

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ**

**Державний вищий
навчальний заклад
«ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
(ДВНЗ «ПДТУ»)**

**p-ISSN 2225-6733
e-ISSN 2519-271X**

***ВІСНИК
ПРИАЗОВСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО
ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ***

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**Видається 2 рази на рік
з 1995 року**

Випуск 45

Серія: Технічні науки

Дніпро, 2022

**MINISTRY OF EDUCATION AND
SCIENCE OF UKRAINE**

**State higher
educational institution
«PRIAZOVSKYI STATE
TECHNICAL UNIVERSITY»
(SHEI «PSTU»)**

**p-ISSN 2225-6733
e-ISSN 2519-271X**

***REPORTER
OF THE PRIAZOVSKYI
STATE
TECHNICAL
UNIVERSITY***

**COLLECTION OF SCIENTIFIC
WORKS**

**Published twice a year,
since 1995**

Issue 45

Section: Technical sciences

Dnipro, 2022

УДК 06.055.2

Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. Вип. 45. – Дніпро: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2022. – 143 с. – (Технічні науки). – Режим доступу: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.45.2022>.

У збірнику публікуються результати теоретичних та експериментальних досліджень вчених вищого навчального закладу та провідних спеціалістів у галузі технічних наук, показаний їхній вклад у розвиток науки та сучасних технологій. Публікації видання зберігаються на офіційному сайті Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського.

Головний редактор

Іщенко Анатолій Олексійович *д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»*

Відповідальний секретар

Савенко Ольга Сергіївна *канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ»*

Редакційна колегія

<i>Angeliki G. Lekatou</i>	<i>Dr., PhD, University of Ioannina (UOI), Greece</i>
<i>Hossam Ahmed Mohamed Halfa</i>	<i>Dr., PhD, Central Metallurgical R&D Institute (CMRDI), Cairo, Egypt</i>
<i>Sergey Edward Lyshevski</i>	<i>Dr., PhD, Rochester Institute of Technology, New York, USA</i>
<i>Dmytro Makarchuk</i>	<i>PhD, Solent University, Southampton, UK</i>
<i>Oleksandr Vrublevskiy</i>	<i>Dr., PhD, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, Poland</i>
<i>Азархов Олександр Юрійович</i>	<i>д-р мед. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Белоконь Каріна Володимирівна</i>	<i>канд. техн. наук, доц., Запорізька державна інженерна академія</i>
<i>Білоусов Євген Вікторович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., Херсонська державна морська академія</i>
<i>Булгаков Микола Петрович</i>	<i>канд. техн. наук, доц., Одеський національний морський університет</i>
<i>Бялобржеський Олексій Володимирович</i>	<i>канд. техн. наук, доц., КрНУ ім. Михайла Остроградського</i>
<i>Володарець Микита Віталійович</i>	<i>канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Головань Андрій Ігорович</i>	<i>канд. техн. наук, доц., Одеський національний морський університет</i>
<i>Грицук Ігор Валерійович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., Херсонська державна морська академія</i>
<i>Губинський Михайло Володимирович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., Національна металургійна академія України</i>
<i>Єфременко Василь Георгійович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Кириллова Олена Вікторівна</i>	<i>д-р техн. наук, проф., Одеський національний морський університет</i>
<i>Клецька Ольга Віталіївна</i>	<i>канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Ковалевська Олена Сергіївна</i>	<i>канд. техн. наук, доц., Донбаська державна машинобудівна академія</i>
<i>Кухар Володимир Валентинович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»</i>
<i>Лук'яненко Анна Олегівна</i>	<i>канд. техн. наук, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України</i>
<i>Мазур Владислав Олександрович</i>	<i>канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Онищенко Олег Анатолійович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., НУ «Одеська морська академія»</i>
<i>Парфененко Юлія Вікторівна</i>	<i>канд. техн. наук, доц., Сумський державний університет</i>
<i>Петренко Тетяна Григорівна</i>	<i>канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ</i>
<i>Плахтій Олександр Андрійович</i>	<i>канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ</i>
<i>Погорлецький Дмитро Сергійович</i>	<i>канд. техн. наук, доц., Херсонська державна морська академія</i>
<i>Проніна Ольга Ігорівна</i>	<i>канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Прус В'ячеслав В'ячеславович</i>	<i>д-р техн. наук, доц., КрНУ ім. Михайла Остроградського</i>
<i>Пятикоп Олена Євгенівна</i>	<i>канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Саєнко Юрій Леонідович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Симоненко Роман Вікторович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., Національний транспортний університет</i>
<i>Тарандушка Людмила Анатоліївна</i>	<i>д-р техн. наук, проф., Черкаський державний технологічний університет</i>
<i>Ткачов Віктор Васильович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., НТУ «Дніпровська політехніка»</i>
<i>Худяков Ігор Валентинович</i>	<i>канд. техн. наук, доц., Херсонська державна морська академія</i>
<i>Чабак Юлія Геннадіївна</i>	<i>канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»</i>
<i>Чеберячко Юрій Іванович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., НТУ «Дніпровська політехніка»</i>
<i>Шумило Олександр Миколайович</i>	<i>д-р техн. наук, проф., Одеський національний морський університет</i>

Адреса: ДВНЗ «ПДТУ», проспект Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна.

Address: PSTU, Dmytro Yavornytskyi Avenue 19, Dnipro, 49005, Ukraine.

Телефон редакції: (098) 480-24-03.

E-mail: vestnik.pgту@gmail.com (для надсилання статей).

Зареєстрований Міністерством Юстиції України 21.06.2011 р., Свідоцтво КВ № 17950 – 6800 ПР. Збірник входить до переліку наукових фахових видань (категорія «Б»), в якому можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт, згідно з Наказами Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020, № 886 від 02.07.2020. Видається два рази на рік.

Рекомендовано до друку Вченою Радою ДВНЗ «ПДТУ», протокол № 5 від 29.12.2022 р.

ISSN 2225-6733 (Print), ISSN 2519-271X (Online)

© ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (ДВНЗ «ПДТУ»), 2022

ЗМІСТ

CONTENTS

122 КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

122 COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

Федосова І.В., Альошин С.В., Котихова Л.Д., Сидорова А.Г.
Система підтримки прийняття рішень діагностики анемії на основі нечіткої моделі

6

I.V. Fedosova, S.V. Aloshin, L.D. Kotykhova, A.G. Sydorova
Decision support system for anemia diagnosis based on fuzzy model

Федосова І.В., Котихова Л.Д., Старовойт Д.В.
Прогнозування обсягів продажу електроенергії з використанням багатoshарової нейронної мережі

12

I.V. Fedosova, L.D. Kotykhova, D.V. Starovoit
Forecasting volumes of electricity sales using a multilayer neural network

Федосова І.В., Котихова Л.Д., Перець Є.О.
Експертна система психоневрологічних захворювань з використанням методу диференціальної діагностики

20

I.V. Fedosova, L.D. Kotykhova, Y.O. Perets
Expert system for the study of psychoneurological diseases using the method of differential diagnostics

Рядченко М.П., П'ятикоп О.Є.
Розпізнавання голосового повідомлення у месенджері

28

M.P. Riadchenko, O.E. Piatykor
Recognizing speech in voice messages

132 МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

132 MATERIALS SCIENCE

Щетинін С.В., Щетиніна В.І.
Регулювання енергетичної характеристики зварювальної дуги

35

S.V. Shchetinin, V.I. Shchetinina
Welding arc energy characteristic regulation

136 МЕТАЛУРГІЯ

136 METALLURGY

Дан Л.О., Трофімова Л.О.
Щодо ролі залишкового аустеніту в поліпшенні комплексу властивостей високоміцних чавунів

41

L.O. Dan, L.O. Trofimova
On the role of residual austenite in improving the complex of properties of ductile cast iron

Шмельцер К.О., Кормер М.В., Мирошніченко Д.В., Чупринов Є.В.
Вплив ступеню змішування на якість підготовки вугільних шихт

48

K.O. Shmeltser, M.V. Kormer, D.V. Miroshnichenko, E.V. Chuprinov
Influence of the degree of mixing on the quality of preparation of coal batches

Панченко Г.М., Циганок В.Ю., Тищенко Є.С.
Підвищення напрацювання шарошкових доліт при бурінні підвних свердловин

58

H.M. Panchenko, V.Y. Tsyhanok, Y.S. Tyshchenko
Increasing the development of cone bits when drilling

141 ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

141 ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

Сьомка О.О., Прус В.В.

Розробка інформаційно вимірювальної системи для експериментального дослідження асинхронних двигунів

63

O.O. Somka, V.V. Prus

Development of information measurement system for experimental research of induction motors

Савенко О.С.

Дослідження роботи гібридного компенсатора реактивної потужності в умовах трипровідної електричної мережі

73

O.S. Savenko

Hybrid VAR compensator operating study under conditions of a three-wire network

151 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

151 AUTOMATION AND COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES

Волошин В.С., Данилова Т.Г.

Інструментарій для опису та управління подієвими ризиками

81

V.S. Voloshyn, T.G. Danylova

Toolkit for description and management of event risks

Волошин В.С., Кленін О.В.

Специфіка оцінки ризиків в проект-менеджменті

88

V.S. Voloshin, O.V. Klenin

Specificity of risk assessment in project management

183 ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

183 ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY

Назюта Л.Ю., Степаненко Д.В.

На шляху до декарбонізації світової економіки. Глобальне потепління. Кліматичні конференції ООН

97

L. Nazyuta, D. Stepanenko

On the way to decarbonization of the world economy. Global warming. UN climate conferences

263 ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

263 CIVIL SECURITY

Чеберячко С.І., Радчук Д.І., Дерюгін О.В., Сушко Н.С., Кравченко Б.Д.

Розробка нової класифікації засобів індивідуального захисту органів дихання

109

S. Cheberyachko, D. Radchuk, O. Deryugin, N. Sushko, B. Kravchenko

Development of a new classification of resources individual respiratory protection

Когтева О.П., Сергієнко О.І., Міміна Н.Б., Беліков А.С.

Методика спостережень за деформацією апрочного кріплення при веденні гірничих робіт для удосконалення безпеки праці гірників

120

O.P. Kohtieva, O.I. Serhiienko, N.B. Mitina, A.S. Belikov

Methodology of observations during work in conditions of deformation of arch support to improve the safety of workers

**275 ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ
(ЗА ВИДАМИ)**

**275 TRANSPORT TECHNOLOGIES
(BY TYPES)**

**Михайлова Ю.В., Наєрзова Ю.О.,
Стеба А.А.**

Особливості організації круїзних перевезень пасажирів на яхтах

**Iu. Mykhailova, Yu. Navrozova,
A. Steba**

126 *Features of the organization of cruise transportation of passengers on yachts*

**Волошко Т.П., Таценко О.В.,
Соларьов О.О.**

Підвищення ефективності використання транспортних засобів для аграрного виробництва

**T.P. Voloshko, O.V. Tatsenko,
O.O. Solarov**

135 *Increasing the efficiency of using vehicles for agricultural production*

ДО УВАГИ АВТОРІВ

143 INTO CONSIDERATION OF AUTHORS

122 КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.056

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276220

© Федосова І.В.¹, Альошин С.В.², Котихова Л.Д.³, Сидорова А.Г.⁴

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДІАГНОСТИКИ АНЕМІЇ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ

Анемія вважається однією з найпоширеніших захворювань, які уражують організм людини. У разі тривалого існування вона може призвести до розвитку хронічних захворювань в зв'язку з надлишковим навантаженням на органи життєзабезпечення. Ефективні методи лікування доступні за умови раннього виявлення хвороби та значною мірою залежать від її основної причини. За ступенем враженості анемію можливо умовно поділити на легку, середньої тяжкості та тяжку відповідно до рівня гемоглобіну. Морфологічна класифікація передбачає поділ анемії на мікроцитарну, нормоцитарну та макроцитарну залежно від середньої величини об'ємів еритроцитів. За вмістом гемоглобіну анемія може бути гіпохромна, нормохромна та гіперхромна. В статті досліджено науково-технічну інформацію з класифікації і нечіткої логіки та описано розробку системи підтримки прийняття рішень діагностики анемії з використанням моделі нечіткого логічного виведення. У ході аналізу існуючої літератури було виявлено, що для вирішення завдання визначення анемії оптимальним є використання найвісних методів Байєса. Але існує ймовірність виникнення незначних помилок у процесі виміру ознак, тому необхідно використовувати теорію нечітких множин. Модулювання нечіткого логічного виведення було реалізовано з використанням алгоритму Мамдані. Розроблена інформаційна система має два рівні. На першому рівні визначається ступінь тяжкості анемії. Другий рівень відповідає за приналежність до одного з класів: мікроцитарного гіпохромного, нормоцитарного нормохромного та макроцитарного. Програмне забезпечення було написано мовою Java на основі власної бібліотеки для реалізації обчислювального алгоритму морфологічної класифікації анемії та класифікації за ступнем тяжкості відповідно до показників гематологічних лабораторних досліджень. Застосування запропонованого архітектурного проєкту системи зберігає час на прийняття рішень та усуває необхідність у потребі додаткової робочої сили для вирішення задач інформаційно-аналітичної підтримки прийняття управлінських рішень при супроводі бізнес-процесів моніторингу анемії.

Ключові слова: анемія, механізм прийняття рішень, алгоритм класифікації.

I.V. Fedosova, S.V. Aloschin, L.D. Kotykhova, A.G. Sydorova. Decision support system for anemia diagnosis based on fuzzy model. Anemia is considered one of the most common diseases that affect the human body. In case of prolonged existence, it can lead to the development of chronic diseases due to excessive load on the vital organs. Effective treatments are available with early detection of the disease and largely depend on its underlying

¹ д-р пед. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3923-8270, irivasilevna1964@gmail.com

² ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, alioshin.serg@gmail.com

³ асистент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0006-5008-622X, kotykhova_l_d@pstu.edu

⁴ студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

cause. In terms of severity, anemia can be divided into mild, moderate, and severe according to the level of hemoglobin. The morphological classification provides for the division of anemia into microcytic, normocytic, and macrocytic depending on the average volume of red blood cells. According to the hemoglobin content anemia can be hypochromic, normochromic and hyperchromic. The article explores scientific and technical information on classification and fuzzy logic as well as describes the development of a decision support system for anemia diagnosis using a fuzzy logic inference model. During the analysis of existing literature, it was found that the use of naive Bayesian methods is optimal for solving the problem of determining anemia. But there is a possibility of minor errors in measuring features, so it is necessary to use the theory of fuzzy sets. Modulation of fuzzy logic inference was implemented using the Mamdani algorithm. The developed information system has two levels. The first level determines the severity of anemia. The second level is responsible for belonging to one of the classes: microcytic hypochromic, normocytic normochromic, and macrocytic. The software was written in Java on the basis of its own library to implement a computational algorithm for morphological classification of anemia and classification by severity according to the indicators of hematological laboratory tests. The application of the proposed architectural design of the system saves time for decision-making and eliminates the need for additional manpower to solve the problems of information and analytical support for management decision-making in support of business processes of anemia monitoring.

Key words: anemia, decision making, classification algorithm.

Постановка проблеми. Анемія вважається одним з найпоширеніших захворювань, які уражують організм людини. Близько 30% від загальної чисельності населення світу страждає на цю хворобу. Особливо високі темпи розповсюдження анемії спостерігаються в країнах, де брак харчів та кишкові паразити є нагальною проблемою [1]. У разі тривалого існування вона може призвести до розвитку хронічних захворювань в зв'язку з надлишковим навантаженням на органи життєзабезпечення. Ефективні методи лікування доступні за умови раннього виявлення хвороби та значною мірою залежать від її основної причини. Тяжкість анемії може бути визначена на основі симптомів і ознак пацієнта та кількістю гемоглобіну в крові, яка виявляється за допомогою гематологічних лабораторних досліджень, таких як загальний аналіз крові або ручний диференціальний/ручний периферичний огляд мазка.

З розвитком технологій у всьому світі з'явилися засоби обробки значних об'ємів даних. Інтелектуальний аналіз даних і методи машинного навчання дозволяють перетворити наявні дані в цінну інформацію, яку можна використовувати для аналізу, прогнозування та прийняття рішень. Комп'ютерна діагностика має низку переваг. Вона має меншу собівартість, зберігає час на прийняття рішень та усуває необхідність у потребі додаткової робочої сили. Це особливо актуально для країн з низьким або середнім рівнем доходу, де анемія є найбільш розповсюдженою.

Метою даної роботи є створення системи підтримки прийняття рішень діагностики анемії на основі нечіткої логіки для вирішення задач інформаційно-аналітичної підтримки прийняття управлінських рішень при супроводі бізнес-процесів моніторингу синдромів анемії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання впровадження комп'ютерної діагностики різних захворювань неодноразово підіймалось науковою спільнотою. Кількість даних, які виробляє медична галузь, безперервно зростає. Інтелектуальний аналіз даних та методи машинного навчання дозволяють перетворити наявні дані в цінну інформацію, яку можна використовувати для аналізу, прогнозування та прийняття рішень.

У роботі [2] розглядаються алгоритми машинного навчання для прогнозування захворювань на анемію: наївний класифікатор Байєса, випадковий ліс і алгоритм дерева рішень. Прогнозування анемії виконується за допомогою даних повного аналізу крові, зібраних із патологічних центрів. Результати показують, що наївний класифікатор Байєса перевершує з точки зору точності.

У роботі [3] запропоновано систему, яка дозволяє розпізнавати анемію в умовах загальної клінічної практики. Для цієї системи модель побудована з використанням чотирьох різних методів штучного навчання. Як алгоритми класифікації використовуються методи штучних нейронних мереж, опорних векторів, наївний класифікатор Байєса та ансамблі дерев рішень. Моделі

оцінюються за набором даних із 1663 зразків і використовують 25 атрибутів, включаючи дані гемограми та загальну інформацію, таку як вік, стать, хронічні захворювання та симптоми, для діагностики 12 різних типів анемії. Дані збираються шляхом вивчення файлів пацієнтів в університетській лікарні в Туреччині. На додаток до всіх даних, які використовували лікарі, модель також використовувала вісім різних наборів даних, створених за допомогою певних методів вибору ознак. Дані класифікуються за допомогою чотирьох різних алгоритмів, і для кожного виходить прийнятний коефіцієнт успішності. Кожна модель перевіряється за допомогою показників: помилка класифікації, площа під кривою, точність, відкликання та F-показник. Найвища точність (85,6%) досягнута за допомогою Bagged Decision Trees, потім йдуть Boosted Trees (83,0%) і штучна нейронна мережа (79,6%).

Аналізуючи існуючу літературу можна зауважити те, що для вирішення завдання визначення захворювання оптимальним є побудова системи підтримки прийняття рішень з використанням наївних методів Байєса.

Виклад основного матеріалу. Наївні байєсовські методи є набором алгоритмів навчання з учителем, які відомі своєю розробкою простих, але добре працюючих моделей, зокрема в області класифікації та прогнозування хвороби, і базуються на застосуванні теореми Байєса з «наївним» припущенням про умовну незалежність між кожною парою ознак, заданою значенням змінної класу [4]. Теорема Байєса встановлює наступне співвідношення для заданої змінної класу y і залежного вектору ознак x_1 через x_n :

$$P(y | x_1, \dots, x_n) = \frac{P(y)P(x_1, \dots, x_n|y)}{P(x_1, \dots, x_n)}, \quad (1)$$

де $P(y | x_1, \dots, x_n)$ – апостеріорна ймовірність приналежності до класу при заданих ознаках;

$P(x_1, \dots, x_n | y)$ – ймовірність заданого значення ознаки при заданому класі;

$P(x_1, \dots, x_n)$ – апіорна ймовірність при значенні ознаки;

$P(y)$ – апіорна ймовірність класу.

Діагностика анемії є нетривіальним завданням, так як в залежності від обраного підґрунтя вона може класифікуватися по різному. Характерною особливістю анемії є те, що наявні діагностичні ознаки мають досить сильний перетин з нечітко вираженими межами. Так як існує ймовірність виникнення незначних помилок у процесі виміру ознак, необхідно використовувати теорію нечітких множин для їх визначення. Кожній ознаці у відповідність ставиться функція приналежності, яка виражає ступінь експертної впевненості в наявності захворювання, зв'язаного з показником даної ознаки.

Використовуючи наївні байєсовські методи ми можемо тільки зробити припущення про наявність або відсутність анемії у пацієнта, що обмежує область застосування системи. В умовах неповноти та неточності інформації побудова точної математичної моделі виявляється проблематичною. В залежності від обраного підґрунтя анемія класифікується по-різному. Ці знання можуть допомогти у розробці наступних кроків лікування хвороби. У таких випадках найефективнішими є нечіткі методи моделювання.

Нечітка логіка значною мірою ґрунтуються на знаннях експертів, на підставі яких можуть бути отримані позитивні результати. Інформація у системах з нечітким логічним виведенням виражається у вигляді лінгвістичних висловлювань та правил, що вимагає застосування специфічних підходів для її аналізу. Одним з таких підходів є алгоритм Мамдані, який був запропонований у 1925 році англійським математиком Е. Мамдані. Відповідно до цього алгоритму етапи нечіткого логічного виводу описуються наступним чином:

1. Етап фазифікації. На цьому кроці ми оцінюємо, якою мірою задовольняється антецедент кожного правила «ЯКЩО – ТО» для заданого введення. Результатом цього кроку є число $\mu_{A_k}(x)$ для кожного правила «ЯКЩО $X \in A_k$ X ТО $Y \in B_k$ » (тобто ступінь узгодженості між введенням і антецедентом кожного правила);

2. Етап логічного виведення. Результатом цього кроку для кожного правила «ЯКЩО $X \in A_k$ X ТО $Y \in B_k$ » є нечітка множина B_k , що усічена на рівні $\mu_{A_k}(x)$, тобто набір $\mu_{outputk|x}$:

$$\mu_{outputk|x}(y) = \min(\mu_{Bk}(y), \mu_{Ak}(x)). \quad (2)$$

3. Етап композиції. На цьому кроці усічені нечіткі множини, що відповідають кожному спрацьованому правилу, об'єднуються, щоб отримати один нечіткий набір $\mu_{Mamdani|x}$, який визначається функцією приналежності:

$$\mu_{Mamdani|x}(y) = \max_k[\mu_{outputk|x}(y)] = \max_k[\min(\mu_{Bk}(y), \mu_{Ak}(x))]. \quad (3)$$

4. Етап дефазифікації перетворює агрегований нечіткий набір $\mu_{Mamdani|x}$ в одне чітке число. Стандартні системи Мамдані використовують метод центру важкості у якості методу дефазифікації [5].

Для побудови моделі нечіткого логічного виводу визначення ступня тяжкості та типу анемії необхідно виділити вхідні та вихідні змінні, які приймають участь у проектуванні системи, та характеризувати їх нечітко.

Параметр статевої приналежності є категоріальною ознакою і приймає два чітких значення: чоловік та жінка. У якості нечітких характеристик для неї виступають наступні значення:

- лінгвістична змінна $\beta = \langle S \rangle$;
- область визначення $X = [0; 2]$;
- терм-множина значень лінгвістичної змінної $T = \{ \langle \text{«жінка»}, \langle \text{«чоловік»} \rangle \}$.

Створення нових термів не допускається предметною областю, тому значення G та M в описані лінгвістичної змінної не розраховуються.

Відповідно до аналізу існуючої літератури були визначені нечіткі властивості для кожного параметру, що характеризують анемію. Параметр гемоглобіну має наступні нечіткі характеристики:

- лінгвістична змінна $\beta = \langle Hb \rangle$;
- область визначення $X = [0; 180]$;
- терм-множина значень лінгвістичної змінної $T = \{ \langle \text{«дуже сильно низький»}, \langle \text{«сильно низький»}, \langle \text{«слабо низький»}, \langle \text{«нижче норми»}, \langle \text{«норма»} \rangle \}$.

Нечіткі характеристики вихідної змінної ступня тяжкості анемії є наступними:

- лінгвістична змінна $\beta = \langle \text{«Ступінь тяжкості»} \rangle$;
- область визначення $X = [0; 100]$;
- терм-множина значень лінгвістичної змінної $T = \{ \langle \text{«відсутня»}, \langle \text{«легка»}, \langle \text{«середньої тяжкості»}, \langle \text{«тяжка»} \rangle \}$.

Для значення змінної $T = \{ \text{«відсутня»} \}$ область визначення дорівнює $X = [0; 20]$. Значення змінної $T = \{ \text{«легка»} \}$ перебуває у діапазоні $X = [20; 40]$, а область визначення $X = [40; 60]$ відповідає значенню змінної $T = \{ \text{«середньої тяжкості»} \}$. Значення змінної $T = \{ \text{«тяжка»} \}$ перебуває у діапазоні $X = [60; 80]$.

Для параметру середнього корпускулярного гемоглобіну визначаються наступні нечіткі характеристики:

- лінгвістична змінна $\beta = \langle MCH \rangle$;
- область визначення $X = [0; 40]$;
- терм-множина значень лінгвістичної змінної $T = \{ \langle \text{«знижено»}, \langle \text{«норма»}, \langle \text{«підвищено»} \rangle \}$.

Для параметру середньої корпускулярної концентрації гемоглобіну визначаються наступні нечіткі характеристики:

- лінгвістична змінна $\beta = \langle MCHC \rangle$;
- область визначення $X = [0; 50]$;
- терм-множина значень лінгвістичної змінної $T = \{ \langle \text{«знижено»}, \langle \text{«норма»}, \langle \text{«підвищено»} \rangle \}$.

Для параметру середнього розміру еритроцитів визначаються наступні нечіткі характеристики:

- лінгвістична змінна $\beta = \langle MCV \rangle$;
- область визначення $X = [0; 120]$;
- терм-множина значень лінгвістичної змінної $T = \{ \langle \text{«знижено»}, \langle \text{«норма»}, \langle \text{«підвищено»} \rangle \}$.

Вихідна змінна, яка визначає тип анемії, відрізняється наступними нечіткими характеристиками:

- лінгвістична змінна $\beta = \langle \text{«Тип анемії»} \rangle$;

- область визначення $X = [0;60]$;
- терм-множина значень лінгвістичної змінної $T = \{\text{«мікроцитарна гіпохромна»}, \text{«нормоцитарна нормохромна»}, \text{«макроцитарна»}\}$.

Значення змінної $T = \{\text{мікроцитарна гіпохромна}\}$ перебуває у діапазоні $X = [0;20]$. Для значення змінної $T = \{\text{нормоцитарна нормохромна}\}$ область визначення дорівнює $X = [20;40]$. Область визначення $X = [40;60]$ відповідає значенню змінної $T = \{\text{середньої тяжкості}\}$.

Реалізація нечіткого логічного виводу виконується з використанням алгоритму Мамдані та заснована на нечітких продукційних правилах, при складанні яких застосовується правило нечіткої кон'юнкції (рис. 1 та рис. 2).

If S is жінка and Hb is дуже сильно низький then Ступінь тяжкості is тяжка
If S is чоловік and Hb is дуже сильно низький then Ступінь тяжкості is тяжка
If S is жінка and Hb is сильно низький then Ступінь тяжкості is середньої тяжкості
If S is чоловік and Hb is сильно низький then Ступінь тяжкості is середньої тяжкості
If S is жінка and Hb is слабо низький then Ступінь тяжкості is легка
If S is чоловік and Hb is слабо низький then Ступінь тяжкості is легка
If S is жінка and Hb is нижче норми then Ступінь тяжкості is відсутня
If S is жінка and Hb is норма then Ступінь тяжкості is відсутня
If S is чоловік and Hb is нижче норми then Ступінь тяжкості is легка
If S is чоловік and Hb is норма then Ступінь тяжкості is відсутня

Рис. 1 – Продукційні правила для визначення ступіня тяжкості анемії

If MCH is знижено and MCHC is знижено and MCV is знижено then Тип анемії is мікроцитарна гіпохромна
If MCH is норма and MCHC is норма and MCV is норма then Тип анемії is нормоцитарна нормохромна
If MCH is підвищено and MCHC is норма and MCV is підвищено then Тип анемії is макроцитарна

Рис. 2 – Продукційні правила для визначення типу анемії

Система підтримки прийняття рішень діагностики анемії складається з двох рівнів. Перший рівень відповідає за визначення ступня тяжкості анемії, на другому рівні співвідноситься приналежність до одного з морфологічних класів: мікроцитарного гіпохромного, нормоцитарного нормохромного та макроцитарного. Діаграма компонентів зображена на рис. 3.

