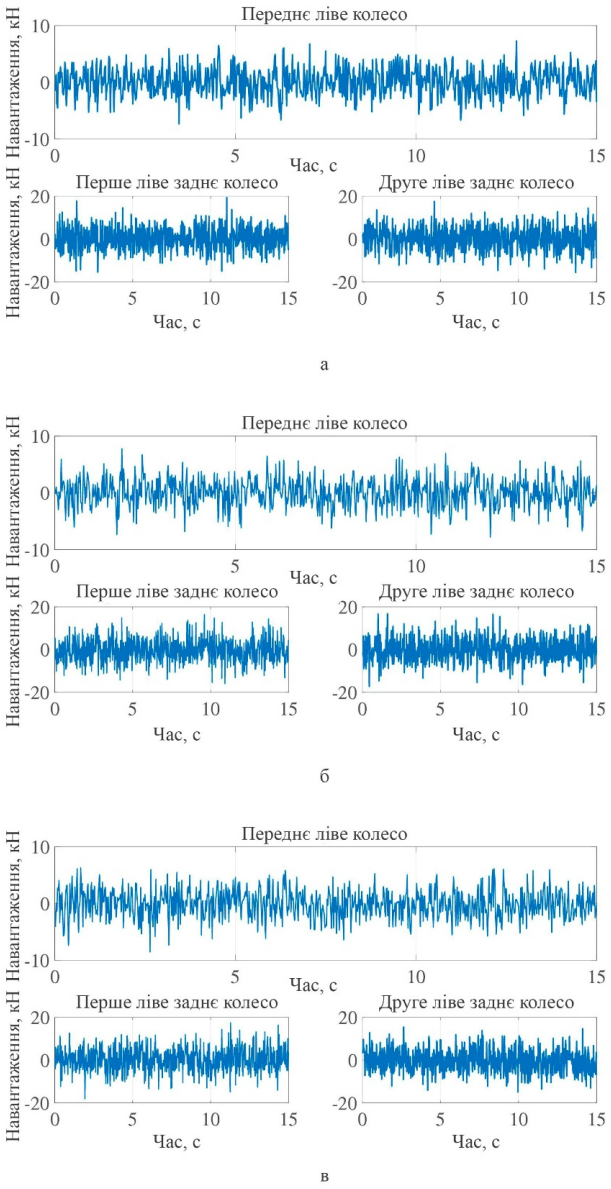


Рис. 3. Результати теоретичного моделювання коливань над колесами лівого борту транспортного засобу при навантаженні його над мостом транспортного засобу (а), над мостом причепу (б) та між мостами автомобіля та причепа (в)