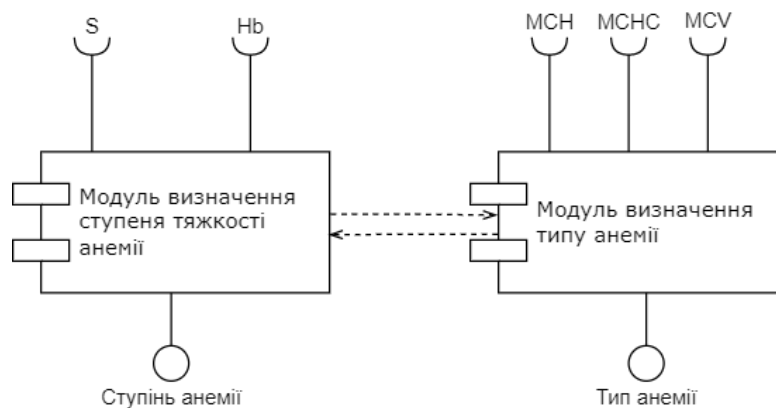


Рис. 3 – Взаємодія програмних компонентів

Після запуску програмного модуля діагностики анемії на екрані виводиться вікно, яке зображено на рис. 4, де можна побачити результати попереднього аналізу на виявлення ступня тяжкості та типу анемії. Для відстеження прогресу лікування можливо побудувати графік.

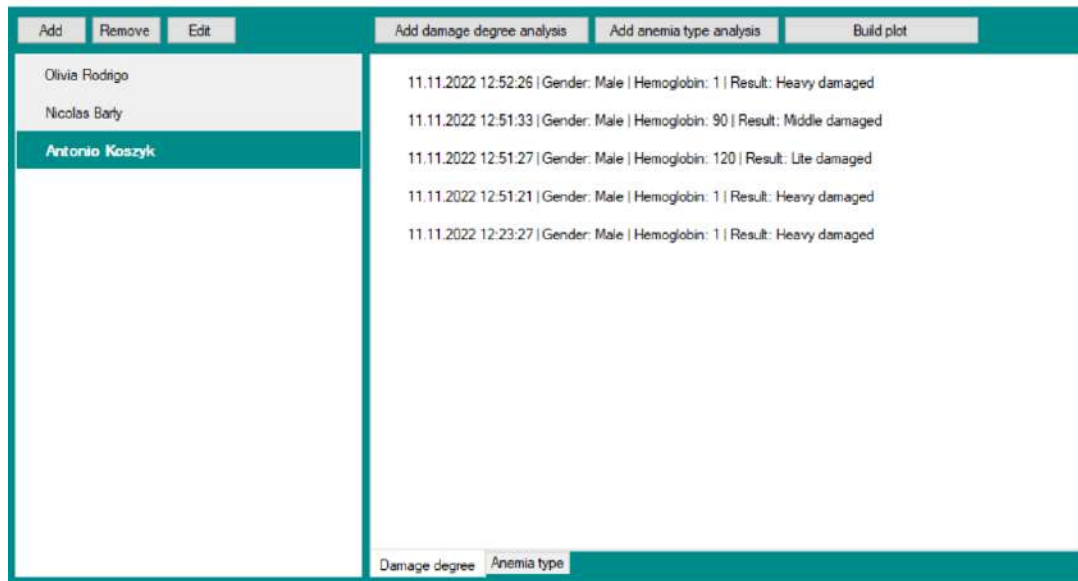


Рис. 4 – Головне вікно програми

Висновки

У ході виконання роботи було спроектовано модель з нечітким логічним виведенням для діагностики ступня тяжкості та типу анемії на основі клініко-гематологічних показників. Запропонований архітектурний проект системи можна застосовувати для вирішення задач інформаційно-аналітичної підтримки прийняття управлінських рішень при супроводі бізнес-процесів моніторингу синдромів анемії.

Перелік використаних джерел:

1. Журавльова Л.В. Клінічна гематологія. Частина 1. Анемії : метод. вказ. для студентів і лікарів-інтернів / упоряд. Л.В. Журавльова, О.О. Янкевич. – Харків : ХНМУ, 2015. – 44 с.
2. Jaiswal M. Machine Learning Algorithms for Anemia Disease Prediction / M. Jaiswal, A. Srivastava, T.J. Siddiqui // Recent Trends in Communication, Computing, and Electronics. Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2019. – Vol 524. – Pp. 463-469. – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2685-1_44.
3. Karagul Yildiz T. Classifying anemia types using artificial learning methods / T. Karagul Yildiz, N. Yurtay, B. Onec // Engineering Science and Technology, an International Journal. – 2021. – Vol. 24, iss. 1. – Pp. 50-70. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.12.003>.
4. Zhang H. The Optimality of Naive Bayes / H. Zhang // Proceedings of the Seventeenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference. – 2004. – Pp. 562-567.
5. Izquierdo S. Mamdani Fuzzy Systems for Modelling and Simulation: A Critical Assessment / S. Izquierdo, L.R. Izquierdo // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2018. – Vol. 21, iss. 3. – Pp. 1-15. – Mode of access: <https://doi.org/10.18564/jasss.3660>.

References:

1. Zhurav'l'ova L.V., Iankevich O.O. *Klinichna gematologiya. Chastina 1. Anemii : metod. vказ. dlia studentiv i likariv-interniv* [Clinical hematology. Part 1. Anemia: guidelines for students and intern doctors]. Kharkiv, KhNMU Publ., 2015. 44 p. (Ukr.)
2. Jaiswal M., Srivastava A., Siddiqui T.J. Machine Learning Algorithms for Anemia Disease Prediction. *Recent Trends in Communication, Computing, and Electronics. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2019, vol. 524, pp. 463-469. doi: 10.1007/978-981-13-2685-1_44.
3. Karagul Yildiz T., Yurtay N., Onec B. Classifying anemia types using artificial learning methods. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2021, vol. 24, iss. 1, pp. 50-70. doi: 10.1016/j.jestch.2020.12.003.

4. Zhang H. The Optimality of Naive Bayes. *Proceedings of the Seventeenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, 2004, pp. 562-567.
5. Izquierdo S., Izquierdo L.R. Mamdani Fuzzy Systems for Modelling and Simulation: A Critical Assessment. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2018, vol. 21, iss. 3, pp. 1-15. doi: 10.18564/jasss.3660

Рецензент: О.Є. П'ятикоп
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 15.10.2022

УДК 004.032.26:658.8:621.31

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276222

© Федосова І.В.¹, Котихова Л.Д.², Старовойт Д.В.³

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПРОДАЖУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОШАРОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Споживання енергії пов'язане з усіма видами господарської діяльності людини. Виробництво енергії істотно впливає на стан довкілля, тому якісне планування електроспоживання є пріоритетним питанням у стратегії розвитку будь-якої країни. Всі обов'язки з планування електроспоживання та купівлі електроенергії лягають на енергопостачальні компанії. Якісне планування електроспоживання призведе до зниження витрат енергопостачальних компаній, що матиме вплив на зниження витрат на створення кінцевої продукції для пересічного споживача. Дана стаття присвячена проблемі підвищення ефективності роботи енергопостачальних компаній для забезпечення потреб побутових споживачів. В роботі обґрунтовано необхідність планування поставок електроенергії в необхідному обсязі для забезпечення раціонального використання енергетичних і економічних ресурсів. Описано проблему виконання прогнозування людиною, коли результат залежить як від кваліфікації аналітика в предметній галузі, так і від його кваліфікації в методах аналізу. Наведено аргументацію щодо використання сучасних методів штучного інтелекту – нейронних мереж, які мають здатність до навчання на наборі даних та дозволяють виявити приховані взаємозв'язки і закономірності між даними. В статті приведено аналіз останніх досліджень та публікацій стосовно використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні в енергетиці, який підтвердив доцільність використання обраного метода для визначеної проблеми. Описано процес використання багатошарової нейронної мережі для прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам. Наведено характер даних, що описують обсяги щомісячної погодинної купівлі електричної енергії для побутових споживачів, показано приклад часового ряду. Визначено особливості вхідних параметрів для нейронної мережі: місяць року, день тижня, тип дня (святковий чи робочий), середнє максимальне значення погодинної купівлі електричної енергії.

Ключові слова: прогнозування, нейронна мережа, обсяги купівлі електричної енергії.

I.V. Fedosova, L.D. Kotykhova, D.V. Starovoi. Forecasting volumes of electricity sales using a multilayer neural network. Energy consumption is related to all types of human economic activity. Energy production significantly affects the state of the environment;

¹ д-р пед. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3923-8270, irivasilevna1964@gmail.com

² асистент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0006-5008-622X, kotykhova_l_d@pstu.edu

³ магістр, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

therefore, high quality planning of electricity consumption is a priority issue in the development strategy of any country. All responsibilities for planning electricity consumption and purchasing electricity fall on energy supply companies. High-quality planning of electricity consumption will lead to a reduction in the costs of energy supply companies, which will have an impact on reducing the costs of creating final products for the average consumer. This article is devoted to the problem of increasing the efficiency of energy supply companies to meet the needs of household consumers. The work substantiates the necessity of planning electricity supplies in the necessary volume to ensure the rational use of energy and economic resources. The problem of performing forecasting by a person is described, when the result depends both on the analyst's qualification in the subject field and on his qualification in analysis methods. Arguments are presented regarding the use of modern methods of artificial intelligence – neural networks, which have the ability to learn on a set of data and allow to reveal hidden relationships and regularities between data. The article provides an analysis of the latest research and publications on the use of artificial neural networks in energy forecasting, which confirmed the feasibility of using the chosen method for a given problem. The process of using a multilayer neural network for forecasting the volume of electricity sales to consumers is described. The nature of the data describing the volume of monthly hourly electricity purchases for household consumers is given, an example of a time series is shown. The peculiarities of the input parameters for the neural network are determined: month of the year, day of the week, type of day (holiday or working), the average maximum value of hourly electricity purchase.

Key words: forecasting, neural network, volumes of electricity purchases.

Постановка проблеми. Електроенергетика – це важлива галузь промисловості України, від успішного розвитку якої залежить в першу чергу енергобезпека країни, а також інтенсивність росту всіх галузей економіки держави. Електроенергетику можна розділити на 4 загальні сегмента: генерація, передача, розподіл і збут. Однією з особливостей електроенергії як товару є неможливість її зберігання та накопичення, тому її споживання відбувається одночасно з виробленням, що в свою чергу обумовлює особливості торгівлі таким видом товару. Для виробництва електроенергії генеруючих компаній необхідно підтримувати в постійній готовності потужності, а також мати запаси палива в кількості, необхідній для задоволення попиту на електроенергію в енергосистемі країни в даний конкретний момент часу.

У цій ситуації найраціональнішим рішенням слід вважати енергозбереження. Саме воно повинно стати пріоритетним у стратегії розвитку будь-якої країни, адже запаси традиційних джерел енергії обмежені. Такі фактори поставили перед Україною потребу у формуванні нової політики держави. Саме тому 18 серпня 2017 року Кабінет Міністрів України ухвалив документ – Енергетичну стратегію України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [1].

У зв'язку з цим, можна зробити висновок про те, що для забезпечення безперебійної роботи всього ланцюжка підприємств, починаючи з генерації та закінчуючи кінцевим споживачем, необхідне прогнозування всіх витрат, пов'язаних з роботою цих підприємств для гарантованої поставки електроенергії в необхідному обсязі. Якісне планування електроспоживання призведе до зниження витрат енергопостачальних компаній і кінцевою метою буде раціональне використання енергетичних і економічних ресурсів. Тому прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам є актуальною задачею.

Всі обов'язки з планування електроспоживання та купівлі електроенергії лягають на енергопостачальні компанії, а підприємство в свою чергу купує електроенергію за роздрібною ціною. Варто також врахувати, що клієнтами енергопостачальних компаній, як правило, є велика кількість таких підприємств, графіки електроспоживання яких абсолютно різні. Також є випадок з гарантуючими постачальниками, які зобов'язані надавати всі необхідні послуги з електропостачання в обов'язковому порядку особливій категорії споживачів – населення [2]. Варто також відзначити, що гарантуючий постачальник зобов'язаний бути учасником торгів.

З 1 липня 2019 року розпочав свою роботу новий ринок електричної енергії. Нова модель ринку ввела в професійну повсякденність нові поняття: оператори систем розподілу, постачальники універсальних послуг, трейдери, оператор ринку, тощо. Особливе місце в цьому процесі

посідає гарантований покупець. Саме завдяки роботі цього учасника ринку пересічні українці змогли отримати доступну електроенергію в своїх оселях, а держава забезпечує збільшення частки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел. Сьогодні державне підприємство «Гарантований покупець» – це новостворене підприємство, покликане опікуватися інтересами громадян та держави в процесі функціонування ринку електричної енергії. Підприємство створене Кабінетом Міністрів України 17 квітня 2019 року. Ця організація з професійним колективом однодумців, яка вносить посильний вклад в розбудову енергетичної системи України [3]. Саме це підприємство забезпечує інтереси населення.

Складна структура електроспоживання, що включає в себе підприємства з різними потужностями і графіками роботи, а також населення і привієняних до нього категорії споживачів, значно ускладнює прогнозування для енергопостачальних компаній і гарантуючих постачальників. Варто також окремо сказати про особливості споживання електроенергії населенням. Специфіка його така, що воно в значній мірі залежить від погодних умов, природного освітлення і статусу дня (робочий або вихідний день). Тому графіки електроспоживання мають значні відмінності в різні дні тижня, пори року, а також в значній мірі залежать від включення централізованого опалення в житлових будинках.

Також якісне планування електроспоживання призведе до зниження витрат енергопостачальних компаній, що в свою чергу дозволяє їй економити кошти і перенаправляти їх на розвиток компаній.

В цілому такий пристрій ринку електроенергії має своєю кінцевою метою раціональне використання енергетичних і економічних ресурсів. Внаслідок підвищення цін на енергоресурси в даний момент енергозбереження стає пріоритетним напрямком при зниженні витрат на створення кінцевої продукції.

Метою будь-якого прогнозування є створення моделі, яка дозволяє заглянути в майбутнє і оцінити тенденції в змінах того чи іншого фактору. Якість прогнозу в такому випадку залежить від наявності передісторії змінюваного чинника, похибок вимірювання даної величини і інших чинників. Часовий ряд представляє собою послідовність значень якої-небудь ознаки, упорядкованих в не випадкові моменти часу. При вирішенні задачі прогнозування необхідно ідентифікувати змінні, які будуть прогнозуватися, тимчасові параметри і ступінь точності прогнозу. Часто при вирішенні завдань прогнозування виникає необхідність передбачення не самою змінною, а змін її значень.

Зазвичай для прогнозування графіків електроспоживання використовують метод експертної оцінки, який залежить від досвіду і інтуїції експерта. В якості експерта в таких випадках виступає інженер-енергетик або провідний інженер підприємства. Популярність даного методу обумовлена простотою його реалізації і відсутністю необхідності розробляти або ж купувати дороге програмне забезпечення для прогнозування. Однак основним недоліком такого методу є висока залежність від суб'єктивної думки експерта-аналітика і неможливість якісного складання прогнозу при відсутності такого співробітника на робочому місці.

При вирішенні завдань прогнозування аналітику доводиться прийняти рішення щодо таких характеристик часового ряду як тренд, сезонна і циклічна компоненти. При вивченні кривої, що відбиває результати спостережень, аналітику важко робити припущення щодо повторюваності форми кривої через рівні проміжки часу. Кожний експерт може застосовувати свої методи. Загальним недоліком статистичних моделей є складність вибору типу моделі і підбору її параметрів. Все це істотно збільшує суб'єктивний внесок учасників процесу аналізу і прогнозування часових рядів. Таким чином, результат аналізу і прогнозування залежить як від кваліфікації аналітика в предметній галузі, так і від його кваліфікації в методах аналізу. Тому доцільне використання сучасних інтелектуальних методів, які б замінили людину. Сучасним апаратом штучного інтелекту є штучні нейронні мережі. Апарат нейронних мереж має на увазі мінімальну участь аналітика в формуванні моделі часового ряду, так як здатність нейромережевих моделей до навчання дозволяє виявити приховані взаємозв'язки і закономірності між даними, а алгоритми навчання адаптують вагові коефіцієнти відповідно до структури даних, представлених для навчання.

Мета дослідження: підвищення ефективності роботи енергопостачальних компаній на оптовому ринку електроенергії (потужності) в результаті розробки моделі прогнозування електроспоживання на основі штучних нейронних мереж. Для цього в статті проводиться дослідження

багатошарових нейронних мереж для прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні успішність використання багатошарових нейронних мереж для вирішення задачі прогнозування в різних галузях вже доказана та підтверджена. Також є дослідження в галузі енергетики.

Стаття Карпа Д. М. присвячена прогнозуванню та виявленню аномальних показників споживання енергоресурсів. Для цього авторами використано нейронні мережі, запропоновано адаптивне та безперервне навчання нейромережі. Результати авторів показують, що швидкодія нейронних мереж перевищує алгоритми кластеризації [3].

У роботі Сагайда П.І., Мікаелян Е.В. [4] розглянуто питання розробки програмного комплексу для проведення прогнозування споживання електроенергії. Автори вирішили при прогнозуванні враховувати сезонні фактори та погодні умови, які можуть істотно впливати на прогноз споживання електроенергії в цілому. Авторами вирішено порівняти методи прогнозування – регресійний аналіз, використання моделі ARIMA та штучних нейронних мереж. Стаття присвячена більше проектуванню програмного забезпечення, але числових значень результатів порівняння не наведено.

Стаття І.В. Білінова присвячена короткостроковому прогнозуванню сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Для цього автор використовував нейронної мережі глибинного навчання, а для їх навчання функцію похибки, яка є комбінацією середнього квадрату відхилень та похибкою квантильної регресії для моделі перцентилів. Дослідження, які проводились на реальних даних, показали достовірні результати при використанні нейронної мережі для прогнозування [5].

У статті Б. Л. Тишевича [6] також розглядається використання нейронних мереж для прогнозування енергоспоживання. Введення моделі нейронної мережі, яка здійснює ідентифікацію графіків енергоспоживання, є додатковим шляхом підвищення точності прогнозування. Автор робить висновок, що до використання нейронних мереж для прогнозування енергоспоживання необхідно вдаватися тому, що зміни в часі електричного навантаження є випадковими процесами, тобто функції випадковим чином залежні від часу, а також від ряду внутрішніх і зовнішніх чинників. В цілому електричне навантаження – стохастичний процес, домінуючими причинно-наслідковими чинниками якого є час доби і погодні умови. Подальший розвиток комп'ютерних технологій дозволяє реалізувати складні розгалужені нейронні мережі, які забезпечують високу точність прогнозування для стохастичних процесів [6].

У роботі Давиденко В.А. [7] розглянуто питання застосування штучних нейронних мереж для прогнозування електроспоживання в виробничих системах з урахуванням архівних даних для сукупності показників енергоефективності. Автори дійшли висновку, що використання апарату нейронних мереж забезпечує можливість прогнозування електроспоживання в складній виробничій системі на основі урахування вхідного вектору параметрів без дослідження їх зв'язків з величиною спожитої електроенергії шляхом формування архітектури мережі та її навчання на основі архіву даних [7].

У статті О.Г. Руденка [8] запропоновано метод навчання нейронних мереж при вирішенні задачі прогнозування часового ряду (ЧР). Більшість практичних задач прогнозування ЧР характеризуються високим рівнем нелінійності і нестационарності, зашумленістю, наявністю нерегулярних трендів, стрибків, аномальних викидів. У цих умовах жорсткі статистичні припущення про властивості ЧР часто обмежують можливості класичних методів прогнозування. Альтернативою статистичним методам можуть служити методи обчислювального інтелекту, до числа яких відносяться штучні нейронні мережі. Результати імітаційного моделювання підтвердили, що запропонований метод навчання нейронної мережі дозволяє значно підвищити точність прогнозування часових рядів [8].

У роботі [9] розглядається задача прогнозування споживання електричної енергії у Львівській області за допомогою штучних нейронних мереж. Наведені переваги нейронних мереж з неітераційним навчанням та комбінований режим їх використання для здійснення прогнозів.

У роботі [10] Khan використовує різні методи видобутку даних, включаючи попередню обробку історичних даних завантаження та характеристики часових рядів завантаження. Автор проаналізував тенденції споживання електроенергії з відновлюваних джерел енергії та невідновлюваних джерел енергії та об'єднав їх. Новий гібридний підхід на основі машинного навчання,

що поєднує багат шаровий перцептрон (MLP), підтримку векторної регресії (SVR) і CatBoost, пропонується в цій роботі для прогнозування потужності.

У статті Pedro A. González [11] показано новий підхід до короткострокового прогнозування навантаження в будівлях. Метод заснований на особливому вигляді штучної нейронної мережі (ШНС), яка повертає частину своїх вихідних даних. Ця ШНС навчається за допомогою гібридного алгоритму. Нова система використовує поточні і прогнозовані значення температури, поточне навантаження, а також час і день в якості вхідних даних. Ефективність цього провісника оцінювалася з використанням реальних даних і результатів міжнародних конкурсів. Досягнуті результати демонструють високу точність, досягнуту за допомогою цієї системи.

Дослідження [12] пропонує до використання тимчасову згтовку нейронну мережу (Temporal Convolutional Neural Network (TCN)) з розширеними причинними звертковими шарами для виконання прогнозування замість звичайного Long-Short Term Memory (LSTM), тому що TCN демонструє меншу пам'ять і обчислювальні вимоги. У цій науково-дослідній роботі електрична енергія споживання вдало прогнозується шляхом реалізації TCN.

Таким чином, штучні нейронні мережі добре себе показують для вирішення задачі прогнозування, в тому числі прогнозування обсягів електроенергії.

Виклад основного матеріалу. В дослідженні необхідно побудувати нейронну мережу на основі механізму багат шарового перцептрону. На основі цього механізму можливо передбачення значень змінних, важливих у процесі прийняття рішення. Багат шаровий перцептрон дозволяє досліджувати функції практично будь-яких ступенів складності.

Використання апарату нейронної мережі для прогнозування часових рядів полягає в формуванні нейронної мережі певної структури, в її параметричній настройці на основі поведінки досліджуваної системи в заздалегідь відомі моменти часу, в передбаченні майбутньої поведінки системи за її передісторії. Вибір структури нейронної мережі обумовлюється специфікою і складністю розв'язуваної задачі. Щоб побудувати нейромережеву модель, здатну адекватно і з заданою точністю вирішувати поставлене перед нею завдання, необхідно:

1) описати об'єкт, який виступає в якості вхідного сигналу нейронної мережі. Це можуть бути вихідні значення змінних, початкові значення визначених величин. У нашому випадку в ролі вхідного сигналу будуть виступати дані про електроспоживання за попередній аналогічний період;

2) визначити об'єкт, який буде виступати в якості вихідного сигналу. Це можуть бути шукані значення змінних. У випадку з короткостроковим прогнозуванням електроспоживання, це буде графік споживання на добу вперед з погодинною розбивкою;

3) визначити так званий цільовий вихідний сигнал нейромережі, тобто таку величину електроспоживання, до якої нейронна мережа повинна намагатися наблизити свій прогноз;

4) визначити архітектуру штучної нейронної мережі: кількість шарів, спосіб зв'язку між шарами, вагові коефіцієнти;

5) визначити функцію, за допомогою якої нейронна мережа «виправляла» б відхилення реального вихідного сигналу від бажаного;

6) визначити критерії оцінки якості роботи мережі і способи її оптимізації;

7) визначити значення синаптичних ваг для нейронів мережі. Для цього існують різні способи, такі як:

а) аналітичний спосіб, при безпосередній постановці завдання;

б) за допомогою чисельних методів;

в) скориставшись процедурою налаштування коефіцієнтів штучної нейронної мережі;

8) виконати навчання нейронної мережі, що включає параметричну настройку моделі на основі навчання на виділеній з безлічі вихідних даних навчальній вибірці. Для багат шарового перцептрону використовують навчання з учителем. При навчанні з учителем для кожного навчального вхідного прикладу потрібне знання правильної відповіді. Нейронній мережі пред'являються значення вхідних і вихідних сигналів, а вона за певним алгоритмом підлаштовує ваги синаптичних зв'язків. У процесі навчання здійснюється коректування ваг мережі за результатами порівняння фактичних вихідних значень з відомими заздалегідь і очікуваними вихідними значеннями. При навчанні нейронної мережі відбувається зміна вагових коефіцієнтів мережі на підставі зміни фактичної похибки на ітераціях навчання. Навчання мережі може бути припинено відповідно до режиму навчання: за фіксоване число кроків або за змінне число кроків, в ході яких

відбувається мінімізація помилки мережі, тобто мережа налаштовує вагові коефіцієнти таким чином, щоб відміна вихідного сигналу від бажаного було мінімальною;

9) виконати тестування навченої нейронної мережі, тобто визначити якість, яка оцінюється на контрольній вибірці, що виділена з безлічі вихідних даних. Навчальна та контрольна вибірка непересічні і, як правило, в безлічі вихідних даних хронологічно слідує один за одним. Якщо на контрольній вибірці значення помилки знаходиться в допустимих межах, то настройка нейронної мережі вважається завершеною, а нейронна мережа готовою для вирішення завдання прогнозування.

Для проведення першого етапу необхідно оцінити дані. На виконання Положення про складання спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 р. № 483, згідно пп. 6 п. 10. щомісяця відбувається оприлюднення інформації про погодинні місячні обсяги купівлі електричної енергії у гарантованого покупця та фактичний продаж електричної енергії побутовим споживачам [3]. Такі дані публікують відповідні компанії, що надають послуги з постачання електричної енергії [13]. Було проаналізовано інформацію про погодинні місячні обсяги купівлі електричної енергії у ДП «Гарантований покупець» з серпня 2020 по серпень 2021 року. Підтверджено, що дані відповідають за характером часовим рядам, мають сезонність. На рисунку 1 наведено приклад інформації про щоденні обсяги купівлі електричної енергії за червень 2021 року. Аналіз показав, що спостерігається певна закономірність: спад потреб у неділю – 6, 13, 20, 27. Також варто зазначити спад потреби електроенергії у святкові дні. Так у червні 2021 року були святковими днями неділя 20 червня та потім вихідний понеділок 21 червня, а також понеділок 28 червня. Такі дані можна використовувати при прогнозуванні.



Рис. 1 – Динаміка обсягів купівлі електричної енергії за червень 2021 року [17]

Таким чином, для прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам необхідно враховувати наступні дані: місяць року, день тижня, тип дня (святковий чи робочий). В якості основних числових даних треба використовувати середнє максимальне значення погодинної купівлі електричної енергії, яке надається у відкритому доступі.

Висновки та напрямок подальших досліджень

Споживання енергії пов'язане з усіма видами господарської діяльності людини. Виробництво енергії істотно впливає на стан довкілля, тому якісне планування електроспоживання є пріоритетним питанням у стратегії розвитку будь-якої країни. Всі обов'язки з планування електроенергії та купівлі електроенергії лягають на енергопостачальні компанії. Якісне планування

електроспоживання призведе до зниження витрат енергопостачальних компаній, що матиме вплив на зниження витрат на створення кінцевої продукції для пересічного споживача.

Виконання прогнозування людиною має суб'єктивний характер – результат залежить як від кваліфікації аналітика в предметній галузі, так і від його кваліфікації в методах аналізу. Тому доцільне використання сучасних методів штучного інтелекту – нейронних мереж, які мають здатність до навчання на наборі даних та дозволяють виявити приховані взаємозв'язки і закономірності між даними. Аналіз останніх досліджень та публікацій стосовно використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні в енергетиці підтвердив доцільність використання обраного метода для визначеної проблеми. Для використання моделі багатошарової нейронної мережі досліджено необхідні етапи та проаналізовано дані. Встановлено характер даних, що описують обсяги щомісячної погодинної купівлі електричної енергії для побутових споживачів. Визначено особливості вхідних параметрів для нейронної мережі: місяць року, день тижня, тип дня (святковий чи робочий), середнє максимальне значення погодинної купівлі електричної енергії. Далі можна перейти к етапу моделювання та навчання нейронної мережі для прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам.

Перелік використаних джерел:

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету міністрів України від 18.08.2017 № 605-р. – 2017. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>.
2. ДП «ГАРАНТОВАНИЙ ПОКУПЕЦЬ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gpee.com.ua>.
3. Про затвердження Положення про покладення спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії: Постанова Кабінету міністрів України від 05.06.2019 № 483. – 2019. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2019-%D0%BF#Text>.
4. Карпа Д.М. Нейромережеві засоби прогнозування споживання енергоресурсів / Д.М. Карпа, І.Г. Цмоць, Ю.В. Опотяк // Науковий вісник НЛТУ України. – 2018. – Т. 28, № 5. – С. 140-146. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15421/40280529>.
5. Сагайда П.І. Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій для прогнозування споживання електроенергії / П.І. Сагайда, Е.В. Мікаелян // Научный Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2018. – № 1. – С. 24-31.
6. Блінов І.В. Короткостроковий інтервальний прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії / І.В. Блінов, В.О. Мірошник, П.В. Шиманюк // Праці інституту електродинаміки НАН України. – 2019. – Вип. 54. – С. 5-12. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/publishing2019.54.005>.
7. Тишевич Б.Л. Застосування нейронних мереж у сучасних методах прогнозування енергоспоживання / Б.Л. Тишевич // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2014. – Вип. 23. – С. 66-72. – (Серія: Гірництво).
8. Давиденко В.А. Багатофакторне моделювання електроспоживання в складних виробничих системах з використанням апарату нейронних мереж / В.А. Давиденко, Л.В. Давиденко, Н.В. Коменда // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2016. – Вип. 175. – С. 143-145. – (Серія: Технічні науки).
9. Rudenko O. Neural network time series prediction based on multilayer perceptron / O. Rudenko, O. Bezsonov, O. Romanyk // Development Management. – 2019. – Vol. 5, iss. 1. – Pp. 23-34. – Режим доступу: [https://doi.org/10.21511/dm.5\(1\).2019.03](https://doi.org/10.21511/dm.5(1).2019.03).
10. Ткаченко Р.О. Прогнозування споживання електричної енергії у Львівській області за допомогою штучних нейронних мереж / Р.О. Ткаченко, О.М. Павлюк // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2002. – № 450. – С. 76-80. – (Серія: Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології).
11. Machine Learning-Based Approach to Predict Energy Consumption of Renewable and Nonrenewable Power Sources / P.W. Khan, Y.-C. Byun, S.-J. Lee, D.-H. Kang, J.-Y. Kang, H.-S. Park // Energies. – 2020. – Vol. 13, iss. 18. – Pp. 1-16. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/en13184870>.

12. González P.A. Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network / P.A. González, J.M. Zamarréño // *Energy and Buildings*. – 2005. – Vol. 37, iss. 6. – Pp. 595-601. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.09.006>.
13. Інформація про погодинні місячні обсяги купівлі електричної енергії у гарантованого покупця та фактичний продаж електричної енергії побутовим споживачам [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vin.enera.ua/el/reports>.

References:

1. *Rozporiadzhennia Kabinetu ministriv Ukraini vid 18.08.2017 № 605-r «Pro skhvalennia Energetichnoi strategii Ukraini na period do 2035 roku «Bezpeka, energoefektivnist', konkurentospromozhnist'»»* [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 No. 605-r. «On the approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035 «Security, energy efficiency, competitiveness»»]. 2017. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text (accessed 15 June 2022). (Ukr.)
2. *DP «GARANTOVANII POKUPETS'» (SE «GUARANTEED BUYER»)* Available at: www.gpee.com.ua (accessed 05 June 2022). (Ukr.)
3. *Postanova Kabinetu ministriv Ukraini vid 05.06.2019 № 483 «Pro zatverdzhennia Polozhennia pro pokladennia spetsial'nikh obov'iazkiv na uchastnikiv rinku elektrichnoi energii dlia zabezpechennia zagal'nosuspil'nikh interesiv u protsesi funktsionuvannia rinku elektrichnoi energii»* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 06/05/2019 No. 483 «On the approval of the Regulation on the imposition of special duties on the participants of the electric energy market to ensure the general public interests in the process of functioning of the electric energy market»]. 2019. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2019-%D0%BF#Text (accessed 12 June 2022). (Ukr.)
4. Karpa D.M., Tsmots' I.G., Opotiak Iu.V. Neiromerzhevi zasobi prognozuvannia spozhivannia energoresursiv [Neural network means of forecasting the consumption of energy resources]. *Naukovii visnik NLTU Ukraini – Scientific bulletin of UNFU*, 2018, vol. 28, № 5, pp. 140-146. doi: 10.15421/40280529. (Ukr.)
5. Sagaida P.I., Mikaelyan E.V. Doslidzhennia metodiv, modelei ta informatsiinih tekhnologii dlia prognozuvannia spozhivannia elektroenergii [Research of methods, models and information technologies for forecasting electricity consumption]. *Nauchnyi Vestnik Donbasskoi gosudarstvennoi mashinostroitel'noi akademii – Scientific Herald of the Donbass State Engineering Academy*, 2018, № 1, pp. 24-31. (Ukr.)
6. Blinov I.V., Miroshnyk V.O., Shimanyuk P.V. Korotkostrokovii interval'nii prognoz sumarnogo vidpusku elektroenergii virobnikami z vidnovliuvanikh dzherel energii [Short-term interval forecast of total release of electricity by producers from renewable energy sources]. *Pratsi institutu elektrodinamiki NAN Ukraini – Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine*, 2019, vol. 54, pp. 5-12. doi: 10.15407/publishing2019.54.005. (Ukr.)
7. Tishevich B.L. Zastosuvannia neironnikh merezh u suchasnikh metodakh prognozuvannia energospozhivannia [Application of neural networks in modern methods of forecasting energy consumption]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu Ukraini «Kiivs'kii politekhnichnii institut». Seriya: Girnitstvo – Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*. Series: Mining, 2014, vol. 23, pp. 66-72. (Ukr.)
8. Davidenko V.A., Davidenko L.V., Komenda N.V. Bagatofaktorne modeliuвання elektrospozhivannia v skladnikh virobnychikh sistemakh z vikoristanniam aparatu neironnikh merezh [Multifactor modeling of power consumption in complex production systems using the apparatus of neural networks]. *Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. Seriya: Tekhnichni nauki – Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Series: Technical sciences*, 2016, vol. 175, pp. 143-145. (Ukr.)
9. Rudenko O., Bezsonov O., Romanyk O. Neural network time series prediction based on multilayer perceptron. *Development Management*, 2019, vol. 5, iss. 1, pp. 23-34. doi: 10.21511/dm.5(1).2019.03.
10. Tkachenko R.O., Pavliuk O.M. Prognozuvannia spozhivannia elektrichnoi energii u L'vivs'kii oblasti za dopomogoiu shtuchnikh neironnikh merezh [Forecasting of electricity consumption in the Lviv region using artificial neural networks]. *Visnik NU «L'vivs'ka politekhnika». Seriya:*

- Komp'uterna inzheneriia ta informatsiini tekhnologii* – Journal of Lviv Polytechnic National University. Series: Computer engineering and information technologies, 2002, № 450, pp. 76-80. (Ukr.)
11. Khan P.W., Byun Y.-C., Lee S.-J., Kang D.-H., Kang J.-Y., Park H.-S. Machine Learning-Based Approach to Predict Energy Consumption of Renewable and Nonrenewable Power Sources. *Energies*, 2020, vol. 13, iss. 18, pp. 1-16. doi: **10.3390/en13184870**.
 12. González P.A., Zamarreño J.M. Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network. *Energy and Buildings*, 2005, vol. 37, iss. 6, pp. 595-601. doi: **10.1016/j.enbuild.2004.09.006**.
 13. *Informatsiia pro pogodinni misiachni obsiagi kupivli elektrichnoi energii u garantovanogo pokuptsia ta faktichniy prodazh elektrichnoi energii pobutovim spozhivacham* (Information on hourly monthly volumes of electricity purchased from a guaranteed buyer and the actual sale of electricity to household consumers) Available at: www.vin.enera.ua/el/reports (Accessed 15 August 2022). (Ukr.)

Рецензент: О.Є. П'ятикоп
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 08.08.2022

УДК 004.056

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276223

© Федосова І.В.¹, Котихова Л.Д.², Перець Є.О.³

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ПСИХОНЕВРОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Стаття розкриває тему розробки експертної системи психоневрологічних захворювань з використанням методу диференціальної діагностики. Завдання системи диференціальної медичної діагностики – визначити захворювання, якими може страждати пацієнт, на підставі даних спостереження за його симптомами. Метод, який використовується під час діагностики захворювання, – диференціальний. Цей метод відсіює хвороби через невідповідності будь-яким фактам або симптомам, що в кінці має призвести до єдиної можливої хвороби. Розроблена і реалізована експертна система (ЕС) включає в себе: механізм звернення до бази даних симптомів по кожному з корелюючих захворювань, алгоритм формування вхідних параметрів ЕС, метод прийняття рішень на основі логічного механізму. У роботі досліджено та проаналізовано різноманітні механізми ухвалення рішень, що дозволило уникнути недоліків та покращити роботу експертної системи. Робота ЕС спирається на базу знань симптомів. База даних є сукупністю диференційно-діагностичних ознак, відповідних частот зустрічальності для кожного з діагностованих захворювань. В додатку є два режими роботи: режим роботи з базою знань, який забезпечує безпосередньо роботу з базою даних та підтримку всіх необхідних операцій для повного функціонування системи. Режим аналізу, в якому фахівець отримує підтримку в прийнятті рішення при постановці діагнозу. Користувач встановлює наявні симптоми пацієнта, після чого відбувається обробка введених даних. Наприкінці користувач отримує результат проведеного аналізу з найбільш ймовірного діагнозу до найменш ймовірного з розрахованою оцінкою відповідності. Така система має високу ефективність, надійність, доступність для розуміння та продуктивність. Застосування

¹ д-р пед. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3923-8270, irivasilevna1964@gmail.com

² асистент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0006-5008-622X, kotykhova_l.d@pstu.edu

³ студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

такої системи дозволяє уникнути надмірності інформації, тим самим зменшити час для первинної обробки даних.

Ключові слова: експертна система, база знань, механізм прийняття рішень, фрейм.

I.V. Fedosova, L.D. Kotykhova, Y.O. Perets. Expert system for the study of psychoneurological diseases using the method of differential diagnostics. The article reveals the topic of developing an expert system of psychoneurological diseases using the method of differential diagnostics. The task of the system of differential medical diagnosis is to determine the diseases that the patient may suffer from, based on the observation of his symptoms. The method used in diagnosing the disease is differential. This method weeds out diseases because they do not match any facts or symptoms, which in the end must lead to the only possible disease. The developed and implemented expert system includes: a mechanism for accessing the database of symptoms for each of the correlating diseases, an algorithm for forming ES input parameters, a decision-making method based on a logical mechanism. Various decision-making mechanisms were investigated and analyzed in the work, which made it possible to avoid shortcomings and improve the work of the expert system. ES work relies on a knowledge base of symptoms. The database is a collection of differential diagnostic features, corresponding frequencies of occurrence for each of the diagnosed diseases. The application has two modes of operation: the mode of operation with the knowledge base, which provides direct work with the database and support for all necessary operations for the full functioning of the system. The mode of analysis in which the specialist receives support in making a decision when making a diagnosis. The user sets the patient's existing symptoms, after which the managed data is processed. At the end, the user receives the result of the performed analysis with the most probable diagnosis to the least probable one with a calculated conformity assessment. Such a system has high efficiency, reliability, accessibility and productivity. The use of such a system allows you to avoid redundancy of information, thereby reducing the time for primary data processing.

Key words: expert system, knowledge base, decision-making mechanism, frame.

Постановка проблеми. Інтелектуальні експертні системи (ЕС) отримали найширше застосування в галузі медицини у якості помічника при плануванні лікування та прогнозування ризиків розвитку ускладнень. Це пов'язано з тим, що у екстрених випадках життя пацієнта залежить від термінів постановки діагнозу та вибору схеми лікування. Однак лікареві для цього може знадобитися час, іноді досить тривалий, особливо у разі спірного діагнозу або присутності в анамнезі пацієнта хронічних захворювань. Водночас якісна медична експертна система здатна надати адекватні результати, які по точності можна порівняти з призначеннями експерта, причому в найкоротші терміни.

Доволі актуальною сферою застосування медичних ЕС є діагностика психіатричних захворювань. Це зумовлено трудомісткістю діагностичної роботи. Для її проведення лікарю-психіатру необхідно: мати всебічні знання в галузі загальної психопатології та клініки психічних захворювань; утримувати в пам'яті колосальну інформацію про критерії клінічної оцінки симптомів і синдромів, особливості, форми, типи перебігу всіх психічних захворювань. Обсяг психологічної інформації, що постійно зростає, зростаючі вимоги до використання математичних методів обробки даних та обсягів досліджуваних вибірок призводить до необхідності автоматизації окремих складових діяльності психолога, включаючи вже не лише рутинні операції, а й організацію його практичної та науково-дослідної роботи. На жаль, недостатнє використання інформації в практичній роботі лікарів-психіатрів, а також лікарів суміжних спеціальностей призводить до зниження точності діагностики, ефективності лікування і в результаті подовжує терміни перебування хворих у стаціонарі та їх непрацездатності. Також масове «омолодження» лікарів у цьому напрямку призводить до зниження в ньому частки досвідчених фахівців, що може спричинити негативні наслідки у лікуванні пацієнта.

Зі сказаного вище можна зробити висновок про бажаність залучення на допомогу практичному лікарю найбільш сучасних технічних і, в першу чергу, обчислювальних засобів, здатних забезпечити обробку діагностичної інформації і прийняти на себе деякі функції консультанта. Експертна система, що розробляється, зможе стати доброю підмогою для практикуючих лікарів

або студентів медичних факультетів, оскільки міститиме в собі зручну для пошуку базу даних (БД) з усією інформацією з психічних розладів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Структура медичної ЕС включає в себе користувальницький інтерфейс, базу даних симптомів та механізм прийняття рішень, що дозволяє системі приймати рішення про постановку попереднього діагнозу без допомоги спеціаліста. Такий механізм може бути логічним, тобто являти собою сукупність формалізованих фактів та правил логічного висновку (базу знань), математичним, який включає в себе математичний апарат виведення результуючих даних, або гібридним, тобто об'єднанням перших двох методів.

При створенні БД симптомів фахівці у галузі медицини можуть зіткнутися з наступною проблемою: одному симптому можуть відповідати одразу кілька найменувань залежно від джерел даних. Така ситуація може виникнути, коли над складанням БД симптомів працює не один експерт та їх термінологія різна. У випадку, коли симптомів небагато, ця проблема не така помітна. Однак коли обсяг БД симптомів досить великий, база даних симптомів займає дуже великий обсяг пам'яті та звернення ЕС до неї може займати значну кількість часу, що неприпустимо.

У роботі [1] запропоновано формалізувати клінічну інформацію для оптимізації діагностичного процесу так, щоб за кожним симптомом був свій унікальний код. Тобто безлічі текстових шаблонів буде зіставлено одне явище – симптом, що відповідає своєму унікальному коду. Цього можна досягти, якщо зробити акцент не на різних найменуваннях одного симптому, а на термінах, що описують його. Наприклад, симптоми «послаблююча температура» та «ремітуюча температура» описують один симптом і повинні мати єдиний унікальний код. Таке відношення між іменами, коли найменування посилаються на один і той же об'єкт, називається корелативною чи референціальною тотожністю.

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) зробила серйозний крок у вирішенні проблеми з термінологією захворювань, розробивши міжнародну класифікацію хвороб (МКХ). Ця класифікація раз у десять років підлягає перегляду та доповненню новими захворюваннями. Для того, щоб аналогічним чином вирішити проблему з формалізацією бази даних симптомів, ВООЗ створює міжнародну класифікацію функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я.

В іншій роботі розроблено базу даних симптомів на основі даних МКХ для ведення первинного прийому дітей раннього віку з різними порушеннями. Для зберігання великого обсягу даних найчастіше використовуються реляційні бази даних. Як система управління базами даних (СУБД) у роботі застосовується СУБД Microsoft Access, що належить до реляційних систем. Такий підхід дозволив авторам також здійснювати вибірку інформації з бази даних і здійснювати іншого роду маніпуляції з даними, що зберігаються в програмному середовищі, створеному мовою Delphi 7.

Наступний етап розробки медичної ЕС є реалізація механізму ухвалення рішень. Нижче докладно описано метод використання гібридного механізму. В цьому випадку для постановки діагнозу застосовують дерева прийняття рішень (ДПР). ДПР – це направлений граф, у якого кінцеві вершини (вершини графа, у яких немає дуг) є висновки (деякі альтернативи вибору). Проміжні вершини графа, що залишилися, містять у собі умову переходу до інших вершин (зображено на рис. 1 та рис. 2). Для того щоб використовувати ДПР найбільш ефективно, автори вибрали як алгоритм прийняття рішень ЕС – алгоритм генетичного програмування (ГП). Для успішного використання ГП необхідно виконати два кроки: представити об'єкти пошуку, як ієрархічні дерева, та формалізувати процедуру їхньої оцінки [2].

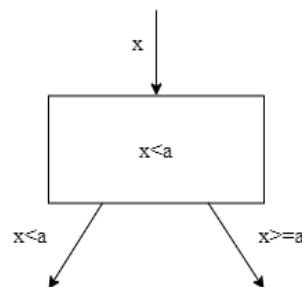


Рис. 1 – Функціональний вузол ДПР: x – змінна, що входить; a – параметр вузла

Алгоритм називається генетичним, тому що його основним завданням є «схрещування», комбінування пар варіантів розв’язання. Далі відбувається селекція, відбір, та формування нового покоління за допомогою мутації, яка успадковує деякі ознаки попереднього. Етап мутації є не що інше, як випадкові зміни в ДПР з досить малою ймовірністю. Функціональна вершина (проміжна вершина графа) замінюється на випадково обрану функціональну вершину, а термінальна вершина (кінцева вершина графа) – на термінальну [3].

Далі знову відбувається схрещування та відбір. Так триває до того часу, поки число циклів (покоління) не досягне заздалегідь обраного максимуму та не вичерпано час роботи програми.

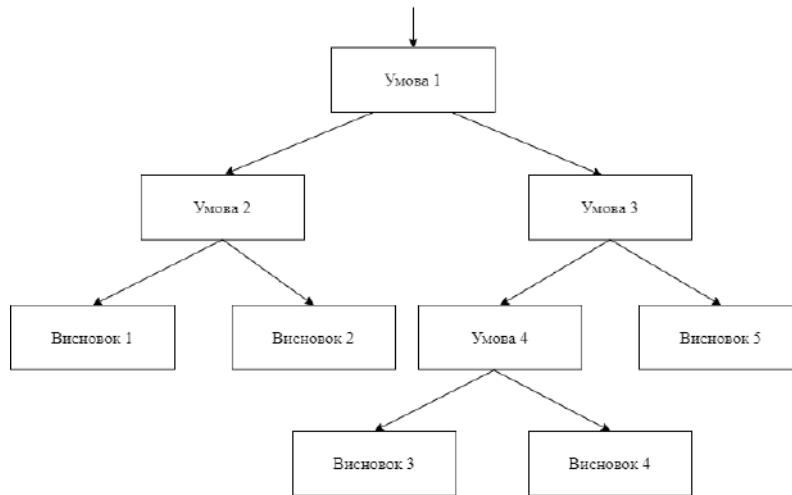


Рис. 2 – Дерево прийняття рішень

Результатом роботи ЕС на основі генетичного програмування буде формування дерева прийняття рішень із найбільшою придатністю.

Експертна система, реалізована на основі генетичного програмування, має свої недоліки:

- 1) на «селекцію», перебір усіх альтернативних варіантів програми, потрібно багато часу;
- 2) кількість поколінь (циклів програми) обмежена – у результаті вирішення завдання буде наближеним.

У роботі [4] наведено наочний приклад ефективного використання математичного методу ухвалення рішення для БД, побудованої на базі сукупності диференційно-діагностичних ознак. Медична ЕС у разі зіставляє матрицю симптомів пацієнта X еталонним матрицям захворювань S . У самих матрицях зберігається масив вагових коефіцієнтів k за кожною частотою зустрічальності f симптому у конкретному захворюванні. Частота зустрічальності визначається емпірично за вибіркою пацієнтів за допомогою підрахунку зустрічальності кожного із симптомів:

$$f = \frac{N_+}{N_+ + N_-} \times 100\% , \quad (1)$$

де N_+ – пацієнти з вибірки з наявністю даного симптому;

N_- – пацієнти, у яких цей симптом відсутній.

При використанні математичного підходу до прийняття рішень, ваговий коефіцієнт k_i i -го симптому розраховується так:

$$k_i = \frac{f_i}{\sum f_i} \times 100\% , \quad (2)$$

де f_i – частота народження i -го симптому, відповідна даному ваговому коефіцієнта [5].

Далі для встановлення попереднього діагнозу розраховується діагностичний індекс D за формулою:

$$D = \sum k_i p_i , \quad (3)$$

де $p_i = \begin{cases} 0, \text{ значення } i - x \text{ комірок матриці } X \text{ та матриці } S \text{ не рівні;} \\ 1, \text{ значення } i - x \text{ комірок матриці } X \text{ та } S \text{ співпадають.} \end{cases}$

Діагностичний індекс дозволяє розрахувати ймовірність наявності того чи іншого захворювання у відсотковому відношенні.

Метою дослідження є вибір оптимального методу ухвалення рішень, розробка та реалізація експертної системи для ранньої діагностики психоневрологічних захворювань, що включає:

- мати можливість підключення бази даних симптомів різних захворювань;
- механізм звернення до бази даних симптомів по кожному з корелюючих захворювань;
- включати інтерфейс користувача, що дозволяє застосовувати розроблений програмний засіб для діагностики широкого кола патологій;
- проводити ранню діагностику захворювання за сукупністю диференційно-діагностичних ознак;
- метод ухвалення рішень.

Виклад основного матеріалу. Метод, що використовується під час діагностики – диференціальна діагностика. Це метод, що відсіює хвороби через невідповідності будь-яким фактам або симптомам, що в кінці має привести до можливої хвороби.

Завдання системи диференціальної медичної діагностики полягає у визначенні хвороб, на які можливо хворий пацієнт, на основі даних про спостереження за його симптомами. У даній роботі з розробки ЕС використовується логічний метод прийняття рішень. Ключовим поняттям такої системи є база знань. На рис. 3 представлена схема роботи проекрованої експертної системи диференціальної діагностики.

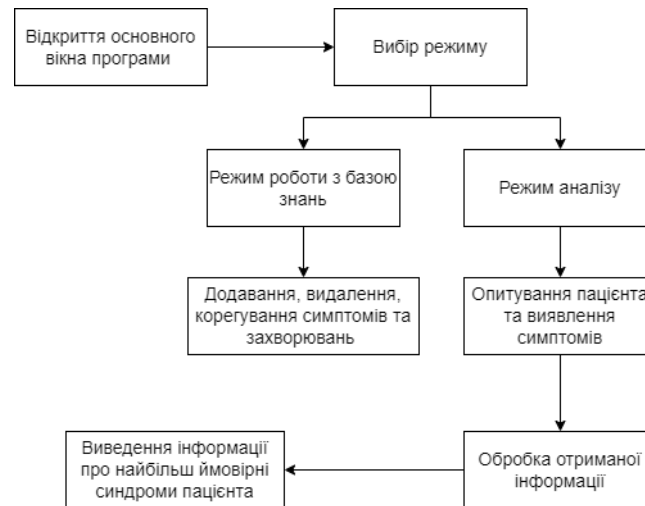


Рис. 3 – Схема роботи проекрованої системи

Таким чином, в ЕС симптоми є безпосереднім проявом хвороби, первинними ознаками патологічного стану організму. Симптом, з якого починається діагностика психічного захворювання, є в психіатрії клінічною одиницею першого порядку. У психіатрії симптом є фундаментом розпізнавання хвороби, поза симптомами неможлива діагностика захворювання. Однак обмежуватись симптомами недостатньо. На шляху до обґрунтування кінцевого діагнозу черговим етапом складнішого синтезу клінічного знання про хворого є група симптомів, що становить певну єдність – синдром. Синдром є клінічною одиницею другого порядку. Цей закономірний зв'язок відображає патогенетичні механізми хвороби. Синдром, що представляє психічний статус хворого в даний момент, безпосередньо відображає патогенетичні механізми захворювання. У цьому полягає його значення у пізнанні сутності хвороби.

Таке співвідношення взаємних зв'язків, при якому кожне психіатричне захворювання (і захворювання взагалі) або синдром захворювання можна описати набором симптомів, свідчить про застосування фреймової моделі. З погляду фреймової моделі кожне захворювання або синдром є фрейм, що складається з набору слотів – симптомів.

Застосування фреймів для представлення знань при реалізації інструментальних засобів дозволяє описувати досить широкий клас технологічних об'єктів. Уніфікована структура фреймів і невелике число стандартних правил обробки дозволяють описувати більш складні правила обробки і роблять систему гнучкою в побудові різних об'єктно-орієнтованих структур знань.

Фреймовий спосіб представлення знань задовольняє вимогам, характерним для нових інформаційних технологій, а саме: проблемно-незалежне подання інформації, забезпечення створення і коригування бази знань, даних і фактів на інформаційному рівні, підтримка вибору на якісному і кількісному рівні, можливість опису на інформаційному рівні різних правил вибору, досить простий переклад способу в машинне подання [5].

При такому підході слід враховувати, що кожен симптом може виявлятися в цілому ланцюжку захворювань, що часто належать до різних класів. Більше того, кожен окремий симптом лише з певним ступенем достовірності вказує на наявність розладу. Наприклад, наявність металевого смаку в роті пацієнта може свідчити про інтоксикацію свинцем, а з іншого боку – смакову псевдогалюцинацію. Таким чином, висновок про наявність розладу можна зробити, лише виявивши ряд найбільш характерних симптомів. Практично – поставити пацієнтові кілька питань, що характеризують розлад та відповідні симптоми. У цьому слід враховувати і коефіцієнт коректності постановки питання, що характеризує можливу двозначність. Умовно, цей підхід можна представити у такому вигляді:

$$P_{\text{розлади}} = k_{\text{cor}_1} * K_{\text{відповідь питання 1}} + k_{\text{cor}_2} * K_{\text{відповідь питання 2}} + \dots + k_{\text{cor}_3} * K_{\text{відповідь питання 3}} + \dots, \quad (4)$$

де $P_{\text{розлади}}$ – рівень достовірності наявності розладу;

k_{cor_1} – ваговий коефіцієнт коректності питання;

$K_{\text{відповідь питання}_1}$ – коефіцієнт, що характеризує відповідь пацієнта (рівні підтвердження повного та неповного заперечення).

Проведення повного опитування дозволить виявити рівні достовірності наявності розладів, що є основою для проведення аналізу синдромів та окремих захворювань.

Робота ЕС спирається на базу знань симптомів. База даних є сукупністю диференційно-діагностичних ознак, відповідних частот зустрічальності для кожного з діагностованих захворювань. В даній роботі БД сформована щодо різноманітних видів психоневрологічних захворювань. Структура цих даних дозволяє представити їх у табличному вигляді. Користувач, а саме спеціаліст чи лікар, може брати участь у складанні БД щодо відповідних захворювань, перевіряючи дані на достовірність через свої медичні знання.

Програмна оболонка експертної системи психіатричної діагностики, що розробляється, повинна забезпечити: режим роботи з базою знань, де фахівець має можливість корегувати, додавати та видаляти БД симптомів та захворювань. Режим аналізу, де фахівець після опитування пацієнта відмічає наявні симптоми, після чого відбувається обробка введених даних та отримання найбільш відповідних захворювань з оцінкою відповідності.

При реалізації програмного забезпечення програми було створено класи, що забезпечують роботу головного та діалогових вікон програми, роботу з базами даних, виведення необхідної діагностичної інформації. На рис. 4 наведено схему роботи класів форм додатку:

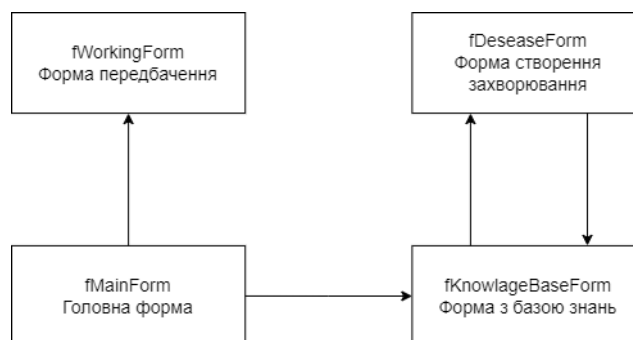


Рис. 4 – Схема взаємодії класів форм

На рис. 5 наведено меню головного вікна програми, яке дозволяє здійснити доступ до різних режимів ЕС.