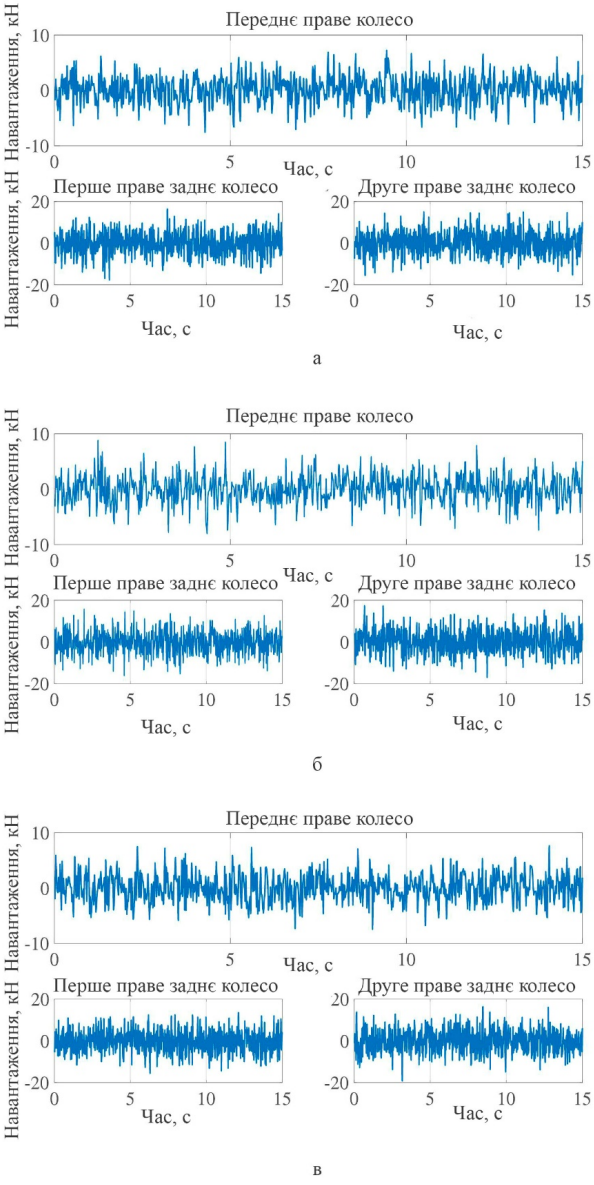


Рис. 4. Результати теоретичного моделювання коливань над колесами правого борту транспортного засобу при навантаженні його над мостом транспортного засобу (а), над мостом причепу (б) та між мостами автомобіля та причепа (в)

Висновки

За результатами теоретичного моделювання можна зробити висновок, що виникнення автоколивань причепу автомобіля при навантаженні його сипким середовищем, призводить до формування коливань над колесами транспортного засобу. Причому, найбільші коливання за частотою та амплітудою спостерігаються при навантаженні причепа як над його мостом, так і над мостом автомобіля. Мінімальні, за значеннями амплітуди та частоти, коливання спостерігаються при навантаженні причепа між мостами.

Список використаної літератури

1. Gupta, A., & Rastogi, V. Effect of Distributed Damping on the Dynamic Behavior of Flexible Chassis of Heavy Road Vehicle Under Standardized Random Road Responses. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 2020, 45, 1071–1090. https://doi.org/10.1007/s40997-020-00366-5
2. Yupapin, P.P., & Pornsuwancharoen, N. Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking. *Measurement*, 2019, 148, 106871. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106871
3. Kumar, A., Jaiswal, H., Ahmad, F., & Patil, P.P. Dynamic Vibration Characteristics Analysis of Truck Transmission Gearbox Casing with Fixed Constraint of Vehicle Frame Based on FEA. *Procedia Engineering*, 2014, 97, 1107–1115. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.389
4. Kumar, S. Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining. *Applied ergonomics*, 2004, 35 6, 509-20. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.06.009
5. Kumar, A., Jaiswal, H., Pandey, A., & Patil, P.P. Free Vibration Analysis of Truck Transmission Housing based on FEA. *Procedia Materials Science*, 2014, 6, 1588–1592. https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.141
6. Ibrahim, I.M., Crolla, D., & Barton, D.C. Effect of frame flexibility on the ride vibration of trucks. *Computers & Structures*, 1996, 58, 709-713. https://doi.org/10.1016/0045-7949(95)00198-P
7. Gupta, A., & Rastogi, V. Effects of Various Road Conditions on Dynamic Behaviour of Heavy Road Vehicle. *Procedia Engineering*, 2016, 144, 1129–1137. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.05.078
8. Ma, Y., Xie, S., Zhang, X., & Luo, Y. Hybrid modeling approach for vehicle frame coupled with nonlinear dampers. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 2013, 18, 1079–1094. https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2012.09.013
9. Bhat, S., & Sheepri, S. Influence of Fifth Wheel Position on Cab Durability and Dynamics in Tractor-Semitrailer Vehicle. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, 2021. https://doi.org/10.4271/02-15-02-0009
10. Bonde, D.H., Panche, N.K., Meshram, H.S., Dhongade, V.W., Dharmik, A.V., Parate, J.D., Pardhi, M.G., & Gupta, V.S. Fabrication and Performance Analysis of a Device to Transform Vibration Energy on an Automobile. *Advances in Mechanical Engineering*, 2020, P. 25–33. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3639-7_4