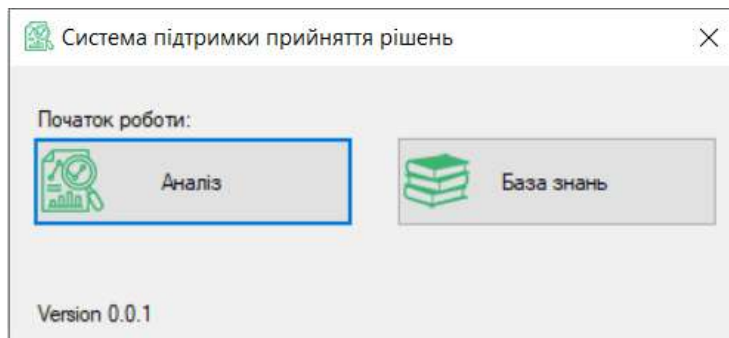


Рис. 5 – Головне вікно експертної системи

На рис. 6 наведено режим роботи з базою знань, де відображено захворювання та відповідні їм симптоми.

Назва захворювання:	Симптоми захворювання:
Обсесивно-компульсивний (навіязливо-компульсивний)	Навіязливі думки, патологічні страхи, Компульсія, Тривога
Тривожний стан	Прискорене серцебиття; Відсуття браку повітря; Запаморочення; Нудота; Надмірне потовиділення; Тремтіння; Судіть у роті; Погіршення розумових здібностей
Панічний розпад	Прискорене серцебиття; Біль у грудях; Надмірне потовиділення; Тремтіння; Задихка; Нудота; Дерезалізація; Страх втрати контролю
Маніакальний синдром	Гіпертивія; Такіпсія; Рухова активність
Гіпоманія	М'який підйомом настрою; Енергійність; Роздратований настрої; Гіпертивія; Підвищена сексуальна активність; Порушення уваги; Рухова активність
Параноя	Галюцинації; Мачна; Агресія; Змінення походки; Манія переслідування; Погіршення розумових здібностей
Шизофренія	Галюцинації; Апатія; Соціальна ізоляція; Дезорганізація мислення та мови
Депресія	Подавлений настрої; Ангедонія; Стомлюваність; Почуття провини; Невпевненість в собі; Поганий апетит; Порушення сна

Рис. 6 – Робота з базою знань

На рис. 7 наведено результати аналізу, де відображено попередній діагноз та його відповідність до вказаних симптомів.

Назва захворювання	Симптоми	Відповідність
Драголива слабкість	Збудливість; Драголивість; Виснаженість; Спалахи збудження;	6 з 7
Гіперстенічна неврастенія	Подразливість; Стомлюваність; Погіршення розумових здібностей;	3 з 7
Піостенічна неврастенія	Виснаженість; Млявість; Апатія; Сонливість; Пригніченість; Астенія	2 з 7
Депресія	Подавлений настрої; Ангедонія; Стомлюваність; Почуття провини;	1 з 7
Обсесивно-компульсивний	Навіязливі думки; Патологічні страхи; Компульсія; Тривога	0 з 7

Рис. 7 – Режим аналізу

Висновки

Результатом цієї роботи є розробка експертної системи, яка проводить ранню діагностику захворювань, забезпечує спеціаліста достовірними результуючими даними та має адаптований інтерфейс користувача, що дозволяє використовувати ЕС для діагностики кола захворювань. До явних переваг автоматизованої обробки та внесення результатів психологічного дослідження, можна віднести зменшення ймовірності допущення помилок і значна економія часу, відведеного для первинної обробки даних. Експертна система має наступні переваги: високу ефективність, продуктивність, високу надійність, доступність для розуміння.

Перелік використаних джерел:

1. Кузьминов О.М. Формализация клинической информации для оптимизации лечебно-диагностического процесса в терапевтической практике / О.М. Кузьминов, В.И. Фетисова, И.В. Синица // Научный результат. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 4-9. – (Серия: Медицина и фармация). – Режим доступа: <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2016-2-2-4-9>.
2. Russel S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. Russel, P. Norvig. – 3rd Edition. – Pearson Education Limited, 2009. – 1099 p.
3. Poli R. Exact Schema Theory for Genetic Programming and Variable-Length Genetic Algorithms with One-Point Crossover / R. Poli // Genetic Programming and Evolvable Machines. – 2001. – № 2. – Pp. 123-163. – Mode of access: <https://doi.org/10.1023/A:1011552313821>.
4. Kirillov V. Technology of Creation of an Expert System for Diagnosing Thyroid Pathology Based on a Set of Qualitative Signs of Cell Atypia / V. Kirillov, A. Gladyshev, E. Demidchik // Microscopy Research and Technique. – 2010. – № 73. – Pp. 1091-1100. – Mode of access: <https://doi.org/10.1002/jemt.20853>.
5. Semenkina M. Hybrid self-configuring evolutionary algorithm for automated design of fuzzy classifier / M. Semenkina, E. Semekin // Advances in Swarm Intelligence. – 2014. – Pp. 310-317. – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-3-319-11857-4_35.

References:

1. Kuz'minov O.M., Fetisova V.I., Sinitsa I.V. Formalizatsiia klinicheskoi informatsii dlia optimizatsii lechebno-diagnosticheskogo protsessa v terapevticheskoi praktike [Formalization of clinical information to optimize the diagnostic and treatment process in therapeutic practice]. *Nauchnyi rezul'tat. Seriya: Meditsina i farmatsiia – Scientific result. Series: Medicine and Pharmacy*, 2016, vol. 2, № 2, pp. 4-9. doi: 10.18413/2313-8955-2016-2-2-4-9. (Rus.)
2. Russel S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education Limited Publ., 2009. 1099 p.
3. Poli R. Exact Schema Theory for Genetic Programming and Variable-Length Genetic Algorithms with One-Point Crossover. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 2001, № 2, pp. 123-163. doi: 10.1023/A:1011552313821.
4. Kirillov V., Gladyshev A., Demidchik E. Technology of Creation of an Expert System for Diagnosing Thyroid Pathology Based on a Set of Qualitative Signs of Cell Atypia. *Microscopy Research and Technique*, 2010, № 73, pp. 1091-1100. doi: 10.1002/jemt.20853.
5. Semenkina M., Semekin E. Hybrid self-configuring evolutionary algorithm for automated design of fuzzy classifier. *Advances in Swarm Intelligence*, 2014, pp. 310-317. doi: 10.1007/978-3-319-11857-4_35.

Рецензент: О.Є. П'ятикоп
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 30.09.2022

УДК 004.78

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276225

© Рядченко М.П.¹, П'ятикоп О.Є.²**РОЗПІЗНАВАННЯ ГОЛОСОВОГО ПОВІДОМЛЕННЯ У МЕСЕНДЖЕРІ**

Стаття присвячена розгляду питання розпізнавання мовленнєвого сигналу. Описано етапи та елементи процесу обробки та розпізнавання природної мови з аудіосигналу. Наведено сучасні технології підтримки автоматичного розпізнавання мовлення та проблеми вибору серед них. Розглянуто аналіз останніх досліджень і публікацій щодо обробки голосових даних. Запропоновано рішення у вигляді чат-боту для автоматичного перетворення голосових повідомлень у текстові.

Ключові слова: розпізнавання мови, звукове повідомлення, ASR, NodeJS, месенджер, чат-бот.

M.P. Riadchenko, O.E. Piatykop. Recognizing speech in voice messages. The level of development of information technology makes it possible to use speech recognition technologies in a wide range of human life and activities. It is very convenient to use the voice interface: voice search for the necessary documents, dialing a phone number, managing IOT devices, voice navigation, simple text dictation. Since the natural language interface provides an additional convenience for a person when typing, sending voice messages has become common among users. In this case, voice messages are audio files. But it is not always available and convenient for the recipient to listen to such messages. This problem can be solved with the help of an automatic speech recognition system (ASR). The article describes the stages and elements of the process of processing and recognition of natural language by audio signal. Modern technologies of automatic speech recognition and problems with choosing among them are indicated. Modern automatic speech recognition (ASR) systems understand fully spontaneous speech that is natural, not memorized, contains signs of stuttering or even minor errors. At the same time, they are still too expensive to develop from scratch. So companies are faced with a choice between using the cloud API for ASR developed by the tech giants and using open source solutions. The analysis of the latest research and publications on the processing of voice data is considered. A software solution for automatic conversion of voice messages into text is proposed. The interface to the voice signal delivery system is proposed to be made as a chat bot in the messenger. The article presents the main components of the system, the algorithm of the chat bot, modern technologies for the development, implementation and configuration of the chat bot in the messenger.

Key words: speech recognition, audio, anti-noise improvement, ASR, NodeJS, messengers, chat-bot app.

Постановка проблеми. Рівень розвитку інформаційних технологій дозволяє використовувати технології розпізнавання мови у широкому колі життя та діяльності людини. Дуже зручно використовувати голосовий інтерфейс: голосовий пошук потрібних документів, набір номера телефону, управління ІОТ-пристроями, голосову навігацію, просте диктування тексту. Оскільки інтерфейс природною мовою забезпечує для людини додаткову зручність при наборі тексту, то серед користувачів поширеним стало надсилання голосових повідомлень. В цьому випадку голосові повідомлення представляють собою аудіо-файли. Але не завжди можливо та зручно прослуховувати такі повідомлення. А для адміністраторів каналів, лінгвістів, логопедів, викладачів та людей, що отримують інформацію з голосових повідомлень, прослуховування великої кількості яких по одному може обернутися надзвичайно неефективним надмірно трудомістким процесом.

¹ магістр, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-7731-3051, pee_pstu@ukr.net

Одним із способів вирішення цієї задачі є система підтримки віртуального діалогу завдяки чат-боту у популярних месенджерах: Telegram, Facebook Messenger, Slack. Зручний інтерфейс чат-боту допоможе користувачеві отримати з звукового файлу текстове повідомлення на екран. Але ядром програмної реалізації розпізнавання голосового повідомлення у месенджері є системи автоматичного розпізнавання мовлення (ASR). Загальний процес та елементи розпізнавання мовного сигналу показано на рисунку 1 [1, 2].

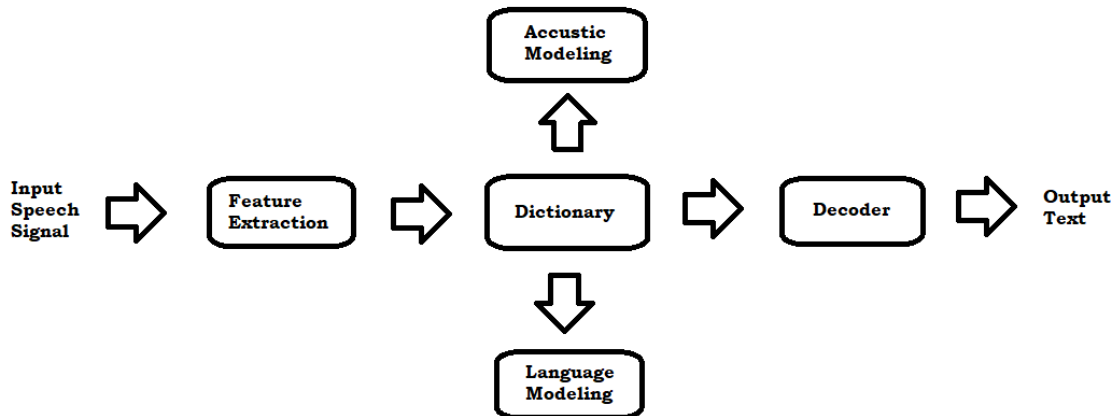


Рис. 1 – Кроки та елементи процесу розпізнавання мовленнєвого сигналу

На рисунку 1 наведено наступні елементи:

- Input Speech Signal (Аудіовхід) – мовленнєвий сигнал приймається в якості вхідного сигналу в систему за допомогою мікрофона, будь-якого подібного пристрою або з файлової системи;
- Feature Extraction (Виділення ознак) – цей блок виконує запис різних зразків мови. Оцифровка сигналу відбувається в цьому блоці, де виконується вибірка та квантування. Усунення шуму в мовленнєвому сигналі здійснюється шляхом квантування;
- Acoustic Modeling (Акустичне моделювання) – акустичне моделювання забезпечує статистичну модель мовленнєвого сигналу. Акустична модель призначає ймовірності фонемам, словами чи реченнями;
- Language Modeling (Мовне моделювання) – порівняння елементів з акустичної моделі з набором слів, присутніх у словнику, для отримання необхідної послідовності слів;
- Decoder (декодер) – використовується для розпізнавання точного слова.

Голосові повідомлення представляють спонтанну мову, яка є природною, не завченою, містить ознаки запинки чи навіть незначні помилки. Також при створенні голосових повідомлень може бути навколишній шум, який може впливати на точність результатів розпізнавання звукового повідомлення. Ще однією з актуальних проблем автоматичного розпізнавання мови є здатність обробляти голос користувача з різним набором акцентів. Тому дослідження в цьому напрямку є актуальними.

На сьогодні існує вже багато технологій створення інтелектуальних систем подібного типу - Google Cloud Speech API, Wit.ai, IBM Watson, Microsoft Azure Speech Services API та інші. Але комерційні системи пропонують обмежений доступ до деталізованих вихідних даних своїх моделей, включаючи матриці уваги (attention matrices), ймовірностей окремих слів та символів, вихідних даних проміжних рівнів, поряд з обмеженнями, пов'язаними з інтегруванням їх у інше програмне забезпечення. Тому у відповідь на ці обмеження з'являється все більше фреймворків ASR з відкритим вихідним кодом. Однак зростаюча кількість таких систем ускладнює розуміння того, яка з них найкраще відповідає потребам проекту, забезпечує повний контроль над процесом, яку можна використовувати без спеціальних знань у галузі глибокого навчання.

Тому при виборі між ASR вирішальним моментом є знаходження правильного балансу між зазвичай більш високою якістю пропріетарних систем і гнучкістю наборів інструментів з відкритим вихідним кодом. Всі ці ASR довели свою ефективність в різних умовах. Базові системи ASR

розпізнають записи з окремих слів, такі як відповіді «так» або «ні» і вимовлені цифри. Однак більш складні системи ASR підтримують безперервну мову і дозволяють вводити прямі запити або відповіді, такі як запит напрямку руху або номер телефону конкретного контакту. Якщо ASR використовується в звичайних і добре вивчених умовах і не вимагає занадто багато додаткової інформації, готова до використання система є найбільш оптимальним рішенням. Навпаки, якщо ASR є ядром проекту, більш гнучкий інструментарій з відкритим кодом стає кращим варіантом.

Метою даної роботи є дослідження моделей розпізнавання природної мови та існуючих хмарних автоматичних систем розпізнавання мовлення для їх придатності для інтегрування у месенджери для перетворення аудіоповідомлень у текст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Стаття [3] описує впровадження та оцінку ефективності мовлення ізольованого слова, незалежного від мовця. Для системи розпізнавання використовується прихована модель Маркова (HMM). Модель суміші Гауса використовується для моделювання розподілу мовних особливостей для кожного стану HMM. Система реалізована в MATLAB 7.9. Система навчена за допомогою власно створених баз даних, що складається з 60 зразків мовлення вибраних слів, перевірена на незалежний режим. Для обраних точність розпізнавання трьох слів 92%, 92% і 88% відповідно досягається в шумному середовищі.

У статті [4] «Speech Recognition in High Noise Environment» адресовано проблему розпізнавання у шумному середовищі та пропонується метод її вирішення. Більшість існуючих продуктів розпізнавання мови вимагають, щоб мова витягувалася за умови невеликого шуму або взагалі без шуму, що спрямовано на отримання правильної мовної інформації. Однак таке розпізнавання мови не можна використовувати у звичному середовищі. Так, наприклад, точність розпізнавання голосу різко знижується у рухомих автомобілях чи поїздах. Іноді голос взагалі неможливо розпізнати. Таким чином, діапазон адаптивності існуючого голосового продукту стає невеликим або непридатним. Це дослідження спрямоване на поліпшення результату розпізнавання мови у середовищі з підвищеним шумом. Пропонується новий метод, який використовує поліпшення мови у поєднанні з моделлю відкидання ознак. Новий метод дозволяє ефективно усунути вплив шуму на систему розпізнавання, незважаючи на складне середовище з великою кількістю помехового шуму. У цьому випадку правильна голосова інформація у повідомленні швидко ідентифікується. Також підвищується швидкість розпізнавання у автомобілі [4].

Розпізнавання мовлення дітей також є складним завданням [5]. Одна з причин полягає у тому, що дитяча мова має високу основну частоту, порівнянну зі значеннями частоти формантів. Крім того, у міру зростання дітей їх мовний апарат також зазнає змін. Це створює труднощі при надійному витяганні стандартних короткочасних спектральних характеристик для розпізнавання мови. В останні роки з'явилися нові методи акустичного моделювання, які дозволяють повністю очистити необхідні ознаки з необробленого мовного сигналу. Провівши дослідження на збірнику «PF-STAR corpus», проєкт «Improving Children Speech recognition Through Feature Learning From Raw Speech Signal» показує, що розпізнавання мовлення дітей може бути значно покращено з допомогою наскрізних методів акустичного моделювання [5].

Емоції відіграють життєво важливу роль у визначенні психічного стану людини. Емоції – це спосіб висловити свій світогляд та психічний стан іншим. У статті «Speech Emotion Recognition» [6] було проведено аналіз мови для вилучення емоцій. Вектор ознак містить компоненти аудіосигналу, які відображають специфічні особливості мовця, такі як тон, висота, енергія, що важливо для підготовки моделі класифікатора до точного розпізнавання конкретної емоції. Для створення набору даних для дослідницької роботи з мовленнєвих сигналів було проведено вилучення кепстральних коефіцієнтів малої частоти (MFCC). Вектор ознак, витягнутий з навчального набору даних, потім надсилається до моделі класифікатора. Тестовий набір даних пройде процедуру вилучення, після чого класифікатор зупиниться на виборі, що стосується емоції, прихованої у тестовому аудіо. Для підготовки набору даних було використано чотири різні набори даних (SAVEE, RAVDESS, TESS, CREMA-d). Використовувалися LSTM, випадковий ліс (метод машинного навчання для класифікації, регресії та інших завдань, який працює за допомогою побудови численних дерев прийняття рішень), давши точність майже 70% у тестовому наборі даних [6].

Зовсім інший підхід до розпізнавання емоцій було використано у статті «Speech Emotion Recognition Using Hidden Markov Models» [7]. У цій роботі представлена вдала спроба до

розпізнавання емоцій з допомогою системи розпізнавання RAMSES. Підхід заснований на стандартній технології розпізнавання мови з використанням прихованих напівнеперервних марківських моделей. Розглядаються як вибір низькорівневих функцій, так і дизайн системи розпізнавання. Наведено результати розпізнавання емоцій, що залежать від мовця, з використанням бази «Spanish Corpus of Interface Emotional Speech Synthesis». Точність розпізнавання 7 різних емоцій, визначених у форматі MPEG, перевищує 80% при використанні найкращого поєднання низькорівневих функцій та структури НММ. Цей результат дуже схожий на результат, отриманий з допомогою тієї ж бази даних при суб'єктивній оцінці суддями-людьми.

Виклад основного матеріалу. Система розпізнавання голосового повідомлення у месенджері складається з трьох основних компонентів:

- 1) сервер для обробки та зберігання даних;
- 2) модуль розпізнавання мови;
- 3) зручний інтерфейс для взаємодії користувача Messenger (для прикладу Telegram) та блоку розпізнавання.

Перший компонент (сервер) перетворює аудіозапис у необхідний формат, зберігає дані та надсилає перетворений файл до наступного модуля – служба розпізнавання мови. На даному етапі голосове повідомлення перетворюється на текст. Останній компонент – це з'єднувальний елемент між користувальницьким інтерфейсом та створеною службою трансформації.

В якості системи розпізнавання обрано хмарний сервіс AssemblyAI [8]. Платформа AssemblyAI – сукупність обчислювальних ресурсів, яка надається через послуги для широкої громадськості у вигляді публічної хмарної пропозиції. Ресурси платформи складаються з фізичної апаратної інфраструктури – комп'ютерів, жорстких дисків, твердотільних накопичувачів і мереж, що містяться у глобально розподілених центрах обробки даних, де будь-який з компонентів розгортається на замовлення, використовуючи шаблони, схожі на доступні у проекті Open Compute Project. Обладнання надається клієнтам у вигляді віртуалізованих ресурсів, таких як віртуальні машини.

Технологію можна використовувати для створення голосових інтерфейсів і транскрибування телефонних дзвінків. Як служба перетворення мовлення у текст цей інструмент може створювати розшифровки мовлення різними аудіоформатами і мовами. Система сприймає усі основні формати аудіо й автоматично перетворює їх на голосовий звук без будь-якого перекодування. Штучний інтелект збірки може підтримувати транскрипцію у форматі SRT або VTT як підписи або субтитри до відео. Однією з проблем транскрипції є граматики, тому AssemblyAI пропонує автоматичну пунктуацію та реєстр. AssemblyAI транскрипцію двоканального запису, тому користувачі матимуть окремі стенограми для кожного каналу. Усі ці функції підтримуються протоколами шифрування безпеки та конфіденційності, які включають «hard-видалення» тексту транскрипції з бази даних AssemblyAI [8].

Для взаємодії користувача з сервісом розпізнавання мови за допомогою «BotFather» [9] було створено зручний інтерфейс у вигляді чат-боту на базі популярного кроссплатформенного месенджера Telegram.

Telegram-бот – спеціальний обліковий запис, який створюється без прив'язки до номера телефону для автоматичної обробки і надсилання повідомлень у розмові або груповому чаті. Спілкування між такими аккаунтами організовано з допомогою звичайного інтерфейсу HTTPS спрощеними методами Telegram API [10]. Основним призначенням облікового запису є надання інтерфейсу до розробленого сервісу, який працює на хмарному сервері. Спілкування з ботом відбувається з допомогою команд, що повинні починатися з символу косої межі «/» і не можуть бути довші за 32 символи. Синтаксис команд виглядає наступним чином: /команда [необов'язковий] [аргумент].

Алгоритм роботи такого боту складається з етапів:

- формування посилання з допомогою Axios [11] (бібліотека з відкритим вихідним кодом заснована на промісах ES6, що серед іншого дозволяє робити HTTP запити до сервера, надаючи методи GET, POST, DELETE) На стороні сервера використовується власний HTTP-модуль NodeJS [12], тоді як на стороні клієнта – XMLHttpRequests.

- отримання доріжки (використовуючи власний модуль NodeJS – fs для операцій вводу-виведення) з отриманого або пересланого звукового повідомлення. Якщо вона відсутня, бот

свідомо не повідомляє про помилку, адже це призводить до великої кількості службових повідомлень у групах, якими користуються потенційно тисячі користувачів-не ІТ-спеціалістів).

- перетворення у потрібний формат: ayaabuffer, що являє собою по суті зліпок пам'яті комп'ютера без змін, у формат OGG – мультимедіа-контейнер для зберігання потоків даних, таких як відео, аудіо і субтитри. Він забезпечує більш надійне транспортування файлу, контроль цілісності файлу, мінімізацію кількості переміщень по файлу під час відтворення є у декількох потоках.

Створеному телеграму-боту можна відправити або переслати голосове повідомлення та у відповідь отримати текст. Приклад показано на рисунку 2.

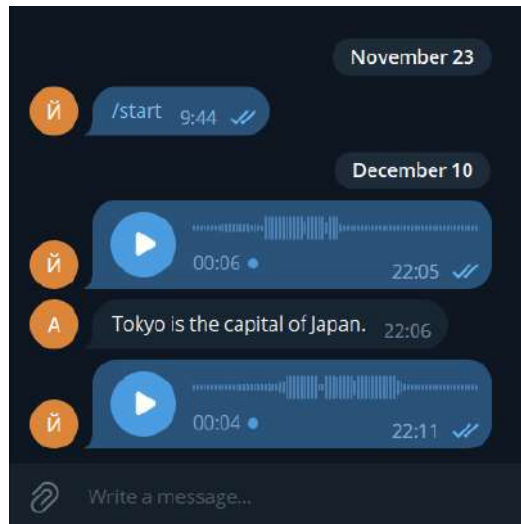


Рис. 2 – Режим взаємодії з ботом через діалог.

Після розробки було проведено оцінку роботи даної системи за такими параметрами, як точність розпізнавання і швидкість розпізнавання мовлення. За точність розпізнавання прийнято відношення кількості записів у навчальній базі до кількості правильно розпізнаних слів. За швидкість розпізнавання прийнято час між завершенням вимови слова та моментом видачі системою результату розпізнавання. Середня швидкість склала 3280,5 мс. Результати наведені у таблиці.

Таблиця

Результати оцінки роботи системи перетворення голосових повідомлень у текстові

Слово	Кількість варіантів	Коректно класифіковано	Точність (%)	Швидкість розпізнавання, ms
One	50	49	98%	3267
Two	50	47	94%	2919
Three	50	46	92%	3050
Four	50	45	90%	3172
Five	50	47	94%	3037
Six	50	47	94%	3366
Seven	50	50	100%	3641
Eight	50	49	98%	4146
Nine	50	48	96%	3291
Ten	50	47	94%	3318
Stop	50	48	96%	3057
Left	50	50	100%	3309
Right	50	47	94%	3074
Всього	650	619	95,2%	3280,5

Висновки

У роботі було виконано дослідження моделей розпізнавання природної мови та існуючих хмарних автоматичних систем розпізнавання мовлення для їх придатності ASR до потреб інтегрування у програмні продукти інтелектуальних систем подібного типу. Під час роботи проведено аналіз наукових досліджень та публікацій, сучасних технологій та програмного забезпечення, що присвячені розпізнаванню звукових повідомлень природної мови.

Запропоновано програмне рішення автоматичного перетворення голосових повідомлень у текстові на базі чат-боту для платформи Telegram. Оцінені результати точності та швидкості розпізнавання системи. Таким чином можна зробити висновок про доцільність використання запропонованої системи.

Перелік використаних джерел:

1. Добрушкін Г.О. Основні підходи до розпізнавання мовленнєвої інформації (частина 1) / Г.О. Добрушкін, В.Я. Данилов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 47. – С. 50-64
2. Васильєва Н.Б. Проблеми створення систем розпізнавання мовлення для різних комп'ютерних платформ / Н.Б. Васильєва, Д.Я. Федорин // Штучний інтелект. – 2013. – Вип. № 4. – С. 158-167.
3. Chavan Rupali S. An Implementation of Text Dependent Speaker Independent Isolated Word Speech Recognition Using HMM Ms / Rupali S. Chavan, Dr. Ganesh S. Sable // Journal of Engineering Sciences & Research Technology. – 2013. – Vol. 2(9). – Pp. 2311-2318.
4. Tang C. Speech Recognition in High Noise Environment / C. Tang, M. Li // Ekoloji. – 2019. – Vol. 28(107). – Pp. 1561-1565.
5. Dave N. Feature Extraction Methods LPC, PLP and MFCC in Speech Recognition / N. Dave // International Journal For Advance Research in Engineering And Technology. – 2013. – Vol. 1, iss. VI. – Pp. 1-5.
6. Dubagunta S.P. Improving Children Speech Recognition through Feature Learning from Raw Speech Signal / S.P. Dubagunta, S.H. Kabil, Doss M. Magimai // 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – 2019. – Pp. 5736-5740. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2019.8682826>.
7. Mittal R. Speech Emotion Recognition / R. Mittal, S. Vart // 2nd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT). – 2022. – Pp. 1-6. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/CONIT55038.2022.9848265>.
8. AssemblyAI API Platform for Models [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.assemblyai.com>.
9. Telegram Bot Features [Electronic resource]. – Mode of access: <https://core.telegram.org/bots/features>.
10. Bot API Reference [Electronic resource]. – Mode of access: <https://tigrm.ru/docs/bots/api>.
11. Axios [Electronic resource]. – Mode of access: <https://axios-http.com>.
12. Node.js | About [Electronic resource]. – Mode of access: <https://nodejs.org/about>.

References:

1. Dobrushkin G.O., Danilov V.Ia. Osnovni pidkhodi do rozpiznavannia movlennivoi informatsii (chastina 1) [Basic approaches to recognizing speech information (part 1)]. *Visnik Vinnits'kogo politekhnichnogo institutu – Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, 2009, № 47, pp. 50-64. (Ukr.)
2. Vasil'eva N.B., Fedorin D.Ia. Problemi stvorennia sistem rozpiznavannia movlennia dlia riznykh komp'uternykh platform [Problems of creating speech recognition systems for different computer platforms]. *Shtuchnyi intelekt – Artificial Intelligence*, 2013, vol. № 4, pp. 158-167. (Ukr.)
3. Chavan Rupali S., Sable Dr. Ganesh S. An Implementation of Text Dependent Speaker Independent Isolated Word Speech Recognition Using HMM Ms. *Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 2013, vol. 2(9), pp. 2311-2318.
4. Tang C., Li M. Speech Recognition in High Noise Environment. *Ekoloji*, 2019, vol. 28(107), pp. 1561-1565.

5. Dave N. Feature Extraction Methods LPC, PLP and MFCC in Speech Recognition. *International Journal For Advance Research in Engineering And Technology*, 2013, vol. 1, iss. VI, pp. 1-5.
6. Dubagunta S.P., Kabil S.H., Magimai Doss M. Improving Children Speech Recognition through Feature Learning from Raw Speech Signal. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2019, pp. 5736-5740. doi: **10.1109/ICASSP.2019.8682826**.
7. Mittal R. Speech Emotion Recognition / R. Mittal, S. Vart // 2nd International Conference on Intelligent Technologies (CONIT). – 2022. – Pp. 1-6. – Mode of access: doi: **10.1109/CONIT55038.2022.9848265**.
8. AssemblyAI API Platform for Models Available at: www.assemblyai.com (accessed 10 May 2022).
9. Telegram Bot Features [Electronic resource]. – Mode of access: <https://core.telegram.org/bots/features> (accessed 15 May 2022).
10. Bot API Reference [Electronic resource]. – Mode of access: <https://tigrm.ru/docs/bots/api> (accessed 25 April 2022).
11. Axios [Electronic resource]. – Mode of access: <https://axios-http.com> (accessed 20 May 2022).
12. Node.js | About [Electronic resource]. – Mode of access: <https://nodejs.org/about> (accessed 25 May 2022).

Рецензент: О.І. Проніна
канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 30.09.2022

132 МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.791.753.042

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276226

© Щетинін С.В.¹, Щетиніна В.І.²**РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ**

Встановлено, що зі зменшенням довжини дуги, напруга на дузі знижується, дуга і енергія концентруються, ефективність процесу збільшується, що забезпечує підвищення пінч-ефекту, зменшення енергії і зварювальних напруг, збільшення швидкості кристалізації, здрібнення мікроструктури і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань. Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом на низькій енергії, який, за рахунок низької напруги на дузі, забезпечує концентрацію дуги і енергії, стабільність, зниження зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Ключові слова: енергетична характеристика дуги, низька напруга на дузі, концентрація дуги та енергії, одностороннє високошвидкісне зварювання труб на низькій енергії, пінч-ефект, зварювальні напруги, ударна в'язкість зварних з'єднань.

S.V. Shchetinin, V.I. Shchetinina. Welding arc energy characteristic regulation. When welding pipes, due to the concentration of magnetic field lines in a ferromagnetic pipe with high magnetic permeability, the welding current magnetic field increases, magnetic blow, under. by the action of electromagnetic force, the arc length increases up to a break, the current and voltage on the arc fluctuate significantly, the seam dimensions change from a point to a large width, the process stability is disturbed, the welds formation and the welded joints impact toughness is reduced. Based on the study of the arc energy characteristics, according to which the voltage on the arc increases with increasing arc length, it was found that the arc moves along the tape end at a speed of 3.3 m/s, the electrode shape affects the welding arc. energy and voltage characteristics. In this case, the sum of near-electrode voltage drops depends on the work function of electrons from the cathode surface of the flux components and does not depend on the electrode shape, which confirms the main role of field emission in the arc and the arc concentration below. pinch-effect. To increase the welded joints impact toughness, it is necessary to reduce energy, heat input, crystal lattice microdistortions, microstresses, dislocation density, welding stresses, reduce the weld width, heat-affected zone, the deposited metal amount and refine the microstructure. An effective way to reduce energy is to increase the welding speed, which reduces the heat input, and reduce the arc length, arc voltage, which leads to an increase in the arc rotation speed, pinch effect, arc concentration and energy, heat input efficiency, reduce welding stresses, increase the crystallization rate, the microstructure refinement, the interatomic distance reduction and interatomic bonds increase. A process for one-sided high-speed welding of pipes for gas and oil pipelines with a low-energy composite electrode, which, due to low arc voltage, arc concentration, stability, energy reduction, heat input, welding stresses, microstructure refinement, interatomic distance reduction and interatomic bonds increase, provides an increase in the welded joints impact toughness 2-2.5 times has been developed. Minimum energy – maximum welded joints impact toughness.

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро
² д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

Key words: *welding arc energy characteristic, one-sided high-speed welding with a low-energy composite electrode, pipes for gas and oil pipelines, pinch-effect, low arc voltage, arc and energy concentration, welding stresses, welded joints impact toughness.*

Постановка проблеми. Енергетична характеристика зварювальної дуги визначає процеси розплавлення основного металу та електроду, енергію, струм, магнітне поле і напругу на дузі, стабільність, саморегулювання і автоматичне регулювання, тепловкладення, якість швів, ударну в'язкість зварних з'єднань. Тому розробка процесів одностороннього високошвидкісного зварювання є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дуга визначає розплавлення електродів і магнітогідродинамічні явища в зварювальній ванні. Магнітогідродинамічні явища визначаються фізичними процесами в дузі, які найбільш всебічно вивчені в роботах Ю.П. Раузера і І.В. Кривцуна [1, 2]. Магнітне поле зварювального струму та положення дуги в просторі визначають магнітогідродинамічні явища в зварювальній ванні та формування швів. Але закономірності регулювання енергетичної характеристики дуги, магнітогідродинамічних явищ і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань досліджено недостатньо [1-11].

Мета статті – вивчення механізму регулювання енергетичної характеристики зварювальної дуги, магнітогідродинамічних явищ в зварювальній ванні і розробка процесу одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує відсутність магнітного дугтя, стабільність процесу і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Виклад основного матеріалу. При електродуговому зварюванні головною є дуга, яка створює магнітне поле, пінч-ефект, під дією якого виникає тиск дуги, визначає магнітогідродинамічні явища, рух дуги по торцю електрода і зварювальній ванні, відхилення дуги в сторону меншого магнітного поля і переміщення рідкого металу, формування швів і ударну в'язкість зварних з'єднань.

Рідкий метал зварювальної ванни не магнітний, однак магнітне поле діє на метал, як на провідник зі струмом. Магнітне дугтя і магнітогідродинамічні явища значно посилюються при зварюванні труб, так як силові лінії магнітного поля прагнуть пройти шляхом найменшого опору в феромагнітній трубі. Тому при зварюванні труб створюється магнітне поле зварювального струму в π раз більше, ніж при зварюванні пластин:

$$B = \mu \frac{I}{2R}, T \quad (1)$$

де μ – магнітна проникність середовища, $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;
 I – величина струму, А;
 R – відстань від провідника з струмом, м.

Зростає електромагнітна сила, під дією якої дуга відхиляється в сторону меншого магнітного поля до обриву, магнітне дугтя, порушується стабільність процесу, формування швів і знижується ударна в'язкість зварних з'єднань.

Електромагнітна сила зварювального струму, що діє на дугу, прямо пропорційна величині струму I , індукції магнітного поля B і довжині дуги L_d :

$$F_{EM} = IBL_d. \quad (2)$$

Із зростанням довжини дуги електромагнітна сила посилюється, що призводить до магнітного дугтя, порушується стабільність процесу і знижується ударна в'язкість зварних з'єднань.

Для підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань необхідно зменшувати тепловкладення і енергію, яка приводить до збільшення міжатомної відстані та зниження міжатомних зв'язків.

Процеси, що протікають у зварювальній ванні, залежать від дуги, яка розплавляє електроди та флюси. При електродуговому зварюванні дуга визначає тепловкладання в основний метал, розподіл температури, магнітне поле і переміщення рідкого металу в ванні та формування швів. Тому дослідженню процесів у дузі приділяється важливе значення [3-6]. При односторонньому

зварюванні дуга занурюється в основний метал, посилюється охолодження, що призводить до порушення стабільності процесу, яка визначається енергетичною характеристикою дуги.

Енергетична характеристика дуги визначає залежність напруги на дузі від довжини дуги, зі зменшенням якої напруга на дузі зменшується (рис. 1).

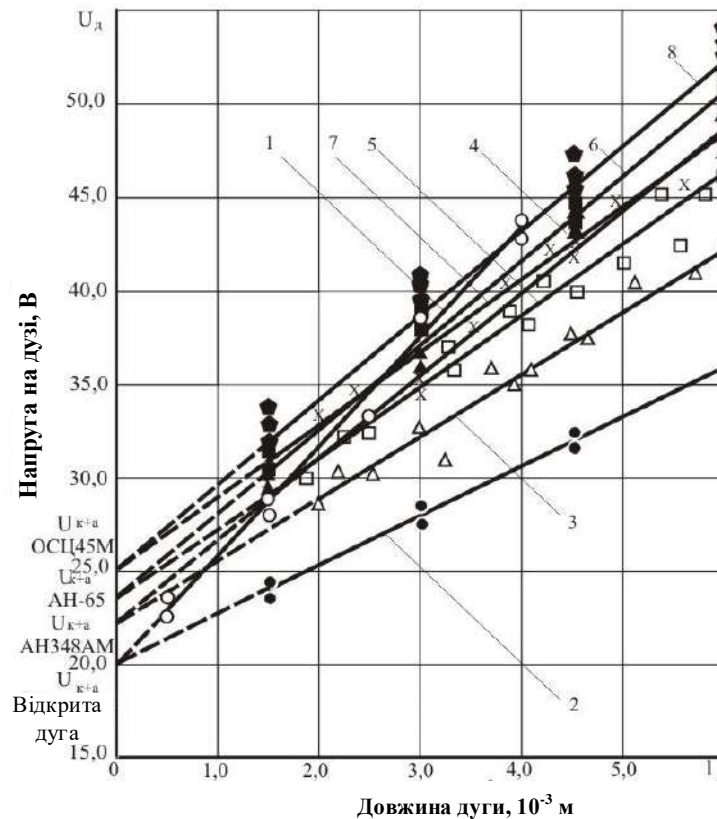


Рис. 1 – Енергетична характеристика зварювальної дуги: 1, 2 – відкрита дуга; 3-8 – дуга під флюсом; 3, 4 – флюс АН 348АМ; 5, 6 – флюс АН-60; 7, 8 – флюс ОСЦ-45М

У дузі розрізняють три області: катод, анод та стовп. Катодна пляма обертається катодом. Стовп грає роль простого газового провідника, що з'єднує катодну пляму з анодом. Головна роль належить катоду [5], що забезпечує регенерацію зарядів.

Кількість енергії, що виділяється в кожній області, визначається умовами існування дугового розряду:

$$q = IU_K + IU_A + IEL_D, \text{ Дж/с}, \quad (3)$$

де I – величина зварювального струму, А;
 U_K, U_A – катодне і анодне падіння напруги відповідно, В;
 E – градієнт потенціалу стовпа, В/м;
 L_D – довжина дуги, м.

Для вивчення механізму регулювання енергетичної характеристики дуги і розподіл потенціалу в дузі побудовано статичні характеристики залежності напруги від довжини дуги $U_D = f(l_D)$, при постійному струмі прямої полярності $I = 280-300$ А, для стрічки перетином $(45 \times 0,5) \cdot 10^{-3}$ м та дроту діаметром $5 \cdot 10^{-3}$ м. Для підвищення стабільності малопотужних дуг застосовували два послідовно з'єднані випрямлячі, що забезпечували напругу холостого ходу $U_{XX} = 150$ В.

Побудову енергетичних характеристик проводили шляхом виміру напруги на дузі при заданій відстані між електродами, яку регулювали гвинтом, змінюючи відстань між електродами за допомогою спеціальної установки з міцною пружиною і електромагнітом. Перед

вимірюванням електрод кріпили в нижній частині рухомого стрижня і закорочували на підставі. При натисканні кнопки «пуск» включалася протяжка стрічки осцилографа і за допомогою реле часу через час $3 \cdot 10^{-3}$ с, достатній для розгону двигуна протяжки стрічки, замикався зварювальний ланцюг. При протіканні зварювального струму спрацьовував електромагніт, який звільняв від упору стрижень з електродом на кінці. Під дією пружини електрод піднімався на задану висоту. При цьому збуджувалася дуга, довжиною $l_d = \delta$, напруга та струм якої осцилографувався з швидкістю протяжки стрічки 1 м/с. Через певний проміжок часу спрацьовувало реле, розмикаючи зварювальний ланцюг та зупиняючи протяжку осцилографічної стрічки. Час горіння дуги становив 0,12-0,2 с. Для одержання на стрічці довжини дуги в межах, встановлених для дроту $(1,5-6) \cdot 10^{-3}$ м, її піднімали на $(0,25; 0,5; 1,0$ та $1,25) \cdot 10^{-3}$ м від пластини.

Електрод та основний метал розплавляються енергією, виділеною на катоді та аноді, яка визначається сумою приелектродних падінь напруги. Найбільш достовірні значення суми приелектродних падінь та градієнта потенціалу у стовпі отримані за методикою Г.І. Лескова [6], шляхом вимірювання напруги при заданій відстані між електродами. Змінюючи відстань між електродами та вимірюючи напругу на дузі по осцилограмі, шляхом екстраполяції залежності $U = f(l_d)$ до нульового значення l_d визначено суму приелектродних падінь напруги (рис. 1).

Встановлено, що сума приелектродних падінь напруги не залежить від форми електроду, обертання дуги по торцю електроду і охолодження дуги, що підтверджує автоелектронну емісію електронів з поверхні катоду. Сума приелектродних падінь залежить від флюсу, найбільше значення $U_{K+A} = 23-25$ В досягається під флюсом ОСЦ-45М, зменшується під флюсом АН-60 $U_{K+A} = 23-24$ В, найменше під флюсом АН-348АМ $U_{K+A} = 22-23$ В. При зварюванні в відкритій атмосфері $U_{K+A} = 19-20$ В.

Градієнт потенціалу стовпа дуги E залежить від форми електроду, при зварюванні під флюсом менше, а в відкритій атмосфері більше, що визначається обертанням дуги торцем електроду і охолодженням стовпа дуги.

Ефективним способом зниження енергії є зменшення напруги на дузі за рахунок скорочення дуги, довжина якої має бути 1 мм. При цьому напруга на дузі: $U_d = U_{K+A} + E$. При зварюванні під флюсом $U_d = 26$ В, в аргоні $U_d = 21$ В, зі зменшенням напруги посилюється швидкість обертання дуги та саморегулювання, дуга концентрується, шви вузькі, щільні, без пор, знижується енергія та підвищується ударна в'язкість зварних з'єднань.

Зварювання скороченою дугою забезпечує стабільність процесу та якісне формування швів при односторонньому високошвидкісному зварюванні на флюсовій подушці, що встановлено при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом з дроту і стрічки, при $I = 2000-2100$ А та $U = 27-29$ В по оплавленню торця електроду.

На підставі проведених досліджень встановлено, що зниження енергії ефективно за рахунок скорочення довжини дуги і напруги на дузі.

На основі встановлених закономірностей розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, який забезпечує зменшення довжини дуги, напруги на дузі, енергії, тепловкладення, зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків і ударної в'язкості зварних з'єднань.

Встановлені закономірності регулювання енергетичної характеристики дуги та розроблений процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей можуть бути використанні при зварюванні котлів залізничних цистерн..

Подальше дослідження в даному напрямку є перспективним, так як дозволяє розробити нові процеси, що забезпечують підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Висновки

1. При зварюванні труб, внаслідок концентрації силових ліній магнітного поля в феромагнітній трубі, що володіє великою магнітною проникністю, зростає магнітне поле зварювального струму, магнітне дуття, під дією електромагнітної сили довжина дуги збільшується до обриву, струм і напруга на дузі коливаються в значних межах, розміри шва змінюються від краплі до великої ширини, порушується стабільність процесу, формування швів і знижується ударна в'язкість зварних з'єднань.

2. На підставі досліджень енергетичної характеристики дуги, згідно якої зі збільшенням довжини дуги напруга на дузі зростає, встановлено, що дуга рухається по торцю стрічкового електрода зі швидкістю 3,3 м/с, форма електрода впливає на енергетичну та вольтамперну характеристики зварювальної дуги. При цьому сума приелектродних падінь напруг залежить від роботи виходу електронів з поверхні катода, компонентів флюсу і не залежить від форми електрода, що підтверджує головну роль автоелектронної емісії в дузі і концентрацію дуги, під дією пінч-ефекта.

3. Для підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань необхідно зменшувати енергію, тепловкладення, мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій, зварювальні напруги, зменшувати ширину шва, зони термічного впливу, кількість наплавленого металу і здрибнювати мікроструктуру.

4. Ефективним способом зменшення енергії є підвищення швидкості зварювання, що знижує погонну енергію, та скорочення довжини дуги і напруги на дузі, яке збільшує швидкість обертання дуги, пінч-ефект, концентрацію дуги і енергії, призводить до підвищення ефективності тепловкладення, зниження зварних напруг, зростання швидкості кристалізації, здрибнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані і зростання міжатомних зв'язків.

5. Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом на низькій енергії, який за рахунок концентрації дуги, стабільності, зменшення енергії, тепловкладення, зварювальних напруг, здрибнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані та збільшення міжатомних зв'язків забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань в 2-2,5 рази. Мінімум енергії – максимум ударної в'язкості зварних з'єднань.

Перелік використаних джерел:

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда / Ю.П. Райзер. – М. : Наука, 1992. – 536 с.
2. Кривцун И.В. Комбинированные лазерно-дуговые процессы обработки материалов и устройства для их реализации : дис. ... д-ра техн. наук : 05.09.10 / Кривцун Игорь Витальевич. – Киев, 2002. – 393 с.
3. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток / В.Л. Грановский. – М. : Наука, 1971. – 543 с.
4. Финкельбург В. Электрические дуги и термическая плазма / В.Финкельбург, Г. Меккер. – М. : Изд-во иностр. лит., 1961. – 369 с.
5. Кесаев И.Г. Катодные процессы электрической дуги / И.Г. Кесаев. – М. : Наука, 1968. – 244 с.
6. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 334 с.
7. Уайт Р.М. Квантовая теория магнетизма / Р.М. Уайт. – М. : Мир, 1972. – 306 с.
8. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. – М. : Наука, 1969. – 824 с.
9. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш, В.Д. Кузнецов, А.Н. Брисман, Г.М. Шеленков. – К. : Техника, 1983.– 127 с.
10. Рижов Р.М. Магнітне керування якістю зварних з'єднань / Р.М. Рижов, В.Д. Кузнецов. – К. : Екотехнологія, 2010. – 288 с.
11. Черныш В.П., Рыжов Р.Н. Зависимость параметров управляющего магнитного воздействия от энергозложения встык при дуговой сварке / В.П. Черныш, Р.Н. Рыжов //Автоматическая сварка. – 1998. – № 5. – С. 49-51.

References:

1. Raizer Iu.P. *Fizika gazovogo razriada* [Physics of a gas discharge]. Moscow, Nauka Publ., 1992. 536 p. (Rus.)
2. Krivtsun I.V. *Kombinirovannyye lazerno-dugovyye protsessy obrabotki materialov i ustroystva dlia ikh realizatsii*. Diss. dokt. techn. nauk [Combined laser-arc processes for processing materials and devices for their implementation. Cand. tech. sci. diss.]. Kyiv, 2002. 393 p. (Rus.)
3. Granovskii V.L. *Elektricheskii tok v gaze. Ustanovivshiisia tok* [Electric current in gas. Steady current]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 543 p. (Rus.)
4. Finkel'burg V., Mekker G. *Elektricheskije dugi i termicheskaja plazma* [Electric arcs and thermal plasma]. Moscow, Izd-vo inostr. lit. Publ., 1961. 369 p. (Rus.)

5. Kesaev I.G. *Katodnye protsessy elektricheskoi dugi* [Cathodic processes of an electric arc]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 244 p. (Rus.)
6. Leskov G.I. *Elektricheskaiia svarochnaia duga* [Electric welding arc]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1970. 334 p. (Rus.)
7. Uait R.M. *Kvantovaiia teoriia magnetizma* [Quantum theory of magnetism]. Moscow, Mir Publ., 1972. 306 p. (Rus.)
8. Abramovich G.N. *Prikladnaia gazovaiia dinamika* [Applied gas dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 824 p. (Rus.)
9. Chernysh V.P., Kuznetsov V.D., Briskman A.N., Shelenkov G.M. *Svarka s elektromagnitnym peremeshivaniem* [Electromagnetic stir welding]. Kyiv, Tekhnika Publ., 1983. 127 p. (Rus.)
10. Rizhov R.M., Kuznetsov V.D. *Magnitne keruvannia iakistiu zvarnikh z'ednan'* [Magnetic control of the quality of welded joints]. Kyiv, Ekotekhnologiiia Publ., 2010. 288 p. (Ukr.)
11. Chernysh V.P., Ryzhov R.N. *Zavisimost' parametrov upravliaiushchego magnitnogo vozdeistviia ot energovlozheniia vstyk pri dugovoi svarke* [Dependence of the parameters of the control magnetic action on the energy input end-to-end in arc welding]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1998, № 5, pp.49-51. (Rus.)

Рецензент: І.В. Захарова
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 15.08.2022

136 МЕТАЛУРГІЯ

УДК 669.01

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276233

© Дан Л.О.¹, Трофімова Л.О.²**ЩОДО РОЛІ ЗАЛИШКОВОГО АУСТЕНИТУ В ПОЛІПШЕННІ КОМПЛЕКСУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНІВ**

В статті розглянуті та проаналізовані переваги високоміцного чавуну як конструкційного матеріалу. Доведено, що залишковий аустеніт, що отримується при термічній обробці і перетворюється в мартенсит під час навантаження, дозволяє суттєво підвищити рівень механічних та експлуатаційних характеристик виробів. Вказані сучасні напрямки отримання залишкового аустеніту в високоміцних чавунах.

Ключові слова: високоміцний чавун, залишковий аустеніт, бейніт, ізотермічне гартування.

L.O. Dan, L.O. Trofimova. On the role of residual austenite in improving the complex of properties of ductile cast iron. This article is analyzing the prospects and ways to expand the field of applying ductile cast iron-high-strength cast iron in technology. Ductile cast iron occupies a special place among structural materials. With the same level of mechanical properties, having less specific weight than steel, it provides less weight of products in comparison with steel. This reduces the consumption of raw materials and energy resources in the manufacture and operation of machines and mechanisms. There is a positive effect both in terms of economy and ecology. In addition, ductile cast iron has better casting properties than steel. In recent years, scientists and engineers have focused their efforts on finding new ways to improve the complex of mechanical and operational properties of ductile cast iron. This will make it possible to expand the field of their application and obtain additional advantages. A very effective direction – obtaining bainite matrix and a great amount of stable austenite in the structure of ductile cast iron by heat treatment allows to realize martensitic transformation in the most loaded parts during their operation and thereby increases adaptability. In this case, in addition to the traditional type of heat treatment – one-stage isothermal hardening, the technology of two-stage isothermal hardening is actively implemented, which allows for providing more dispersed ferrite and more stable austenite in the structure. A fundamentally new approach to obtaining the favorable microstructure of ductile cast iron is the organization of a foundry and heat treatment complex that makes it possible to obtain the ferrite-austenite mixture in the structure of ductile cast iron directly from the cast state, bypassing a separate heat treatment operation.

Key words: ductile cast iron, residual austenite, bainite, isothermal hardening.

Постановка проблеми. Сьогодні під час проектування будь-якого технічного продукту крім експлуатаційних характеристик враховують його «екологічність» («green-ness»). За визначенням авторів [1] цей показник характеризує об'єм використаної енергії та вплив на навколишнє середовище (випромінювання, викиди тощо) як під час виробництва виробу, так і протягом його служби. Під час обговорення екологічності машини та механізму тема зниження ваги є досить актуальною. Крім зменшення кількості ресурсів, задіяних у виробничому циклі, результатом

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, AGH UST, Academic Centre for Materials and Nanotechnology, Cracow, Poland, ORCID: 0000-0002-1954-4871, danleonid.alex@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-4576-2589, trofimova.pstu@gmail.com

зниження ваги буде зменшення витрати палива, необхідного для приведення машини в рух, а отже, кількості парникових газів, що виділяються.

Останніми роками велику увагу вчених та інженерів сконцентровано на дедалі ширшому застосуванні високоміцних чавунів (ВЧ). Переваги високоміцного чавуну – його менша, ніж у сталі, питома вага і можливість одержання виробів з нього різними методами лиття, найменш енергетично затратними порівняно з куванням, зварюванням, екструзією. Крім цього високоміцний чавун характеризується кращою, ніж високоміцна сталь, оброблюваністю.

З іншого боку, такий чавун у 2,5 рази важчий за алюмінієві сплави, але в 3 рази міцніший, а також істотно дешевший. Він має високу рідкоплинність під час заповнення ливарних форм, що із застосуванням методів точного лиття дає змогу успішно конкурувати з алюмінієвими сплавами [2]. За даними World Foundry Organization з 2000 по 2015 рік випуск виливків з високоміцного чавуну виріс з 24 до 32% від загального обсягу литва за рахунок зменшення кількості сталевих виливків [3].

Разом з тим, слід зазначити, що потенціал цього матеріалу розкритий не повністю. Забезпечення в його структурі за рахунок термічної обробки в поєднанні з відповідною системою легування залишкового аустеніту – це один з ефективних шляхів підвищення комплексу його механічних та експлуатаційних властивостей, а, отже, розширення можливостей застосування.

Чому так важлива наявність залишкового аустеніту в структурі? Відповідь знайдено давно. У процесі експлуатації деталей, у структурі металу яких міститься залишковий аустеніт, реалізується мартенситне перетворення в найбільш навантажених ділянках. За словами автора [4] таким чином матеріал адаптується до умов експлуатації, зміцнює сам себе в міру необхідності, і таким чином повною мірою розкриває закладений у нього потенціал.

Мета статті – проаналізувати роль залишкового аустеніту у формуванні комплексу механічних та експлуатаційних властивостей високоміцних чавунів, а також способів його отримання з погляду розширення можливостей їх застосування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Залишковий аустеніт разом із мартенситом і бейнітом є однією з головних структурних складових загартованої сталі та чавуну, яка може чинити різнобічний вплив на їхні властивості.

Наприкінці XIX століття у Франції Ф. Осмонд, вивчаючи цементовані зразки сталі після загартування, виявив цікаву особливість у їхніх властивостях. Так, у міру збільшення вмісту вуглецю до 1,3 мас. %, їхня твердість зростала, а потім, за подальшого збільшення вмісту вуглецю, починала зменшуватися. Після ретельного дослідження зразків він зробив висновок, що структура сталі складається принаймні з двох частин. Одна з них, тверда і магнітна, була такою ж, як у загартованих сталях з меншим вмістом вуглецю. Інша складова, м'яка і немагнітна, за властивостями нагадувала структуру сталі Гадфільда. Дещо пізніше, Осмонд назвав цю складову загартованих високовуглецевих сплавів заліза аустенітом [5].

Питання про вплив хімічного складу сталі на кількість залишкового аустеніту докладно розглянуто в монографії В.Д. Садовського та О.А. Фокіної [6]. Показано, що кількість залишкового аустеніту під час загартування високовуглецевих сталей може досягати до 60%, а в легованих конструкційних – до 10-15%. У структурі загартованих маловуглецевих сталей залишкового аустеніту майже немає. У сталях із вмістом вуглецю менше ніж 0,6 мас. % кількість залишкового аустеніту становить 2-3%. Крім хімічного складу на кількість залишкового аустеніту можуть впливати й інші чинники: температура нагріву сталі та режим охолодження під час загартування, а також зовнішні чинники. Серед зовнішніх чинників слід насамперед відзначити вплив пружних напружень, пластичної деформації, обробки холодом і магнітного поля [7].

З огляду на сказане, природно було б припустити, що в чавунах: сірих, високоміцних, з вмістом вуглецю понад 2% після термообробки може також бути присутнім залишковий аустеніт.