References

1. Gupta, A., & Rastogi, V. (2020). Effect of Distributed Damping on the Dynamic Behavior of Flexible Chassis of Heavy Road Vehicle Under Standardized Random Road Responses. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 45, 1071–1090. https://doi.org/10.1007/s40997-020-00366-5
2. Yupapin, P.P., & Pornsuwancharoen, N. (2019). Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking. *Measurement*, 148, 106871. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106871
3. Kumar, A., Jaiswal, H., Ahmad, F., & Patil, P.P. (2014). Dynamic Vibration Characteristics Analysis of Truck Transmission Gearbox Casing with Fixed Constraint of Vehicle Frame Based on FEA. *Procedia Engineering*, 97, 1107–1115. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.389
4. Kumar, S. (2004). Vibration in operating heavy haul trucks in overburden mining. *Applied ergonomics*, 35 6, 509-20 . https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.06.009
5. Kumar, A., Jaiswal, H., Pandey, A., & Patil, P.P. (2014). Free Vibration Analysis of Truck Transmission Housing based on FEA. *Procedia Materials Science*, 6, 1588–1592. https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.141
6. Ibrahim, I.M., Crolla, D., & Barton, D.C. (1996). Effect of frame flexibility on the ride vibration of trucks. *Computers & Structures*, 58, 709–713. https://doi.org/10.1016/0045-7949(95)00198-P
7. Gupta, A., & Rastogi, V. (2016). Effects of Various Road Conditions on Dynamic Behaviour of Heavy Road Vehicle. *Procedia Engineering*, 144, 1129–1137. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.05.078
8. Ma, Y., Xie, S., Zhang, X., & Luo, Y. (2013). Hybrid modeling approach for vehicle frame coupled with nonlinear dampers. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 18, 1079–1094. https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2012.09.013
9. Bhat, S., & Sheepri, S. (2021). Influence of Fifth Wheel Position on Cab Durability and Dynamics in Tractor-Semitrailer Vehicle. *SAE International Journal of Commercial Vehicle*s. https://doi.org/10.4271/02-15-02-0009
10. Bonde, D.H., Panche, N.K., Meshram, H.S., Dhongade, V.W., Dharmik, A.V., Parate, J.D., Pardhi, M.G., & Gupta, V.S. (2020). Fabrication and Performance Analysis of a Device to Transform Vibration Energy on an Automobile. *Advances in Mechanical Engineering*, P. 25–33. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3639-7_4

ПРАВИЛА ПРИЙОМУ СТАТЕЙ

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У НАУКОВИЙ ФАХОВИЙ ЖУРНАЛ «ВІСНИК ХЕРСОНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

До журналу приймаються оригінальні статті, що не публікувалися в інших виданнях. **Обсяг рукопису** – не менше 5 повних сторінок основного тексту статті (починаю з постановки проблеми, закінчуючи висновками). Статті публікуються українською, російською та англійською мовами.

Обов'язкові елементи статті:

- індекс УДК у верхньому лівому кутку листа *(Times New Roman, 12 nm)*;
- ініціали та прізвище автора великими літерами у верхньому правому кутку сторінки *(Times New Roman, 12 nm)*, із зазначенням місця роботи повністю справа *(Times New Roman, 8 nm)*;
- ORCID у верхньому правому кутку сторінки *(Times New Roman, 10 nm);*
- назва статті великими літерами, по центру *(Times New Roman, 12 nm, жирний)*; назва статті подається без використання вузькоспеціалізованих скорочень, крапка в кінці назви не ставиться;
- основний текст статті *(Times New Roman, 10 nm)*.

Основний текст статті повинен складати не менше 5 повних сторінок тексту і мати такі **виділені** елементи:

– постановка проблеми
– аналіз останніх досліджень і публікацій
– формулювання мети дослідження
– викладення основного матеріалу дослідження
– висновки
– список використаної літератури

Після назви статті обов'язково надаються анотації **українською, російською та англійською мовами** *(Times New Roman, 10 nm, курсив)* **(текст ідентичний, обсяг – не менше 1800 друкованих знаків, включаючи ключові слова)**, де вказується назва статті, ініціали та прізвище автора, характеристика основної проблеми, мети, узагальнених результатів та ключові слова.

Статті подаються у вигляді файла формату *doc* для *Word for Windows y* незаархівованому вигляді. Шрифт Times New Roman, розмір – 10, інтервал – одинарний, поля: зліва – 25 мм; справа – 25 мм; зверху – 25 мм; знизу – 25 мм, відступ першої строчки – 127 мм, сторінки не пронумеровані. Таблиці слід виконувати в Excel чи Word, рисунки потрібно подавати у чорно-білому варіанті, вони мають бути згруповані. Для набору формул використовувати лише редактор формул Microsoft Equation 3.0.

Шрифт у заголовках, текстах, рисунках повинен співпадати. Ілюстрації, діаграми, схеми, таблиці та формули оформлюються відповідно до Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника (Постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 № 567).