Дійсно, реалізація деяких режимів термічної обробки чавунів, як-от і високоміцних, забезпечує в їхній структурі наявність залишкового аустеніту. Під час навантаження такого чавуну, що містить у структурі залишковий аустеніт, відбувається фазове перетворення аналогічно до відомого ефекту в TRIP-сталях. Це позитивно впливає на службові характеристики і значно збільшує можливості застосування цього матеріалу в різних галузях техніки [8].

Формування сприятливої структури чавуну під час термообробки пов'язане з вибором температури загартування і часом витримки за цієї температури, температурою відпуску і часом витримки за цієї температури. Прийнято вважати, що найкраще поєднання міцнісних і пластичних властивостей забезпечує бейнітна матриця чавуну (в англійській літературі такі чавуни отримали назву Austempering Ductile Iron – ADI). Отримання такої матриці пов'язане з проведенням ізотермічного загартування [9].

Аналізуючи роботи [9-13], можна дійти висновку, що режим ізотермічного загартування складається з наступних двох операцій: перша – аустенітизація, що проводиться за температури 850-920°C, або до ~ 950°C [10], та витримка; друга – переохолодження аустеніту з подальшим його розпадом в ізотермічних умовах при температурі 320-450°C, або в діапазоні 300-500°C [10], та подальше охолодження на повітрі.

Бейнітні структури утворюються в результаті перетворення аустеніту при температурі 250-500°C і безперервного охолодження аустенізованого чавуну зі швидкістю, вищою за критичну, або за ізотермічної витримки аустенізованого чавуну в інтервалі температур бейнітного перетворення [9-13]. При цьому аустеніт за температури 500-350°C розпадається на ферит (α -фазу) і γ -аустеніт із підвищеним вмістом вуглецю. Надмірно тривала витримка за температури розпаду аустеніту призводить до утворення дисперсних карбідів.

З наведених у роботі [8] даних видно, що під час ізотермічного загартування високоміцного чавуну в області температур 350°C виникає понад 30% залишкового аустеніту, який є досить стабільний і практично не перетворюється на мартенсит за подальшої витримки. Результати досліджень [8] деформованих зразків показали, що пластична деформація призводить до часткового розпаду залишкового аустеніту. Розпадається приблизно п'ята частина від початкової кількості. Така, здавалося б, невелика кількість матеріалу, що піддається перетворенню з ОЦК структури на мартенсит, істотно впливає на процеси деформаційного перетворення, оскільки цей перехід супроводжується значною зміною об'єму. Отримані результати підтверджують той факт, що в широко відомих TRIP-сталях зміна вмісту залишкового аустеніту від 10 до 8% призводить до практично триразового їхнього зміцнення в діапазоні деформації 0-10% [14]. Безсумнівно, що виявлений навіть частковий розпад аустеніту під дією деформації є значущим для зміцнення.

Що стосується вибору оптимальних температур загартування, то в роботі [12] було встановлено, що реакція аустенітизації не може бути завершена при температурі 850°C, оскільки в матриці все ще існує доєвтектоїдний ферит. Температура аустенітизації 1000°C, на думку авторів, призведе до утворення великих зерен і може знизити процентний вміст вуглецю в аустеніті. У цьому випадку після охолодження утворюється більше мартенситу. Це призведе до збільшення крихкості. Оптимальне поєднання міцнісних і пластичних властивостей можна отримати при використанні температури аустенітизації від 900 до 950°C за часу аустенітизації від двох до трьох годин.

Згідно з домінуючими уявленнями [12-17], механічні властивості ADI визначаються такими трьома факторами: долею аустеніту, насиченого вуглецем, вмістом вуглецю в ньому, а також морфологією фериту. Швидкість зародження фериту контролюється ступенем переохолодження. За високого переохолодження зароджується більше феритних пластин. Крім того, відсотковий вміст вуглецю в аустеніті залежить в основному від швидкості дифузії атомів вуглецю, яка полегшується високою температурою аустеніту. Тому низка дослідників [18-21] запропонувала двоетапний процес ізотермічного загартування для отримання дрібногочастого фериту та стабільнішого аустеніту з вищим вмістом вуглецю в матриці ADI для поліпшення механічних властивостей. У двоетапному процесі повністю аустенізований високоміцний чавун спочатку охолоджують до низької температури (250-265°C, витримка 5 хв.) [20, 21] для зародження феритних пластин. Потім температуру ізотермічної витримки підвищують за постійної швидкості нагріву або зразки переміщують в іншу піч із вищою температурою (290-400°C, витримка 2 години) для зростання феритних пластин і полегшення дифузії вуглецю в аустеніт.

Порівняно з одностадійним ADI, пластинки фериту в матриці двостадійного ADI дрібніші. Різниця в розмірі феритних пластин між двома типами ADI стає значною, коли температура охолодження знижується до 250°C [20].

Вміст вуглецю в стабільному аустеніті за двостадійного режиму ізотермічного загартування за даними рентгеноструктурного аналізу виявився вищим, ніж за одностадійного, на 2-10%

залежно від температури остаточної витримки [20]. Одночасно при цьому відзначалося збільшення твердості на 14-18%, межі міцності на 9-15% (максимальне значення ~1600 МПа при температурі витримки 290°C) і в'язкості руйнування, K_{IC} , на 10% (максимальне значення ~75 МПа·м^{1/2} при температурі витримки 370°C) з одночасним зниженням відносного подовження в 1,5 рази [20].

Порівнюючи зношування зразків із «двостадійного» ADI і загартованого за звичайним режимом високоміцного чавуну внаслідок тертя ковзання під тиском, автори [22] виявили таку особливість. Твердість металу з наближенням до поверхні, що зазнала зносу, у «звичайного» ВЧ зменшувалася, а у «двостадійного», навпаки, збільшувалася. При цьому втрата маси при зношуванні в другому випадку була значно меншою, ніж у першому. Рентгеноструктурний аналіз деформованих при зношуванні шарів «двостадійного» ADI виявив зменшення кількості аустеніту з 41 до 26%.

Недоліками традиційного виробництва ADI методом ізотермічного загартування є висока трудомісткість і енергоємність процесу, а також використання спеціального термічного устаткування і рідких охолоджувальних середовищ у вигляді розплавів солей, лугів і металів зі шкідливими викидами.

У цьому плані цікавими є роботи [23, 24], в яких високий комплекс механічних та експлуатаційних властивостей високоміцного низьколегованого Cr-Ni-Mo-Cu чавуну отримували не ізотермічним загартуванням, а звичайним загартуванням і відпуском. Загартування в оливі з температури нагріву 930°C (витримка 3 години) забезпечило в металевій матриці зразків високоміцного чавуну мартенсит і залишковий аустеніт. Після відпуску за температури 400°C разом із кулястим графітом у структурі були присутні дрібнодисперсний перліт і залишковий аустеніт. При цьому за рахунок мартенситного перетворення під час навантаження досягалося оптимальне поєднання механічних властивостей і зносостійкості.

Оригінальний комплексний спосіб лиття – ізотермічного загартування деталей з високоміцного чавуну розробили автори [25]. Спосіб дає змогу отримувати виливки з ADI з литого стану без застосування додаткової термообробки. З метою зниження витрат на обладнання для обробки виливків і поліпшення екологічних умов такої обробки спосіб містить затвердіння розплаву ВЧ у піщаній формі з сипучого піску, виготовленій у контейнерній опоці, охолодження затверділого виливка в цій формі, видалення виливка із сипучого піску форми за температури 850-1000°C, охолодження виливка до 300-500°C в контейнерній опоці, засипання в контейнерну опоку піску з температурою 300-500°C з подальшою витримкою виливка при цій температурі.

Висновки

Аналіз літератури показав наступне:

1. Високоміцний чавун є перспективним конструкційним матеріалом. Він володіє високими характеристиками міцності і пластичними характеристиками, хорошими ливарними властивостями, меншою питомою вагою, ніж сталь, і меншою вартістю, ніж алюмінієві сплави. Тому він може успішно замінити їх, забезпечуючи меншу вагу і меншу вартість машин і механізмів.

2. За допомогою термічної обробки в структурі високоміцного чавуну можна отримати залишковий аустеніт, який у процесі експлуатації під навантаженням зазнає мартенситного перетворення. Це надає матеріалу властивість адаптивності та додатково покращує експлуатаційні характеристики деталей.

3. При цьому вибір системи легування, температури і часу аустенітизації, температури і часу ізотермічної витримки дає змогу ефективно керувати формуванням структури високоміцного чавуну, зокрема отримувати бейнітну матрицю, залишковий аустеніт у потрібній кількості та з необхідним ступенем стабільності для найкращого поєднання його механічних і службових властивостей.

4. Крім подібного традиційного підходу до формування структури і властивостей високоміцного чавуну розроблено технології, які або не потребують тривалої термічної обробки, або взагалі виключають термічну обробку як окрему операцію.

Перелік використаних джерел:

1. Keough J.R. Austempered Ductile Iron (ADI) - A Green Alternative for India [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.foundryinfo-india.org/images/pdf/TS-2A-IV.pdf>.
2. Fras E. Thin Wall Ductile and Austempered Iron Castings as Substitutes for Aluminum Alloy Castings / E. Fras, M. Gorny // Archives of Foundry Engineering. – 2010. – Volume 10, № 3. – Pp. 5-10.
3. Census of world casting production. Total casting tons hits 112 million [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.thewfo.com/contentfiles/downloads/49.pdf>.
4. Малинов Л.С. Получение в структуре сталей и чугунов метастабильного аустенита и реализация эффекта самозакалки при нагружении для использования внутренних резервов – перспективное направление в ресурсосбережении / Л.С. Малинов // Строительство, Материаловедение, Машиностроение. – 2003. – Вып. 22. – С. 88-93.
5. Тыркель Е. История развития диаграммы железо-углерод / Е. Тыркель. – М. : Машиностроение, 1968. – 280 с.
6. Садовский В.Д. Остаточный аустенит в закаленной стали / В.Д. Садовский, Е.А. Фокина. – М. : Наука. – 1986. – 113 с.
7. On the Role of Retained Austenite in the Structure of Alloyed Steels and the Effect of External Factors / V.M. Schastlivtsev, Yu.V. Kaletina, E.A. Fokina, A.Yu. Kaletin // The Physics of Metals. – 2014. – Vol. 115, № 9. – Pp. 904-917. – Mode of access: <https://doi.org/10.1134/S0031918X14090105>.
8. Возможности импортозамещения сменных деталей грунтообрабатывающей сельхозтехники литыми изделиями из высокопрочного бейнитного чугуна / С.М. Волощенко, К.А. Гогаев, Ю.Н. Подрезов, М.Г. Аскеров, А.М. Миропольский // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2019. – № 1. – С. 38-50. – (Серія: Нові рішення в сучасних технологіях). – Mode of access: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2019.01.02>.
9. Найдек В.Л. Бейнитный высокопрочный чугун / В.Л. Найдек, В.П. Гаврилюк, И.Г. Неижко. – К. : Наука, 2008. – 140 с.
10. Покровский А.И. Использование высокопрочного бейнитного чугуна для изготовления зубчатых колес / А.И. Покровский, Л.Р. Дудецкая // Литье и металлургия. – 2015. – № 2. – С. 126-136.
11. Полухин М.С. Разработка и использование чугунов с шаровидным графитом с повышенными механическими и триботехническими свойствами : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Полухин Максим Сергеевич. – Брянск, 2009. – 148 с.
12. A review: phase transformation and wear mechanisms of single-step and dual-step austempered ductile irons / B. Wang, G.C. Barber, F. Qiub, Q. Zoub, H. Yang // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – Vol. 9, №1. – Pp. 1054-1069. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.074>.
13. Wilk-Kolodziejczyk D. Comparative analysis of the properties of the nodular cast iron with carbides and the austempered ductile iron with use of the machine learning and the support vector machine / D. Wilk-Kolodziejczyk, K. Regulski, G. Gumienny // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – № 87. – Pp. 1077-1093. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8510-y>.
14. Mechanical stability of individual austenite grains in TRIP steel studied by synchrotron X-ray diffraction during tensile loading / R. Blondé, E. Jimenez-Melero, L. Zhao, J.P. Wright, E. Brück, S. van der Zwaag, N.H. van Dijk // Materials Science and Engineering: A. – 2014. – № 618. – Pp. 280-287. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.09.008>.
15. Hsu Cheng-Hsun. A study on microstructure and toughness of copper alloyed and austempered ductile irons / Cheng-Hsun Hsu, Kuan-Ting Lin // Materials Science and Engineering: A. – 2011. – Vol. 528, №18. – 2011. – Pp. 5706-5712. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.04.035>.
16. Cui J. Microstructures and Mechanical Properties of a Wear-Resistant Alloyed Ductile Iron Austempered at Various Temperatures / J. Cui, L. Chen // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2015. – № 46. – Pp. 3627-3634. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s11661-015-2928-y>.
17. Donnini R. Assessment of the microstructure evolution of an austempered ductile iron during austempering process through strain hardening analysis / R. Donnini, A. Fabrizi, F. Bonollo // Metals

- and Materials International. – 2017. – № 23. – Pp. 855-864. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s12540-017-6704-y>.
18. Soenoko R. The effects of two-steps austempering heat treatment on the tensile strength and toughness of nodular cast iron / R. Soenoko // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2014. – Vol. 8. – Pp. 277-282.
 19. Dakre V. Mechanical Characterization of Austempered Ductile Iron Obtained by Two Step Austempering Process / V. Dakre, D.R. Peshwe, S.U. Pathak // Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2017. – №70. – Pp. 2381-2387. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s12666-017-1099-5>.
 20. Yang J. Improvement in strength and toughness of austempered ductile cast iron by a novel two-step austempering process / J. Yang, S.K. Putatunda // Materials & Design. – 2004. – Vol. 25, № 3. – Pp. 219-230. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2003.09.021>.
 21. Yan F.K. Deformation mechanisms in an austenitic single-phase duplex microstructured steel with nanotwinned grains / F.K. Yan, N.R. Tao, F. Archie // Ibid. – 2014. – № 81. – Pp. 487-500. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.08.054>.
 22. Kumari U.R. Study of wear behaviour of austempered ductile iron / U.R. Kumari, P.P. Rao // Journal of Materials Science. – 2009. – № 44. – Pp. 1082-1093. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s10853-008-3195-8>.
 23. Дан Л.А. Разработка нетрадиционной технологии изготовления прокатных валков из Cr-Ni-Mo ВЧШГ / Л.А. Дан, Л.А. Трофимова, Л.Н. Шварц // Вестник Приазовского государственного технического университета. – Мариуполь. – 2005. – Вып. 15. – С. 84-87.
 24. Дан Л.А. Технология изготовления чугуновых прокатных валков для условий мелкосерийного и единичного производства / Л.А. Дан, Л.А. Трофимова, И.В. Мороховский // Известия ВУЗов, Черная металлургия. – 2011. – № 1. – С. 44-47.
 25. Пат. 2196835 Российская Федерация, МПК C21D5/02, C21D1/20, B22D27/04. Способ получения различной структуры металлической матрицы в заготовках из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом из литого состояния / К.В. Макаренко, И.К. Кульбовский. – Заявл. 13.07.2000; опубл. 20.01.2003, Бюл. № 2.

References:

1. Keough J.R. Austempered Ductile Iron (ADI) - A Green Alternative for India Available at: <http://www.foundryinfo-india.org/images/pdf/TS-2A-IV.pdf> (accessed 15 August 2022).
2. Fras E., Gorny M. Thin Wall Ductile and Austempered Iron Castings as Substitutes for Aluminum Alloy Castings. *Archives of Foundry Engineering*, 2010, volume 10, № 3, pp. 5-10.
3. Census of world casting production. Total casting tons hits 112 million Available at: <http://www.thewfo.com/contentfiles/downloads/49.pdf> (accessed 10 August 2022).
4. Malinov L.S. Poluchenie v strukture stali i chugunov metastabil'nogo austenita i realizatsiia efekta samozakalki pri nagruzhennii dlia ispol'zovaniia vnutrennikh rezervov – perspektivnoe napravlenie v resursosberezhenii [The receipt in the structure of steels and cast iron austenitis and the implementation of the self-proclaiming of the self-adjusting when using internal reserves is a prominent direction in resource conservation]. *Stroitel'stvo, Materialovedenie, Mashinostroenie – Construction, materials science, mechanical engineering*, 2003, vol. 22, pp. 88-93. (Rus.)
5. Tyrkel' E. *Istoriia razvitiia diagrammy zhelezo-uglerod* [The history of the development of the iron-carrier diagram]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 280 p. (Rus.)
6. Sadovskii V.D., Fokina E.A. *Ostatochnyi austenit v zakalenoj stali* [Residual austenite in hardened steel]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 113 p. (Rus.)
7. Schastlivtsev V.M., Kaletina Yu.V., Fokina E.A., Kaletin A.Yu. On the Role of Retained Austenite in the Structure of Alloyed Steels and the Effect of External Factors. *The Physics of Metals*, 2014, vol. 115, № 9, pp. 904-917. doi: 10.1134/S0031918X14090105.
8. Voloshchenko S.M., Gogaev K.A., Podrezov Iu.N., Askerov M.G., Miropol'skii A.M. Vozmozhnosti importozameshcheniia smennykh detalei gruntoobrabatyvaiushchei sel'-khoz-tekhniki litymi izdeliiami iz vysokoprochnogo beinitnogo chuguna [Possibilities of import substitution of replaceable parts for soilcultivating agricultural machinery by parts from high-strength bainitic cast iron]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KhPI». Seriya: Novi rishennia*

- v suchasnikh tekhnologiiakh – Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: New solutions in modern technology*, 2019, № 1, pp. 38-50. doi: 10.20998/2413-4295.2019.01.02. (Rus.)
9. Naidek V.L., Gavriiliuk V.P., Neizhko I.G. *Beinitnyi vysokoprochnyi chugun* [Beynite high -strength cast iron]. Kyiv Nauka Publ., 2008. 140 p.
 10. Pokrovskii A.I., Dudetskaia L.R. *Ispol'zovanie vysokoprochnogo beinitnogo chuguna dlia izgotovleniia zubchatykh koles* [The use of high-strength baynite cast iron for the manufacture of gear wheels]. *Lit'e i metalurgiiia – Foundry production and metallurgy*, 2015, № 2, pp. 126-136. (Rus.)
 11. Polukhin M.S. *Razrabotka i ispol'zovanie chugunov s sharovidnym grafitom s povyshennymi mekhanicheskimi i tribotekhnicheskimi svoistvami*. Diss. kand. techn. nauk [Development and use of cast iron with spherical graphite with increased fur and tribotechnical properties. Cand. tech. sci. diss.]. Bryansk, 2009. 148 p. (Rus.)
 12. Wang B., Barber G.C., Qiub F., Zoub Q., Yang H. A review: phase transformation and wear mechanisms of single-step and dual-step austempered ductile irons. *Journal of Materials Research and Technology*, 2020, vol. 9, №1, pp. 1054-1069. doi: 10.1016/j.jmrt.2019.10.074.
 13. Wilk-Kolodziejczyk D., Regulski K., Gumienny G. Comparative analysis of the properties of the nodular cast iron with carbides and the austempered ductile iron with use of the machine learning and the support vector machine. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, № 87, pp. 1077-1093. doi: 10.1007/s00170-016-8510-y.
 14. Blondé R., Jimenez-Melero E., Zhao L., Wright J.P., Brück E., van der Zwaag S., van Dijk N.H. Mechanical stability of individual austenite grains in TRIP steel studied by synchrotron X-ray diffraction during tensile loading. *Materials Science and Engineering: A*, 2014, № 618, pp. 280-287. doi: 10.1016/j.msea.2014.09.008.
 15. Hsu Cheng-Hsun, Kuan-Ting Lin. A study on microstructure and toughness of copper alloyed and austempered ductile irons. *Materials Science and Engineering: A*, 2011, vol. 528, №18, 2011, Pp. 5706-5712. doi: 10.1016/j.msea.2011.04.035.
 16. Cui J., Chen L. Microstructures and Mechanical Properties of a Wear-Resistant Alloyed Ductile Iron Austempered at Various Temperatures. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 2015, № 46, pp. 3627-3634. doi: 10.1007/s11661-015-2928-y.
 17. Donnini R., Fabrizi A., Bonollo F. Assessment of the microstructure evolution of an austempered ductile iron during austempering process through strain hardening analysis. *Metals and Materials International*, 2017, № 23, pp. 855-864. doi: 10.1007/s12540-017-6704-y.
 18. Soenoko R. The effects of two-steps austempering heat treatment on the tensile strength and toughness of nodular cast iron. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2014, vol. 8, pp. 277-282.
 19. Dakre V., Peshwe D.R., Pathak S.U. Mechanical Characterization of Austempered Ductile Iron Obtained by Two Step Austempering Process. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 2017, №70, pp. 2381-2387. doi: 10.1007/s12666-017-1099-5.
 20. Yang J., Putatunda S.K. Improvement in strength and toughness of austempered ductile cast iron by a novel two-step austempering process. *Materials & Design*, 2004, vol. 25, № 3, pp. 219-230. doi: 10.1016/j.matdes.2003.09.021.
 21. Yan F.K., Tao N.R., Archie F. Deformation mechanisms in an austenitic single-phase duplex microstructured steel with nanotwinned grains. *Ibid*, 2014, № 81, pp. 487-500. doi: 10.1016/j.actamat.2014.08.054.
 22. Kumari U.R., Rao P.P. Study of wear behaviour of austempered ductile iron. *Journal of Materials Science*, 2009, № 44, pp. 1082-1093. doi: 10.1007/s10853-008-3195-8.
 23. Dan L.A., Trofimova L.A., Shvarts L.N. *Razrabotka netraditsionnoi tekhnologii izgotovleniia prokatnykh valkov iz Cr-Ni-Mo VChShG* [Development of non-traditional technology for the manufacture of rolling rolls from CR-Ni-MO IDSHG]. *Vestnik Priazovckogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 2005, vol. 15, pp. 84-87. (Rus.)
 24. Dan L.A., Trofimova L.A., Morokhovskii I.V. *Tekhnologiiia izgotovleniia chugunnykh prokatnykh valkov dlia uslovii melkoseriinogo i edinichnogo proizvodstva* [Technology for the manufacture of cast-iron rolling rolls for the conditions of small-scale and single production]. *Izvestiia VUZov*,

Chernaia metallurgiiia – Izvestiya. Ferrous Metallurgy, 2011, № 1, pp. 44-47.

25. Makarenko K.V., Kul'bovskii I.K. *Sposob polucheniiia razlichnoi struktury metallicheskoii matritsy v zagotovkakh iz vysokoprochnogo chuguna s sharovidnym grafitom iz litogo sostoianiiia* [A way to obtain various structures of a metal matrix in blanks of high-strength cast iron with spherical graphite from a cast state]. Patent RU, no. 2196835, 2003.

Рецензент: І.Ю. Малишева
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 15.09.2022

УДК 669.74

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276234

© Шмельцер К.О.¹, Кормер М.В.², Мирошніченко Д.В.³, Чупринов Є.В.⁴

ВПЛИВ СТУПЕНЮ ЗМІШУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПІДГОТОВКИ ВУГІЛЬНИХ ШИХТ

В умовах погіршення сировинної бази та неритмічності поставок вугільних концентратів на коксохімічні підприємства при вирішенні проблеми якісної підготовки вугільної шихти для коксування одним з ключових моментів, який необхідно враховувати, є досягнення ступеню змішування вугільної шихти за всіма показниками до 98-99%. За результатами досліджень в умовах КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» встановлено, що причиною низького ступеню змішування є велика кількість компонентів в шихті, мінливість їх фізико-хімічних показників. Встановлено, що підвищення гомогенності шихти обумовлює збільшення механічної міцності коксу за показником M_{25} на 2-4%, при цьому стиранність за M_{10} зменшується на 0,5%. Рекомендовано здійснювати організоване змішування вугільної шихти за допомогою змішувальних машин.

Ключові слова: вугілля, вугільна шихта, організоване змішування, однорідність технологічних властивостей, багатобасейнова сировинна база.

E.O. Shmeltser, M.V. Kormer, D.V. Miroshnichenko, E.V. Chuprinov. Influence of the degree of mixing on the quality of preparation of coal batches. The low degree of mixing is due to the large quantity of components in the of the batch, irregular supply of coal concentrates, fluctuations in their physical and chemical parameters. Research results indicate that increasing the homogeneity of the coal batch through the introduction of organized mixing will improve the physical and mechanical properties of coke. It should be noted that the smallest effect from the use of mixing units is achieved with the batch preparation scheme, which involves grinding all its components in one crushing unit. At the same time, the use one crusher instead two or four makes it possible to achieve a high degree of homogeneity of the batch. In the final grinding schemes, which provide for group or differentiated grinding the components of batch is required to use mixing machines. To ensure the efficiency mixing the components of the coal batch, it is desirable to install mixers in the transfer nodes, on the transfer of the batch from the conveyor to the conveyor or on top of the coal

¹ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-6830-8747, shmelka0402@gmail.com

² канд. хім. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-6509-0794, maprina1955@gmail.com

³ д-р техн. наук, професор, НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, dvimir79@gmail.com

⁴ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-8605-3434, itchupa@gmail.com

tower, in this case the segregation of the batch is reduced to a minimum. The degree of mixing all indicators of coal batch for 98-99%, which ensure a stabilization of the properties of coke in conditions multi-basin coking raw material base is one of the most important problem of the coal preparation technology for coking. Based on the results of the research in terms of coke production of PJSC «ArcelorMittal Kryvyi Rih» found that the large quantity of components in the mixture, the variability of their physicochemical parameters are cause of low degree of mixing the batch. Organized mixing of the coal batch using mixing machines was recommended to implement.

Key words: coal, coal batch, organized mixing, homogeneity of the technological properties, multi-basin coking raw material base.

Постановка проблеми. Вимоги до вугілля, яке подається на переробку, визначаються можливостями процесу шарового коксування. Вони зводяться, в першу чергу, до забезпечення стабільних заданих властивостей вугільної шихти (вмісту вологи, сірки, зольності, виходу летких речовин, насипної густини, гранулометричного складу, спіклivosti, коксівності тощо) у кількостях, які відповідають одному завантаженню коксової камери і в кожному невеликому її об'ємі, з метою отримання коксу, що відповідає вимогам сучасної доменної плавки [1, 2].

Однорідність технологічних властивостей вугільної шихти – це важливий параметр. Так, добре перемішана за об'ємом вугільна шихта забезпечує однакові параметри пластичної зони по мірі її переміщення у вугільному завантаженні, впливає на протікання усадкових явищ при утворенні напівкоксу, коксу, обумовлює однакові властивості коксу в об'ємі кожного куску.

Однорідність складу і властивостей вугільної шихти, що визначає однорідність коксу і його поведінки при вторинному нагріванні в доменній печі, передбачає отримання однакових значень її параметрів в пробах, відібраних з будь-яких точок об'єму завантаження. У зв'язку з цим, наближення до стану однорідності шихти є функцією ступеня змішування її компонентів [3].

Отже, ще одним важливим аспектом вдосконалення технології підготовки вугільної шихти для коксування з метою поліпшення якості коксу є забезпечення високого ступеня змішування вугільних концентратів, з яких складають шихту для коксування, так як це обумовлює можливість отримання однорідного за структурою коксу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оптимальних умов спікання і коксоутворення необхідно забезпечити тісний контакт між вугільними зернами і рівномірний розподіл слабоспікливого вугілля в загальній масі, що досягається перемішуванням компонентів вугільної шихти при відповідному її гранулометричному складі [1, 4-6]. У зв'язку з цим, під час підготовки вугільної шихти до коксування, необхідно звертати особливу увагу на якісне змішування її складових і забезпечувати однорідність складу вугільної шихти. Так, підвищення рівномірності показників якості вугільної шихти дозволить поліпшити умови експлуатації коксових батарей, стабілізувати показники якості коксу, підвищити вихід доменного коксу за рахунок підвищення його міцності.

Мета статті – дослідити вплив ступеню змішування на якість підготовки вугільних шихт та фізико-механічні характеристики коксу.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи, що для коксохімічних виробництв України зберігається тенденція формування багатобасейнової сировинної бази коксування, окрім усереднення шихти перед подачею на коксування, яке забезпечує стабілізацію її властивостей, важливого значення набуває підвищення ступеню однорідності вугільного завантаження в об'ємі камери коксування.

На коксохімічному виробництві (КХВ) ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» у силоси закритого складу надходили вугільні концентрати від близько 15 постачальників. Шихту вуглепідготовчого цеху (ВПЦ) постійно складають з 9-12 компонентів, що ілюструють дані гістограми (рис. 1).