Список літератури наводиться у порядку посилань у тексті згідно з *ДСТУ 8302:2015. «БІБЛІОГРАФІЧНЕ ПОСИЛАННЯ Загальні положення та правила складання»* і розміщується після основного тексту. Розмір шрифту – 10 пт. Посилання на літературні джерела в тексті подають у квадратних дужках.

Після списку літератури, через інтервал в один рядок, розташовують слово **References** та наводиться англомовний список літератури (стиль – **IEEE**) наведеного вище списку літератури.

Бібліографічний опис кожного джерела має, за наявності, супроводжуватися його ідентифікатором цифрового об'єкта (DOI – Digital Object Identifier), що наводиться через пробіл після бібліографічного опису джерела. DOI видань можна знайти на сайті:

http://search.crossref.org/

Вимоги щодо оформлення англомовного списку літератури

Опис статті з періодичних видань

Sokol Ye.I., Gryb O.G., Shvets S.V. The structural and parametrical organization of elements of a power supply system in the conditions of network centrism. Electrical engineering & electromechanics, 2016, no.2, pp. 61-64. doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.1.

**Прим. Коректний переклад назв журналів можна знайти на їх офіційних сайтах, де також у архіві, у більшості випадків, можна відшукати і необхідні статті із перекладом назв на англійську мову.*

Опис статті з електронних журналів

Dmitriev M.V. Ekrany odnofaznykh kabelei 6-500 kV. Oshibki pri vypolnenii skhem zazemleniia [6- 500 kV single phase cables screens. Grounding circuit implementation mistakes]. Novosti elektrotekhniki – Electrical Engineering News, 2014, no.1(85). Available at: http://www.news.elteh.ru/arh/2014/85/10.php (Accessed 23 April 2014).

Опис статті із збірника праць

Shevchenko V.V. Puti povysheniia moshchnosti turbogeneratorov pri provedenii rabot po ikh reabilitatsii [The ways to increase turbogenerators power in the execution works during the rehabilitation]. Sistemi obrobki informatsiї. Zbirnik naukovikh prats'. Kharkivs'kii universitet povitrianikh sil [The systems of information processing. The collection of scientific works Kharkov Air Forces University], 2012, no.7(105), pp. 152-155.

Опис матеріалів конференції

Grechko O.M., Klymenko B.V., Bugaychuk V.M. Mathematical modeling of energy-efficient electromagnetic actuator for vacuum circuit-breaker. Anotatsiї dopovidei 8 Mizhn. nauk.-prakt. konf. "Informatsiini tekhnologiї: nauka, tekhnika, tekhnologiia, osvita, zdorov'ia" [Abstracts of 8th Int. Sci.-Pract. Conf. "Information technology: science, engineering, technology, education and health"]. Kharkov, 2004, p. 365.

Небажано залишати тільки перекладну назву конференції.

Опис книги (монографії)

Chalykh E.F. Oborudovanie elektrodnykh zavodov [Equipment of the Electrode Plants]. Moscow, Metallurgija Publ., 1990. 238 p.

Опис перекладної книги

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. Vibration problems in engineering. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Rus. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. Kolebaniia v inzhenernom dele. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

Опис Інтернет-ресурсу

Bormosov V.A., Kostousova M.N., Petrenko A.F., Smol'skaja N.E. Perspektivy i sostojanie razrabotok raspredelitel'nyh transformatorov massovyh serij (Prospects and development state of mass series distribution transformers) Available at: www.trans.-form.ru (accessed 13 September 2004).

Опис дисертації (автореферату дисертації)

Geraskin O.A. Vibrodiagnostika ushkodzhen' rotoriv potuzhnikh asinkhronnikh dviguniv na osnovi pol'ovikh matematichnikh modelei. Diss. kand. techn. nauk [Damage rotor vibration monitoring power asynchronous motors based on the field mathematical models. Cand. tech. sci. diss.]. Kyiv, 2012. 226 p.

Опис ГОСТу

GOST 8.586.5-2005. Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkostei i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroistv [State Standard 8.586.5-2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

Опис патенту

Klymenko B.V., Eres'ko O.V. Grechko O.M. Elektromagnitnyj pryvid [Electromagnetic actuator].
Patent UA, no.25222, 2007.

Приклад оформлення рукопису для представлення в редколегію подано у додатку 1.

Статті, які не відповідають наведеним вимогам, до друку не приймаються.

До редколегії направляються:

- **електронна копія** статті на e-mail: **editor@kntu.kherson.ua,** назва файлу повинна відповідати прізвищу першого автора;
- **експертний висновок** щодо відсутності відомостей, заборонених для відкритого опублікування**;**
- **авторська довідка** за формою (додаток 2);
- **заява авторів** на опублікування статті (додаток 3).

Телефон редколегії: +38 (068) 487 18 05

Додаток 1

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РУКОПИСУ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ У РЕДАКЦІЮ (ПОДАНО ФРАГМЕНТ СТАТТІ)

УДК 667.021.1

В. С. КОРОЛЕНКО
кандидат наук з державного управління, доцент,
доцент кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: ...
І. Ф. БОНДАРЬ
аспірант кафедри державного управління і місцевого самоврядування
Херсонський національний технічний університет
ORCID: ...

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕФОРМУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ГІДРОПРЕСУВАННІ ТРУБЧАТИХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У даній роботі розглянута кінцево-елементна модель процесу гідроекструзії трубчастих заготовок у середовищі високих гідростатичних тисків, необхідних для підвищення пластичності сталі 30ХН2МФА при холодному формоутворенні виробів. Результати моделювання показали можливість реалізувати процес при дії значного гідростатичного тиску (750 МПА) на вільну поверхню заготовки. При меншому тиску відбувається характерне руйнування ще на початкових етапах деформування на зовнішній поверхні заготовки. Дослідження ПДВ матриці з використанням методу кінцевих елементів підтвердило достатню міцність і надійність інструменту при отриманні прецизійних трубчастих виробів гідропресування з рухомою гладенькою оправкою. Натурні експерименти підтвердили адекватність комп'ютерного моделювання та ефективність запропонованого методу виготовлення високоточних довгомірних трубчастих виробів.

. . . . .

Ключові слова: *гідропресування, гідроекструзія, деформування, матриця, моделювання, міцність, надійність, руйнування.*

V. S. KOROLENKO
Candidate of Public Administration, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Public Administration and Local Self-Government
Kherson National Technical University
ORCID: ...
I. F. BONDAR
Postgraduate Student at the Department of Public Administration and Local Self-Government
Kherson National Technical University
ORCID: ...

THE RESEARCH OF DEFLECTED MODE OF THE DEFORMING TOOL DURING THE HYDRAULIC FORGING OF TUBULAR BLANKS BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS

In this work, the finite element model of the hydrostatic extrusion process of tubular blanks in the medium of high hydrostatic pressure that are necessary for increase ductility of steel 30HN2MFA during the cold forming products, was considered. The modelling results showed the possibility to realize a process with effect of considerable hydrostatic pressure (750 MPa) on the free surface of blank. There is characteristic destruction still on the initial stages of deformation on the external surface at less pressure.

The research of deflected mode of mould using the method finite elements confirmed accommodate strength and reliability of the tool in the receipt of precision tubular products by hydraulic forging with the smooth moving mandrel.

The full-scale experiments confirmed the adequacy of computer simulation and the efficiency of introduced method of manufacturing exacting long-measuring tubular products.

. . . . .

Key words: *hydraulic forging, hydrostatic extrusion, deformation, mould, modelling, strength, reliability, destruction.*

Постановка проблеми

Товстостінні трубчасті вироби з прецизійними елементами внутрішнього профілю (6 ... 8 квалітет, при шорсткості 0.16 ... 0.64 мм) досить широко застосовуються в машинобудуванні, приладобудуванні та виробах спеціального призначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ефективність дії рідини під високим тиском на пластичність при механічних випробуваннях зразків і в процесах прямого видавлювання показана в роботах [1-3].

У зв'язку з цим, був запропонований перспективний метод отримання високоточних довгомірних трубчастих виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями методом гідропресування на гладкій оправці [4, 5].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи було вивчення можливості отримання довгомірних трубчастих заготовок методами холодного пластичного деформування.