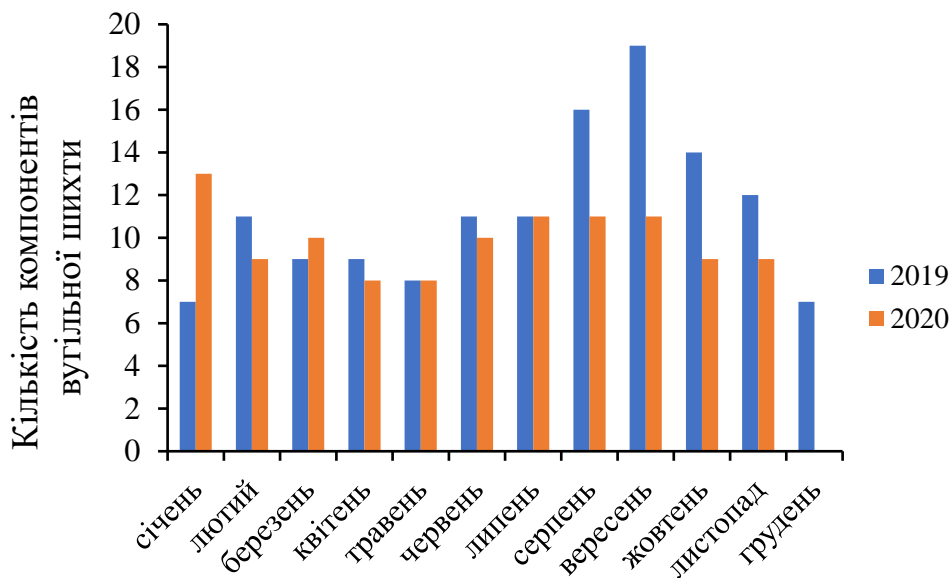


Рис. 1 – Кількість компонентів у вугільній шихті КХВ ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за період 2019-2020 рр.

На багатьох коксохімічних підприємствах за кордоном максимальна кількість вугільних концентратів, з яких складають шихти, не перевищує 2-3. Якість коксу в першу чергу визначається оптимальним складом і кількістю вугільних концентратів. Неритмічність поставки такого великого числа марок вугілля і коливання їх фізико-хімічних параметрів знижують якість коксу і стабільність його показників. Забезпечити високу якість коксу і стабільність його фізико-механічних властивостей в умовах коксохімічних підприємств при використанні в шихті великого числа вугільних концентратів досить складно. Для отримання коксу стабільної якості необхідно вирішувати проблему ефективного змішування вугільної шихти, що йде на коксування [1, 2].

Відбір проб вугільних концентратів та вугільної шихти проводили ручним методом з поверхні зупиненого конвеєра за допомогою пристосування (рами). На стрічку конвеєра встановлювали раму, яка представляє собою дві паралельні стінки, вертикально розташовані на відстані, яка становить не менше двох розмірів максимального куска. Раму занурювали у вугільну сировину до транспортувальної поверхні перпендикулярно напрямку руху потоку. Відібрана проба доставлялася у вуглепробну для подальшої підготовки до проведення випробування. Підготовка включала послідовні операції подрібнення, скорочення та розділення проби. Обладнання та інструменти для підготовки проб відповідали вимогам ДСТУ 4096-2002 «Вугілля буре, кам'яне, антрацити, горючі сланці та вугільні брикети. Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробувань» [4].

Показники технічного, пластометричного і петрографічного аналізів вугільних концентратів, вугільних шихт наведені в табл. 1-3.

Можна відзначити, що всі показники якості вугільних концентратів змінювалися в дуже широких межах.

Продовжуючи дослідження [2, 7], проаналізувавши і узагальнивши дані показників якості вугільної сировини, встановили, що ступінь змішування шихти у ВПЦ КХП, розрахований за методикою [8] по виходу летких речовин, змінювався в межах від 84 до 88,3%, що далеко від оптимального, економічно виправданого ступеня її змішування 97-98%.

Ступінь змішування шихти, який визначався за коливанням її вологості, знаходився в межах 74,2-77,8%, що є небажаним, враховуючи значний вплив вологи на насипну густину шихти і якість коксу. Так, за даними досліджень [9-11] коливання вологості вугільної сировини обумовлюють зниження механічної міцності коксу, підвищення його витрати і зниження продуктивності доменної печі.

Для виробничої вугільної шихти розраховували ступінь змішування за показником зольності та отримали інтервал 43-47 %. За показником вмісту сірки він склав 92,3-96%, що пояснюється незначним коливанням вмісту сірки у вугільній шихті. Низький ступінь змішування шихти –

19,3-22% отримали для «опіснюючого» класу 0-0,5 мм. Це пов'язано з вмістом зазначеного класу у вугільних шихтах ВПЦ КХВ в межах 40-46%, що набагато перевищує оптимальне значення.

Показник ступеня змішування шихти за зміною в пробах товщини пластичного шару дорівнює 67-70%, а насипної густини шихти – 68-72,4%, що також не сприяє отриманню коксу високої якості.

Ступінь змішування шихти за показниками її петрографічного складу для вітриніту і суми фюзенизованих компонентів склав відповідно 87,7-91,5 і 86-90,2%, що недостатньо для оптимального, економічно виправданого ступеня змішування.

Аналізуючи отримані результати ступеня змішування шихти, можна констатувати, що ця шихта потребує додаткового змішування перед подачею її в коксову камеру. Для дослідження впливу ступеню однорідності вугільної шихти на фізико-механічні властивості коксу здійснили дослідні ящикові коксування. Коксували проби виробничої вугільної шихти з встановленим ступенем змішування (базова шихта) та проби після додаткового перемішування. В якості кількісної оцінки ступеню змішування приймали кількість змішувань «на конус». Встановили, підвищення гомогенності шихти обумовлює підвищення дробимості за показником M_{25} на 2-4%, при цьому стиранисть за M_{10} зменшилась на 0,5% (отримані результати ілюструють діаграми на рис. 2).

Таблиця 1

Зміна технічних та пластометричних показників якості вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Вміст в шихті, %	Технічний аналіз, %				Пластометричні показники, мм	
			W_t^r	A^d	S_t^d	V^{daf}	x	y
Integrity CS USA	Ж	9-12	5,5-8	7,4-9,3	0,8-1	29,8-37,5	29-46	18-22
Eagle Blend USA	Ж	10-22	6,1-8	7,6-8,2	0,85-0,95	34,7-35,2	34-44	17-20
Печорська	2Ж	16-27	4,9-13,3	8,1-9,3	0,51-0,68	30,7-32,4	26-36	16-22
Integrity CS USA	Ж	10-16	5,4-8	8,4-8,8	0,82-1,04	29,0-34,0	28-38	18-23
Укркокс	Ж	4-9	9,4-11,2	7,2-10,5	1,68-2,26	32,3-32,5	23-27	19-24
Київська	Ж	7-13	10,2-13,4	7,0-8,1	1,91-2,35	30,4-32,4	2-12	23-28
Північна	К	20-27	7,5-14	7,6-9,3	0,38-0,47	23-24,2	35-42	14-17
Вдала	К	4-10	7,7-11,8	8,1-8,9	0,74-0,76	28,4-29,5	16-21	14-15
Укркокс	К	4-6	8,3-12,2	7,2-8,4	1,79-2,18	24,1-29,3	19-30	13-20
Узловська	К	3-10	9,2-12,7	5,7-6,8	1,78-1,95	22-24,4	18-21	14-15

Таблиця 2

Зміна петрографічних показників якості вугільних концентратів

Постачальник	Марка	Середній показник відбиття вітриніту R_o , %	Петрографічний склад, %				
			вітриніт V_t	ліптиніт L	семівітриніт S_v	інертиніт I	ΣOK
Integrity CS USA	Ж	0,89-1,16	79-82	3-5		15-16	15-16
Eagle Blend USA	Ж	0,95-0,98	72-77	4-7		18-24	18-24
Печорська	2Ж	0,97-1	69-80	0-2		19-29	19-29
Integrity CS USA	Ж	0,99-1,15	77-82	3-4	0-4	14-19	14-19
Укркокс	Ж	1,03-1,07	89-91	2-3		6-9	6-9
Київська	Ж	1,09-1,1	88-93	1		6-11	6-11
Північна	К	1,12-1,16	43-52	0-5	1-5	47-52	48-55
Вдала	К	1,16-1,18	86-89	1-2		9-12	9-12
Укркокс	К	1,18-1,4	87-92	1-3	0-1	6-12	6-12
Узловська	К	1,43-1,49	92			8	8

Продовження табл. 2

Постачальник	Марка	Рефлектограма вітриніту, %							
		менше 0,5 Д	0,5-0,65 ДГ	0,66-0,89 Г	0,9-1,19 Ж	1,20-1,39 К	1,40-1,69 ПС	1,70-2,59 П	більше 2,6 А
Integrity CS USA	Ж		0,3-1,7	12,0-54,7	32,1-85,3	0,3-22,6	0-19,2	0-3,1	
Eagle Blend USA	Ж		3,7	19,3	87				
Печорська	2Ж		0,6-1	8,0-14	84,4-91	0,3-3,6	0,3-1		
Integrity CS USA	Ж		0-0,3	9,6-24,4	36,4-88,4	0,6-19,8	0,0-15,7	0,0-3,7	
Укркокс	Ж		2,4-2,6	0,3-20,3	69-99,4	0,3-11,7	0,6		
Київська	Ж			0-0,3	94,7-96	4,0-5			
Північна	К			0,3-0,7	74,1-87,7	12,3-25,6	0,3-1,7		
Вдала	К			0-0,3	62,0-66,0				
Укркокс	К	0-0,7	0,3-3,7	0,3-19,6	26,6-64,6	6,8-30	0,3-49,4	2,9-13	1-11,3
Узловська	К			0,7-1,6	0,6-10,5	33,7-43,7	37,7-55,8	8,9-9,3	0,3-1

Таблиця 3

Показники якості відібраних проб шихти

№ проби	Товщина пластичного шару, у, мм	Технічний аналіз, %				Насипна густина, т/м ³	Гранулометричний склад шихти, %				
		W _t ^r	A ^d	S _t ^d	V ^{daf}		+6 мм	6-3 мм	3-0,5 мм	-0,5 мм	0-3 мм
1	17	10,9	9,7	0,97	28,9	0,800	4,83	9,52	43,03	42,62	85,65
2	18	10,5	8,9	0,90	28,3	0,777	5,98	8,52	38,68	46,82	85,50
3	16	11,4	9,1	0,91	28,7	0,774	4,39	8,54	51,29	35,78	87,07
4	16	11,4	8,9	0,93	28,5	0,783	5,83	8,38	39,72	46,07	85,79
5	17	10,8	9,2	0,97	29,1	0,795	5,07	10,19	51,67	33,07	84,74
6	15	10,5	8,7	0,95	28,3	0,786	4,11	10,41	47,39	38,09	85,48

Продовження таблиці 3

№ проби	Середній показник відбиття вітриніту R ₀ , %	Петрографічний склад, %					Рефлектограма вітриніту, %						
		вітриніт V _t	ліптиніт L	семівітриніт S _v	інертиніт I	ΣОК	0,5-0,65 ДГ	0,66-0,89 Г	0,9-1,19 Ж	1,20-1,39 К	1,40-1,69 ПС	1,70-2,59 П	більше 2,6 А
1	1,09	70	2	1	27	28		10	69	16	3	2	
2	1,09	68	1	2	29	31	1	10	72	11	6	1	1
3	1,10	63	2	1	34	35	1	8	70	14	5	2	
4	1,10	65	3		32	32		9	70	13	6	2	
5	1,09	67	2		31	31		12	71	11	4	2	
6	1,09	66	3	1	30	31		12	65	17	4	2	

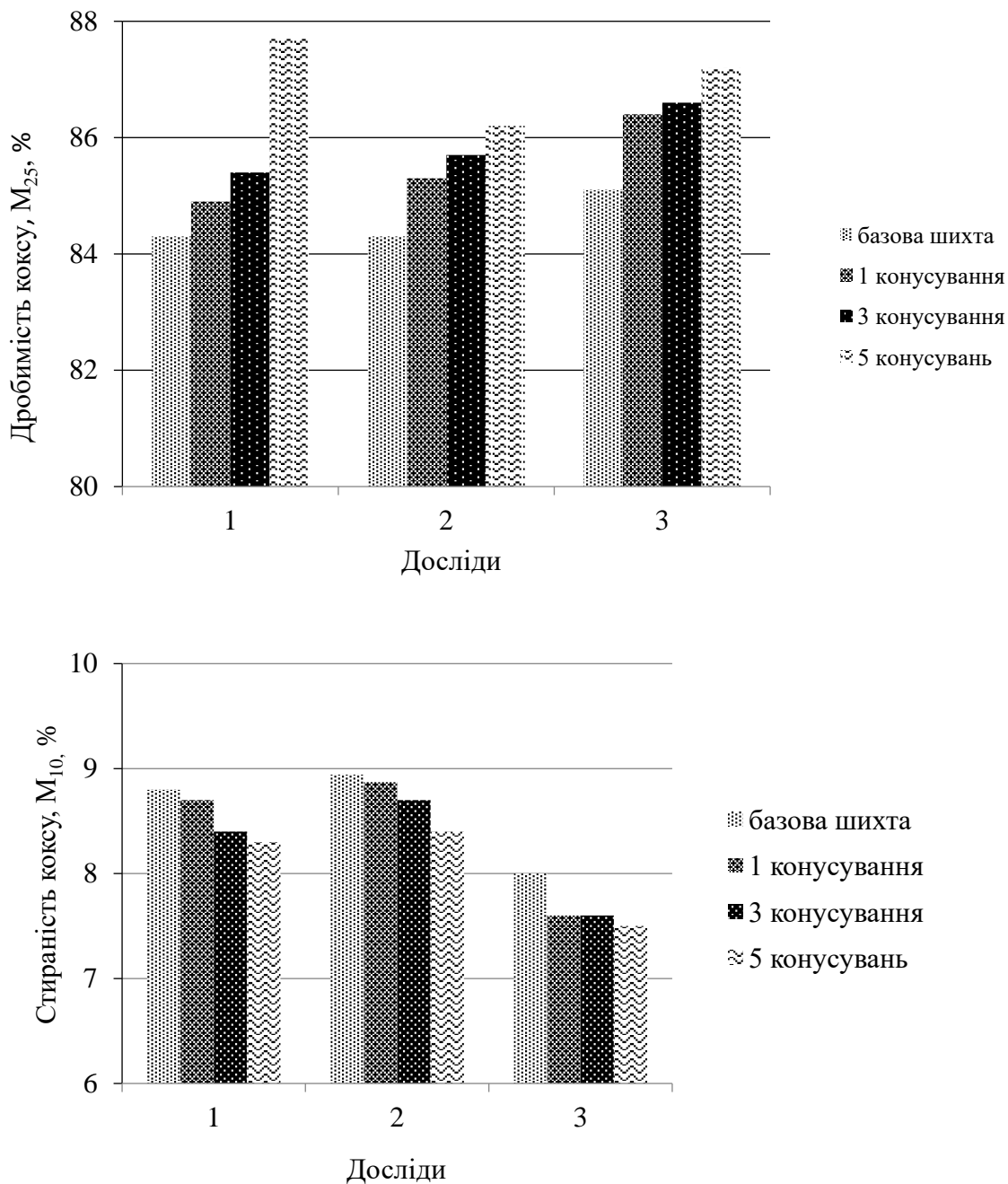


Рис. 2 – Зміна дробимості та стираності в залежності від ступеню однорідності шихти

На коксохімічних підприємствах в різний час застосовували тарілчасті, лопатеві, бичові, шнекові, дезінтеграторні машини і машини організованого змішування шихти.

Для досягнення ефективного змішування компонентів шихти у виробничих умовах пропонується використовувати змішувачі роторного типу, конструкція якого наведена на рис. 3 і 4.

Роторний змішувач встановлюють над стрічковим конвеєром так, що його ротори вписуються в поперечний переріз, який утворюється жолобчатою стрічкою та лопатями роторів.

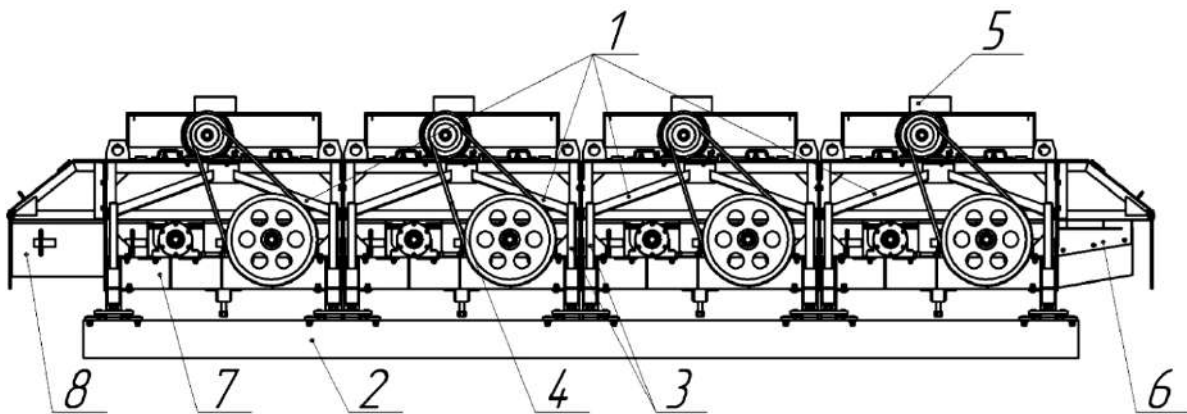


Рис. 3 – Змішувач роторний 4-х секційний: 1 – секції змішувача, 2 – опора, 3 – регулюючі гвинти, 4 – клиноремінна передача, 5 – електродвигун, 6, 8 – козирки з відбійниками, 7 – ущільнювач

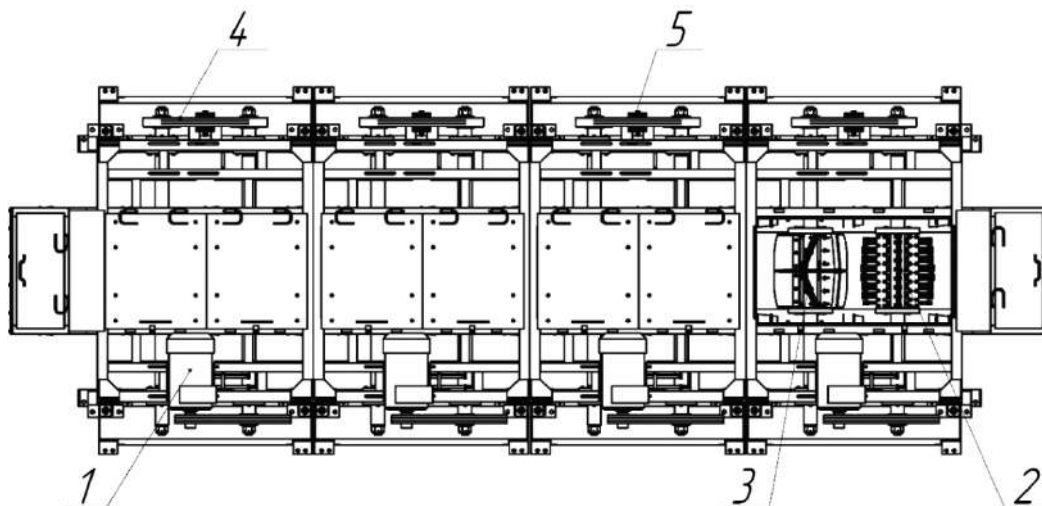


Рис. 4 – Змішувач роторний 4-х секційний (вид зверху): 1 – електродвигун, 2 – тросовий ротор, 3 – лопатевий ротор, 4 – клиноремінна передача, 5 – натяжний ролик

При переміщенні вугільних концентратів по стрічці вони піддаються дії лопатей роторів та змішуються.

Ротор (рис. 5, 6) – змішуючий орган. В одній секції змішувача розташовано два види роторів: один – з лопатями з конвеєрної стрічки, інший – з лопатями з тросів. Ротори обертаються в одну сторону за ходом руху вугільної шихти.

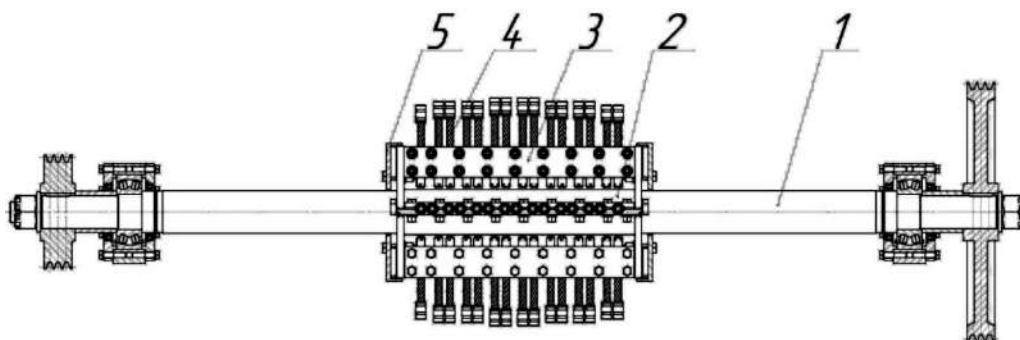


Рис. 5 – Тросовий ротор змішувача: 1 – вал, 2 – барабан, 3 – лопаті, 4 – тросові елементи, 5 – фіксатор

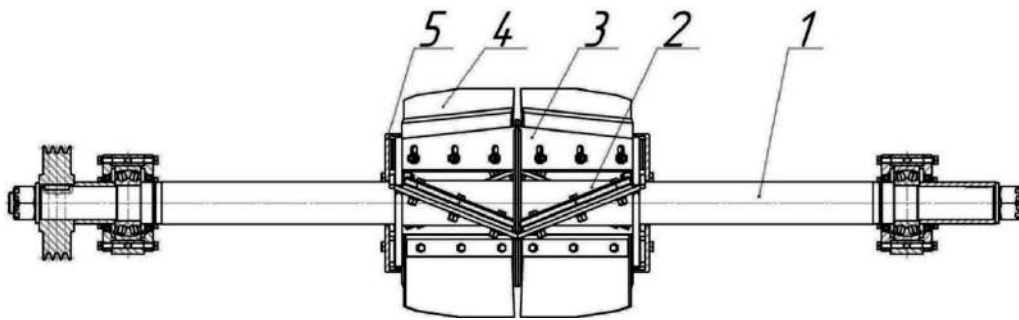


Рис. 6 – Лопатевий ротор змішувача: 1 – вал, 2 – барабан, 3 – лопаті, 4 – гнучкі лопатеві елементи, 5 – фіксатор

Технічна характеристика змішувача наведена в таблиці 4. За результатами досліджень роботи змішувача встановлено, що його застосування забезпечує ступінь змішування 98% за всіма показниками якості вугільної шихти (технічний аналіз, гранулометричний склад, насипна густина та петрографічні показники). Наведена конструкція змішувача також може бути застосована для рівномірного розподілення добавки хлориду магнію при профілактичній обробці вугільної сировини для збереження її сипкості в зимовий період при транспортуванні [12].

Таблиця 4

Технічні дані змішувача CP-2-520x1,0

Ширина стрічки конвеєра, мм	1000
Число секцій, шт.	2
Діаметр ротора, мм	520
Частота обертання роторів, об/хв	250
Довжина роликів горизонтальної ролюкоопори, мм	410
Кут нахилу конвеєра, град	0
Номінальна потужність, кВт, (потужність одного електродвигуна, кВт та кількість електродвигунів)	15 (7,5 x 2)

Таблиця 5

Коефіцієнти рівномірності показників якості дослідних шихт

Номер проби	Без змішувача				З працюючим змішувачем			
	W, %	A ^d , %	S ^d , %	V ^{daf} , %	W, %	A ^d , %	S ^d , %	V ^{daf} , %
1	10,9	8,9	1,45	31,8	10,8	9,2	0,97	28,9
2	10,5	8,7	1,50	31,5	10,6	8,9	0,9	28,3
3	11,4	8,6	1,41	30,5	10,8	9,1	0,92	28,5
4	11,4	8,1	1,30	30,8	10,9	8,9	0,93	28,3
5	10,8	8,0	1,26	29,9	10,8	9,2	0,96	28,9
6	10,5	9,1	1,51	31,7	10,6	8,9	0,96	28,3
Середнє значення	10,9	9,1	0,94	28,63	10,7	9,0	0,94	28,53
Дисперсія	0,166	0,1227	0,0009	0,1067	0,015	0,0227	0,00082	0,0867
Середньокв. відхилення	0,407	0,349	0,03	0,326	0,122	0,15	0,028	0,294

Як можна бачити з даних таблиці 5, при застосуванні змішувача для додаткової гомогенізації вугільної шихти стабільність показників її якості підвищується.

Висновки

Однією з важливих операцій при підготовці шихти до коксування, яка забезпечує постійність якості коксу, однорідність його структури, фізико-механічні властивості, є змішування компонентів вугільних шихт.

При вирішенні питань вдосконалення технології підготовки твердих горючих копалин до термічної переробки організація ефективного змішування набуває особливої актуальності в сучасних умовах, які характеризуються формуванням багатобасейнової бази коксування та неритмічності поставок вугільної сировини.

Треба зазначити, що найменший ефект від застосування змішувальних агрегатів досягається при схемі підготовки шихти ДШ (дроблення шихти), що передбачає подрібнення всіх компонентів в одній дробарці, в якій додатково здійснюється їх перемішування.

Використання змішувальних машин є обов'язковим при використанні схем остаточного подрібнення ДК (дроблення компонентів) та ГДК (групове дроблення компонентів), які забезпечують подрібнення компонентів та сумісне подрібнення груп вугілля різних марок в окремих дробильних агрегатах.

Досліджуючи вплив ступеню однорідності вугільної шихти на фізико-механічні властивості коксу встановили, що підвищення гомогенності шихти обумовлює підвищення дробимості за показником M_{25} на 2-4%, при цьому стиранність за M_{10} зменшилась на 0,5%.

Перелік використаних джерел:

1. Changes in granulometric composition of blast-furnace coke / V.P. Lyalyuk, E.O. Shmeltser, I.A. Lyakhova, D.A. Kassim, A.K. Tarakanov, P.I. Otorvin // *Coke and Chemistry*. – 2013. – Vol. 56, №12. – Pp. 456-460.
2. Influence of the properties raw coal materials and coking technology on the granulometric composition of coke. Message 1. Analysis of changes in particle size distribution of coke on the example of the coke plant in Krivyi Rig / V.P. Lyalyuk, D.A. Kassim, E.O. Shmeltser, I.A. Lyakhova // *Petroleum and coal*. – 2020. – Vol. 62(1). – Pp. 173-177.
3. Gulyaev V.M. Uniformity of coal batch and coke quality / V.M. Gulyaev, V.D. Barskii // *Coke and Chemistry*. – 2013. – Vol. 56. – Pp. 242-247. – Mode of access: <https://doi.org/10.3103/S1068364X13070041>.
4. ДСТУ 4096-2002. Вугілля буре, кам'яне, антрацити, горючі сланці та вугільні брикети. Методи відбору та підготовки проб до лабораторних випробувань. – Введ. 2003–01–01. – К. : Держстандарт України, 2002. – 34 с.
5. The using of coal blends with an increased content of coals of the middle stage of metamorphism for the production of the blast-furnace coke. Message 1. Preparation of coal blends / E.O. Shmeltser, V.P. Lyalyuk, V.P. Sokolova, D.V. Miroshnichenko // *Petroleum and coal*. – 2018. – Vol. 60(4). – Pp. 605-611.
6. The using of coal blends with an increased content of coals of the middle stage of metamorphism for the production of the blast-furnace coke. Message 2. Assessment of coke quality / E.O. Shmeltser, V.P. Lyalyuk, V.P. Sokolova, D.V. Miroshnichenko // *Petroleum and coal*. – 2019. – Vol. 61(1). – Pp. 52-57.
7. Influence of the properties raw coal materials and coking technology on the granulometric composition of coke. Message 2. Granulometric composition of the coke as a function of the coal batch properties / V.P. Lyalyuk, D.A. Kassim, E.O. Shmeltser, I.A. Lyakhova // *Petroleum and coal*. – 2020. – Vol. 62(1). – Pp. 309-315.
8. Мениович Б.И. Повышение эффективности процесса слоевого коксования / Б.И. Мениович, С.И. Пинчук, А.Г. Дюканов. – К. : Техніка, 1985. – 230 с.
9. Improving the technology of preparing coal for the production of blast-furnace coke under the conditions of multi-basin raw material base. Message 3. Influence of the moisture content of coal batch on the physicommechanical characteristics of the coke / V.P. Lyalyuk, D.A. Kassim, E.O. Shmeltser, I.A. Lyakhova // *Petroleum and coal*. – 2019. – Vol. 61(2). – Pp. 433-441.
10. Investigation of possible losses of coal raw materials during its technological preparation for coking. Message 1. The actual mass variation of coal in the process of its defrosting / D.I. Drozdник, D.V. Miroshnichenko, E.O. Shmeltser, M.V. Kormer, S.V. Pyshyev // *Petroleum and coal*. – 2019. – Vol. 61(3). – Pp.537-545
11. Investigation of possible losses of coal raw materials during its technological preparation for coking. Message 2. The actual mass variation of coal in the process of its storage and crushing / D.I. Drozdник, D.V. Miroshnichenko, E.O. Shmeltser, M.V. Kormer, S.V. Pyshyev // *Petroleum and*

coal. –2019. – Vol. 61(3). – Pp. 631- 637.