Викладення основного матеріалу дослідження

Розрахунок матриці проводили в умовах, наближених до реальних, при максимальних значеннях зусилля видавлювання *P* (630 кН) і гідростатичного тиску *q (750 МПа)*, яке впливає на матрицю. Вихідні данні для розрахунку матриці наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Задані вихідні дані для розрахунку матриці

№ з/п	Матеріал матриці	Модуль пружності, ГПа	Межа міцності, МПа	Твердість, HRCЭ
1	Р18	228	2250	66
2	…	…	…	…

. . . . .

$$\varphi = N_k \frac{\cos(2 \cdot l \cdot \omega)}{\sqrt{j \cdot Q \cdot \alpha_i}}, \qquad (1)$$

де φ – ... ;

...

α_i – .

. . . . .

Висновки

1. За результатами чисельного експерименту були визначені необхідні параметри гідропресування, остаточна геометрична форма деформівної заготовки та її ПДВ.

2. Проведене моделювання показало, що даний процес можливо реалізувати із значним гідростатичним тиском на вільній поверхні заготовки (750 МПа), тоді як при меншому тиску відбувається характерне руйнування ще на початкових етапах деформування на зовнішній поверхні заготовки.

Список використаної літератури

1. Акофф Р. Л. Идеализированное проектирование : как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации / Акофф Р. Л., Магидсон Д., Эддисон Г. Д. ; пер. с англ. Ф. П. Тарасенко. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – XLIII, 265 с.

2. Петров П. П. Активність молодих зірок сонячної маси : дис.... доктора фіз, -мат. наук : 01.03.02 / Петров Петро Петрович. – К., 2005. – 276 с.

3. Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК H 04 B 1/38, H 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж, науч. – исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).

4. Бібліотека і доступність інформації у сучасному світі: електронні ресурси в науці, культурі та освіті (підсумки 10-ї Міжнар. конф. "Крим-2003") [Електронний ресурс] / Л. Й. Костенко, А. О. Чекмарьов, А. Г. Бровкін, І. А. Павлуша // Бібліотечний вісник – 2003. – № 4. – С. 43. – Режим доступу до журн. : http : //www.nbuv.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm.

. . . . .

References

. . . . .

Додаток 2

Авторська довідка

Бондарь Іван Федорович	кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики Херсонського національного технічного університету, E-mail: bondar_if@gmail.com

Додаток 3

В редакцію наукового журналу
«Вісник Херсонського національного
технічного університету»

ЗАЯВА

Прошу опублікувати у журналі «Вісник Херсонського національного технічного університету» (надалі – Журнал) мою статтю_____
_____ (надалі – Стаття)
(назва статті)
в рубриці_____.
(назва рубрики)

Передаючи для опублікування Статтю, я (надалі – Автор) заявляю про таке.

1. Автор ознайомлений і згодний з видавничою політикою Журналу і етичними нормами для публікацій.
2. Автор ознайомлений з вимогами до оформлення статей у Журналі та іншими умовами щодо опублікування.
3. Автор є єдиним автором Статті.
4. Авторські права на Статтю не передавалися Автором раніше і не будуть передані у майбутньому третім особам.
5. Стаття не була раніше опублікована і не буде опублікована у будь-якому виданні до публікації її у Журналі.
6. Стаття не є компіляцією раніше опублікованих робіт Автора.
7. Публікація статті не порушує прав інтелектуальної власності інших осіб.
8. Стаття не містить відомостей, заборонених до відкритого друку згідно з чинним законодавством України, і публікація Статті не призведе до розголошення таємної або конфіденційної інформації, у тому числі такої, що містить державну або службову таємницю.
9. Автор дає згоду на публікацію та/або передачу третім особам таких його особових даних:
   - Прізвище, Ім'я та По-батькові;
   - Відомості про наукову кваліфікацію (науковий ступінь, вчене звання);
   - Відомості про місце роботи та посаду;
   - Контактні дані (адреса для листування, номери телефонів, номери факсів, електронні адреси тощо).

_____ _____
(Прізвище та ініціали автора) (Особистий підпис автора)

«___»_____20__ р.

(Заповнюється та підписується всіма співавторами Статті, або одним зі співавторів від імені всіх за письмовим дорученням)

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	Гайдабрус В.Б.
Відповідальний секретар	Вольвач І.Ю. к.е.н., доцент, завідувач відділу з навчально-наукової роботи і міжнародної діяльності

Підписано до друку 12.07.2023.
Формат 60х84/8. Гарнітура Times New Roman. Папір офсет. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 32,32. Замов. № 0723/461. 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.