12. Transportation of Coal Concentrates at Negative Ambient Temperatures / A.D. Uchitel, M.V. Kormer, V.P. Lyalyuk, E.O. Shmeltser, Yu.I. Vititnev // *Coke and Chemistry*. – 2013. – Vol. 56(5). – Pp. 167-172.

References:

1. Lyalyuk V.P., Shmeltser E.O., Lyakhova I.A., Kassim D.A., Tarakanov A.K., Otorvin P.I. Changes in granulometric composition of blast-furnace coke. *Coke and Chemistry*, vol. 56, № 12, 2013, pp. 456-460.
2. Lyalyuk V.P., Kassim D.A., Shmeltser E.O., Lyakhova I.A. Influence of the properties raw coal materials and coking technology on the granulometric composition of coke. Message 1. Analysis of changes in particle size distribution of coke on the example of the coke plant in Kriviy Rig, *Petroleum and coal*, 2020, vol. 62(1), pp. 173-177.
3. Gulyaev V.M., Barskii V.D. Uniformity of coal batch and coke quality. *Coke and Chemistry*, 2013, vol. 56, pp. 242-247. doi: 10.3103/S1068364X13070041.
4. DSTU 4096-2002. *Vugillia bure, kam'iane, antratsiti, goriuchi slantsi ta vugil'ni briketi. Metodi vidboru ta pidgotovki prob do laboratornikh viprobuvan'* [State Standard 4096-2002. Brown coal, lignites, anthracite, combustible shale and coal briquettes. Methods of selection and preparation of samples for laboratory tests]. Kyiv, Derzhstandart Ukraïni, 2002. 34 p. (Ukr).
5. Shmeltser E.O., Lyalyuk V.P., Sokolova V.P., Miroshnichenko D.V. The using of coal blends with an increased content of coals of the middle stage of metamorphism for the production of the blast-furnace coke. Message 1. Preparation of coal blends. *Petroleum and coal*, 2018, vol. 60(4), pp. 605-611.
6. Shmeltser E.O., Lyalyuk V.P., Sokolova V.P., Miroshnichenko D.V. The using of coal blends with an increased content of coals of the middle stage of metamorphism for the production of the blast-furnace coke. Message 2. Assessment of coke quality. *Petroleum and coal*, 2019, vol. 61(1), pp. 52-57.
7. Lyalyuk V.P., Kassim D.A., Shmeltser E.O., Lyakhova I.A. Influence of the properties raw coal materials and coking technology on the granulometric composition of coke. Message 2. Granulometric composition of the coke as a function of the coal batch properties. *Petroleum and coal*, 2020, vol. 62(1), pp. 309-315.
8. Meniovich B.I., Pinchuk S.I., Dyukanov A.G. *Povysheniye effektivnosti protsessy sloyevogo koksovaniya* [Increasing the efficiency of the layered coking process]. Kyiv, Tekhnika Publ., 1985. 230 p. (Rus.)
9. Lyalyuk V.P., Kassim D.A., Shmeltser E.O., Lyakhova I.A. Improving the technology of preparing coal for the production of blast-furnace coke under the conditions of multi-basin raw material base. Message 3. Influence of the moisture content of coal batch on the physicomechanical characteristics of the coke. *Petroleum and coal*, 2019, vol. 61(2), pp. 433-441.
10. Drozdnic D.I., Miroshnichenko D.V., Shmeltser E.O., Kormer M.V., Pyshyev S.V. Investigation of possible losses of coal raw materials during its technological preparation for coking. Message 1. The actual mass variation of coal in the process of its defrosting. *Petroleum and coal*, 2019, vol. 61(3), pp. 537-545.
11. Drozdnic D.I., Miroshnichenko D.V., Shmeltser E.O., Kormer M.V., Pyshyev S.V. Investigation of possible losses of coal raw materials during its technological preparation for coking. Message 2. The actual mass variation of coal in the process of its storage and crushing. *Petroleum and coal*, 2019, vol. 61(3), pp. 631-637.
12. Uchitel A.D., Kormer M.V., Lyalyuk V.P., Shmeltser E.O., Vititnev Yu.I. Transportation of Coal Concentrates at Negative Ambient Temperatures. *Coke and Chemistry*, 2013, vol. 56(5), pp.167-172.

Рецензент: В.Й. Засельський
д-р техн. наук, професор, ННТІ ДУЕТ

Стаття надійшла 15.09.2022

**ПІДВИЩЕННЯ НАПРАЦЮВАННЯ ШАРОШКОВИХ ДОЛІТ
ПРИ БУРІННІ ПІДРИВНИХ СВЕРДЛОВИН**

При бурінні підривних свердловин в технологічному процесі видобутку магнетитових кварцитів вартість шарошкового долота складає близько 60% від вартості всього бурового інструменту. В роботі запропоновано для підвищення напрацювання шарошкових доліт застосувати бурову хімію MATEX (Канада), яка знайшла широке застосування в нафто-газовій промисловості та в гранітних кар'єрах при ударному бурінні. Промислові дослідження з застосуванням бурової хімії показали значне підвищення напрацювання шарошкових доліт.

Ключові слова: буріння, підривні свердловини, шарошкове долото, бурова хімія.

H.M. Panchenko, V.Y. Tsyhanok, Y.S. Tyshchenko. Increasing the development of cone bits when drilling. When drilling blast wells in the technological process of mining magnetite quartzites, the cost of a cone bit is about 60% of the cost of the entire drilling tool. The work includes a literature review of modern methods of increasing the reliability of drilling tools. It has been established that the main directions for increasing the performance of cone bits are the use of wear-resistant materials and coatings for their production, improvement of drilling technology and the organization of repair and preventive maintenance. In the work, it is proposed to use MATEX (Canada) drilling chemistry, which has found wide application in the oil and gas industry and in granite quarries during impact drilling. The research was carried out in a quarry for the extraction of magnetite quartzites on an Epiroc DM-75E drilling rig, drilling chemicals were fed into the water-air mixture using a MATEX dispenser. The drilling chemical dispenser is completely self-contained and easy to install on the drilling machine, designed with only one moving part, which ensures low operating costs. Industrial studies with the use of MATEX drilling chemistry (the consumption of chemistry was 1.5 liters per hour) showed a significant increase in the working hours of cone bits, on average, from 745 to 1488 linear meters. Conclusions were made regarding the use of MATEX drilling chemistry in the conditions of iron ore quarries of the private joint-stock company «Northern Mining and Processing Plant» (Kryvyi Rih). Experimental studies showed the expediency of using drilling chemistry when drilling blast wells for the extraction of magnetite quartzites. Due to the increase in the working time of cone bits, a reduction in the cost of drilling 1 linear meter of blasting wells by 38.7% was achieved.

Key words: drilling, blast wells, cone bits, drilling chemistry.

Постановка проблеми. Північний гірничозбагачувальний комбінат (м. Кривий Ріг) – це найбільше гірничодобувне підприємство в Європі із закінченим циклом підготовки доменної сировини. Сировинною базою підприємства є великі родовища залістистих кварцитів, які розробляються Першотравневим та Ганнівським кар'єрами, загальні промислові запаси яких складають 2943 млн тон магнетитових кварцитів, річний видобуток яких коливається в межах 27-29 млн.т.

Виробництво концентрату з вмістом заліза 65,8% складає понад 12 млн тон обкотишів із вмістом заліза 63% – близько 9 млн тон на рік. Продукція підприємства має попит не тільки в Україні, а й на світовому ринку.

¹ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-7565-0380, panchenko_hm@duet.edu.ua

² начальник відділу з операційних політиень, ПАТ «ПівнГЗК», м. Кривий Ріг

³ старший менеджер відділу з операційних політиень, ПАТ «ПівнГЗК», м. Кривий Ріг

В складних умовах сьогодення, при збільшенні транспортних витрат, порушенні логістичних схем постачання змінних запчастин гостро стає питання підвищення конкурентоспроможності продукції за рахунок вдосконалення технологічних процесів на підприємстві, застосування новітніх технологій та матеріалів, і, таким чином, збільшення терміну експлуатації змінного обладнання.

Видобуток магнетитових кварцитів в кар'єрах ПівніГЗК ведеться з застосуванням бурової техніки. При бурінні підрильних свердловин застосовуються шарошкове долото, вартість якого складає близько 60% від вартості всього бурового інструмента за рахунок застосування зносостійких сплавів високої вартості. Підвищення їх напрацювання є однією з основних задач покращення продуктивності видобутку та підвищення економічних показників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При виготовленні бурового змінного оснащення його надійність може бути підвищена шляхом удосконалення конструкції [1, 2], застосування зносостійких та міцних матеріалів [3], нанесення зносостійких покриттів [4-6], більш якісним виготовленням вузлів та деталей, що призводить до збільшення вартості та не завжди виправдано з економічної точки зору.

В процесі експлуатації підвищення терміну напрацювання доліт може бути забезпечене за рахунок вибору раціональних режимів роботи бурового обладнання [7] та вдосконалення організації ремонтно-профілактичного обслуговування.

Застосування бурової хімії для покращення експлуатаційних характеристик бурового устаткування широко застосовується в нафто-газовій промисловості [8], але недостатньо вивчена ефективність її застосування в умовах буріння підрильних свердловин для видобутку магнетитових кварцитів Криворіжжя.

Мета статті – визначення економічної доцільності застосування бурових домішок та дозуючого пристрою, підвищення напрацювання шарошкових доліт при видобутку залізної руди відкритим способом.

Виклад основного матеріалу. В період з січня по червень 2022 р. в умовах одного з кар'єрів ПрАТ «ПівніГЗК», на буровому верстаті Epiroc DM-75E, проводилися дослідно-промислові випробування бурової хімії, що подавалась у водоповітряну суміш за допомогою дозатора (рис. 1). Годинна витрата хімії становила 1,5 л за годину. Загальні витрати бурової хімії під час проведення випробувань склали 800 л.

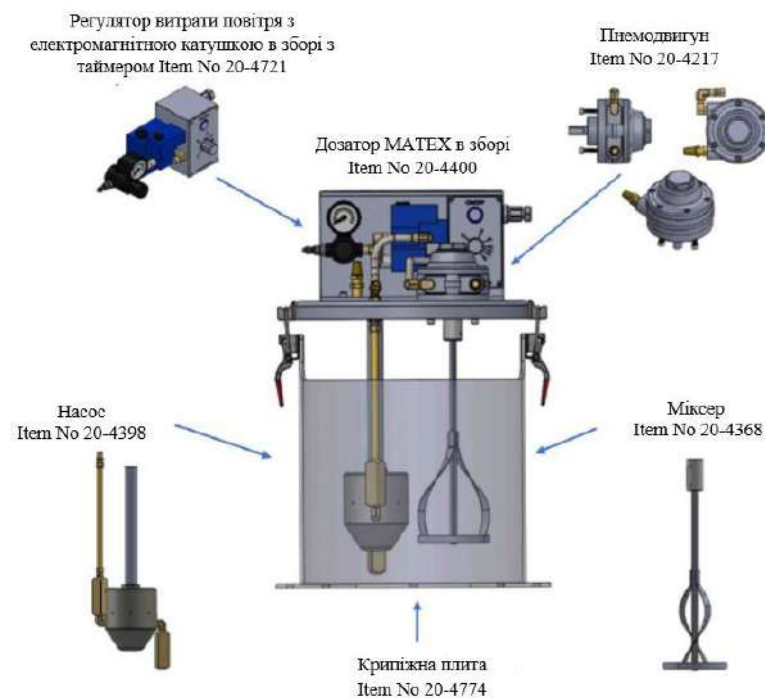


Рис. 1 – Схема дозатора бурової хімії МАТЕХ

Дозатор бурової хімії керується повітрям. Він повністю автономний та простий для встановлення на буровий верстат, насос призначений для подачі вимірної кількості продукту, з метою отримання вірної якості суміші та спроектований тільки з однією рухомою частиною, що забезпечує низькі експлуатаційні витрати. Можливий діапазон подачі бурової суміші від 1,5 л/год до 8 л/год (з діапазоном регулювання 0,5 л/год).

В промислових дослідженнях застосовувалась бурова хімія МАТЕХ (Канада), що має паспорт безпеки на продукт.

Схема подачі бурової хімії на шарошкове долото показана на рис. 2. Дозуючий пристрій рівними порціями подає бурову хімію у водо-повітряну суміш, яка прямує по буровій штанзі і через повітропровід (рис. 3) подається на підшипникові вузли та покриває їх захисною плівкою.

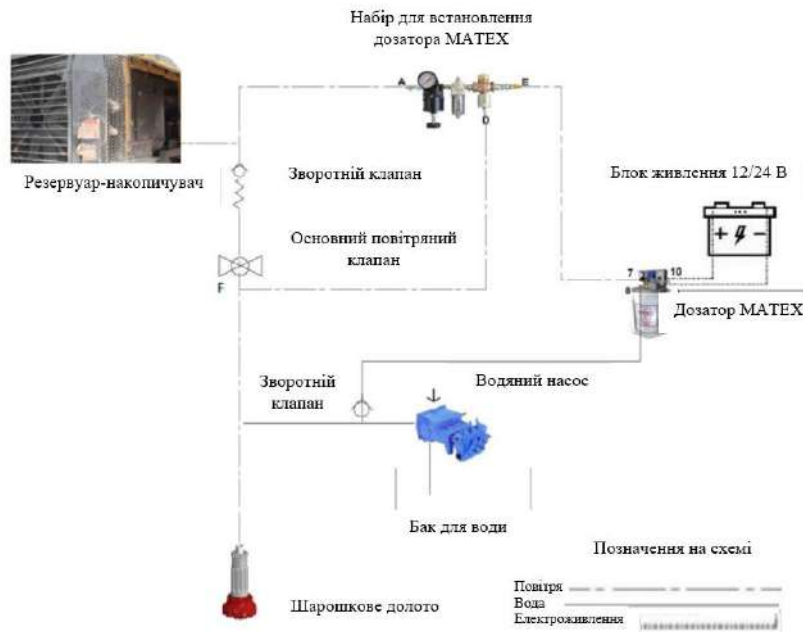


Рис. 2 – Схема підключення до систем бурового верстату дозатора МАТЕХ



Рис. 3 – Шарошкове долото

При бурінні свердловин використовувалися шарошечні долота діаметром 250,8 мм. Усього за час проведення випробувань відпрацьовано 12 доліт із застосуванням бурової хімії.

Результати проведених досліджень наведені в табл.

Таблиця

Результати напрацювання дослідних доліт з застосуванням бурової хімії

№ п.п.	Дата встановлення долота	Напрацювання, м.п.	Витрати хімії, л/год	Міцність*
1	12.01.2022	875	1,5	12
2	15.01.2022	1346	1,5	12
3	21.01.2022	1735	1,5	12
4	26.01.2022	1707	1,5	12
5	31.01.2022	1445	1,5	12
6	07.02.2022	1519	1,5	12
7	13.02.2022	1338	1,5	12
8	21.02.2022	1715	1,5	12
9	04.03.2022	1399	1,5	12
10	09.03.2022	1505	1,5	12
11	16.03.2022	1522	1,5	12
12	24.05.2022	1762	1,5	12
Середнє		1488		
** Факт 2021		745		

* - міцність гірничої породи за шкалою Протодьяконова

** - статистичні дані фактичного напрацювання доліт за 2021 рік вибрані з «журнал обліку напрацювання доліт» з того бурового верстата, на якому проводились випробування, та з урахуванням гірничо-геологічних умов роботи

Як видно з табл., середнє значення напрацювання доліт з застосуванням бурової хімії збільшилось майже в два рази в порівнянні з фактичними показниками 2021 року.

Висновки

Проведені промислові дослідження збільшення напрацювання шарошкових робіт під час буріння підричних свердловин в умовах кар'єрів по видобутку магнетитових кварцитів на ПрАТ ПівніГЗК показали доцільність застосування бурової хімії.

Досягнуто зниження собівартості буріння 1 м.п. на 38,7% (з урахуванням додаткових витрат на хімію) долотом, за рахунок збільшення напрацювання на 99% (з 745 м.п./долото до 1488 м.п./долото) на аналогічних типах порід, застосування бурової хімії, що подається у водоповітряну суміш за допомогою дозатора бурової хімії.

З урахуванням вартості дозатора та комплекту для монтажу, обсяг буріння, за який досягається окупність інвестицій на дозатор бурової хімії та комплект для монтажу, становить 15 790 м.п.

Перелік використаних джерел:

1. Dynamic behavior analysis of push-the-bit rotary steerable bottom hole assembly / Z.-Ch. Guan, H. Wang, Y.-C. Shi, W.-Q. Chen, G.-Sh. Zhao, J.-Y. Wang, G.-Q. Cao // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2019. – Vol. 33. – Pp. 1501-1511. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0302-5>.
2. Яким Р.С. Конструкторсько-технологічні підходи у визначенні оптимального розміщення зубків на вінцях шарошок тришарошкових бурових доліт / Р.С. Яким, А.М. Сліпчук // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 5(1177). – С. 25-33.
3. Wang J. A new diamond bit for extra-hard, compact and nonabrasive rock formation / J. Wang, Sh. Zhang // Journal of Central South University. – Vol. 22. – 2015. – Pp. 1456-1462. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s11771-015-2663-y>.

4. Исследование влияния плазменного тонкопленочного покрытия системы Si-O-C-N на поверхностное упрочнение быстрорежущей стали / В.А. Коротков, И.А. Растегаев, Д.Л. Мерсон, М.А. Афанасьев // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2020. – № 3. – С. 62-70.
5. Краснова М.Н. Финишное плазменное упрочнение / М.Н. Краснова, А.М. Высоцкий // Инновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса. – 2018. – С. 85-88.
6. Главатских Г.Н. Финишное плазменное упрочнение как эффективный способ нанесения покрытий / Г.Н. Главатских, А.В. Овсянников // Наука Удмуртии. – 2018. – № 2(84). – С. 21-25.
7. Nau A. Evaluation of the High-Speed Drilling Technique for the Incremental Hole-Drilling Method / A. Nau, B. Scholtes // Experimental Mechanics. – 2013. – Vol. 53. – Pp. 531-542. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s11340-012-9641-1>.
8. Преимущества применения буровых растворов на углеводородной основе при бурении нефтяных и газовых скважин / В.Ю. Гришковец, Ю.С. Давыдов, Т.А. Редкин, Л.В. Николаева, А.В. Карпиков // Науки о земле и недрапользование. – 2013. – № 2(43). – С. 95-102.

References:

1. Guan Z.-Ch., Wang H., Shi Y.-C., Chen W.-Q., Zhao G.-Sh., Wang J.-Y., Cao G.-Q. Dynamic behavior analysis of push-the-bit rotary steerable bottom hole assembly. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2019, vol. 33, pp. 1501-1511. doi: 10.1007/s12206-019-0302-5.
2. Iakim R.S., Slipchuk A.M. Konstruktors'ko-tehnologichni pidkhodi u viznachenni optimal'nogo rozmishchennia zubkiv na vintsiakh sharoshok trisharoshkovikh burovikh dolit [Design and technological approaches in determining the optimal placement of teeth on the crowning of sharot]. *Visnik NTU «KhPI» – Bulletin of the National Technical University «KhPI»*, 2016, № 5(1177), pp. 25-33. (Ukr.)
3. Wang J., Zhang Sh. A new diamond bit for extra-hard, compact and nonabrasive rock formation. *Journal of Central South University*, 2015, vol. 22, pp. 1456-1462. doi: 10.1007/s11771-015-2663-y.
4. Korotkov V.A., Rastugaev I.A., Merson D.L., Afanasyev M.A. Issledovanie vliianiia plazmennogo tonkoplenochnogo pokrytiia sistemy Si-O-C-N na poverkhnostnoe uprochnenie bystrozhushechey stali [Study of the influence of the plasma thinning coating of the SI-O-C-N system on the surface hardening of high-speed steel]. *Poverkhnost'. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neitronnye issledovaniia – Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies*, 2020, № 3, pp. 62-70. (Rus.)
5. Krasnova M.N., Vysotskii A.M. Finishnoe plazmennoe uprochnenie [Finish plasma hardening]. *Innovatsionnye tekhnologii i oborudovanie mashinostroitel'nogo kompleksa – Innovative technologies and equipment of the engineering complex*, 2018, pp. 85-88. (Rus.)
6. Glavatskikh G.N., Ovsiannikov A.V. Finishnoe plazmennoe uprochnenie kak effektivnyi sposob naneseniia pokrytii [Finish plasma hardening as an effective way of applying coatings]. *Nauka Udmurtii – Science of Udmurtia*, 2018, № 2(84), pp. 21-25. (Rus.)
7. Nau A., Scholtes B. Evaluation of the High-Speed Drilling Technique for the Incremental Hole-Drilling Method. *Experimental Mechanics*, 2013, vol. 53, pp. 531-542. doi: 10.1007/s11340-012-9641-1.
8. Grishkovets V.Iu., Davydov Iu.S., Redkin T.A., Nikolaeva L.V., Karpikov A.V. Preimushchestva primeneniia burovnykh rastvorov na uglevodorodnoi osnove pri burenii neftiannykh i gazovykh skvazhin [The advantages of the use of drilling solutions on a hydrocarbon basis for drilling oil and gas wells]. *Nauki o zemle i nedropol'zovanie – Earth science and subsoil use*, 2013, № 2(43), pp. 95-102. (Rus.)

Рецензент: В.Й. Засельський,
д-р техн. наук, проф. ННТІ ДУЕТ

Стаття надійшла 27.08.2022

141 ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 62-523.1

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276237

© Сьомка О.О.¹, Прус В.В.²

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Для підвищення рівня практичної підготовки здобувачів вищої освіти актуальним завданням є розробка та застосування лабораторного обладнання, яке дозволяє, поряд із вивченням принципу дії датчиків контрольованих електричних та технологічних параметрів (температура, освітлення, вологість та ін.), отримувати практичні навички в їх підключенні, програмуванні мікроконтролерів та цифровій обробці даних. В якості базового елементу вимірювальної системи обрано електронний вимірювальний пристрій на базі AVR-мікроконтролера, який дозволяє реалізувати ефективно поєднання програмної та апаратної частин. Програмна частина представляє собою умовно безкоштовну оболонку для програмування, що включає в себе текстовий редактор, адаптований для написання програмного коду мовою C++ (Wiring), компілятор і набір засобів для програмування апаратної частини. При цьому забезпечується підтримка усіх сучасних операційних систем, як то Linux, MacOS і Windows. Апаратна частина представлена платою на основі мікроконтролера, що містить програматор, стабілізатор напруги, сигнальні світлодіоди та USB-роз'єм для підключення до комп'ютера. Доведено, що проведення експериментальних досліджень з використанням подібних стендів дозволяє здобувачам вищої освіти, поряд з безпосереднім вимірюванням за допомогою різних датчиків фізичних величин, що характеризують параметри асинхронних двигунів, отримувати додатковий досвід щодо особливостей роботи з мікроконтролерами. Проведені дослідження довели відповідність розробленої модульної структури та її характеристик умовам лабораторних випробувань асинхронних двигунів та підтвердили можливість розширення її інформаційних можливостей та ефективної модернізації.

Ключові слова: електромеханотронний пристрій, інформаційно-вимірювальна система, мікроконтролери сімейства ATmega.

V.V. Prus, O.O. Somka. Development of information measurement system for experimental research of asynchronous motors. In order to increase the level of practical training of higher education students, an urgent task is the development and application of laboratory equipment, which allows, along with studying the principle of operation of sensors of controlled electrical and technological parameters (temperature, lighting, humidity, etc.), to acquire practical skills in connecting them, programming microcontrollers and digital data processing. As the basic element of the measuring system, an electronic measuring device based on an AVR-microcontroller was chosen, which allows implementing an effective combination of software and hardware parts. The software part is a conditionally free shell for programming, which includes a text editor adapted for writing program code in the C++ language (Wiring), a compiler and a set of

¹ канд. техн. наук, ст. викладач, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського, м. Кременчук, ORCID: 0000-0003-1107-7858, oleksandrsmk@gmail.com

² д-р техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-2203-6878, viacheslav.prus@gmail.com

tools for programming the hardware part. At the same time, support is provided for all modern operating systems, such as Linux, MacOS and Windows. The hardware part is represented by a board based on a microcontroller containing a programmer, a voltage stabilizer, signal LEDs and a USB connector for connecting to a computer. It has been proven that conducting experimental studies using such stands allows higher education students, along with direct measurement with the help of various sensors of physical quantities characterizing the parameters of induction motors, to gain additional experience regarding the peculiarities of working with microcontrollers. The conducted studies proved the compliance of the developed modular structure and its characteristics with the conditions of laboratory tests of induction motors and confirmed the possibilities of expanding its information capabilities and effective modernization.

Key words: *electromechanotronic device, information and measurement system, ATmega family microcontrollers.*

Постановка проблеми. Характерною ознакою сучасності є стрімкий розвиток різновидів цифрових пристроїв поряд із зростанням їх функціональності. Щороку на ринку з'являються нові прилади, датчики, виконавчі механізми, а також побутова техніка й інші пристрої на їх основі, що належать до багатофункціональних зразків цифрового світу.

Для звичайних користувачів зазначене розширює можливості вибору нової техніки, використовуваної для покращення якості та комфорту їх життя, який здійснюється на основі аналізу певних корисних функцій. На відміну від цієї категорії, студенти електротехнічних напрямків підготовки не можуть вивчати пристрої тільки за набором функцій, вони мають знати і розуміти, як саме працює той чи інший пристрій, на яких фізичних принципах він базується, з яких елементів складається тощо. І у цьому плані мова найчастіше йде про електромеханотронні пристрої, що об'єднують комплексні технічні рішення в механіці, електротехніці, електроніці та програмуванні [1, 2].

Для дослідження роботи електронних вузлів існує безліч навчальних стендів, якими укомплектовано лабораторії більшості ЗВО. Вони охоплюють різні області, наприклад, кодування і декодування сигналів, вивчення напівпровідникових елементів, дослідження амплітудно-частотних характеристик пристроїв на їх основі і т.п. Здобувачі, працюючи на таких стендах, можуть отримати достатні знання у предметній області.

Усі сучасні цифрові прилади, так чи інакше, пов'язані з програмуванням мікроконтролерів, які забезпечують їх функціональність. Тому вивчення принципів функціонування різних типів мікроконтролерів, їх властивостей й особливостей застосування є ключем до розробки власних пристроїв. Одним з найпоширеніших типів використовуваних мікроконтролерів є AVR-мікроконтролери фірми Atmel. Перевагою таких мікроконтролерів і систем на їх основі є їх відносно низька вартість (~ 1,5 \$) у сукупності з розширеною функціональністю, а також їх доступність для початківців [3]. У розрізі поставлених задач актуальним напрямом є застосування зазначених схемних рішень у питаннях лабораторних випробувань електричних машин, які є невід'ємною складовою більшості електромеханотронних пристроїв. Саме для вирішення подібних проблем і розроблявся навчальний стенд.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуюча лабораторна база дисципліни «Електричні машини» є однією з основних форм з'єднання теорії та практики у процесі підготовки бакалаврів за освітніми програмами різних спеціальностей у ЗВО. Проведення лабораторних робіт сприяє закріпленню теоретичних знань, формуванню практичних навичок у роботі з електричними машинами, приводами та приладами керування ними, розширенню творчих здібностей та здатності здобувача до самостійної роботи.

На даний час при дослідженні електричних машин обов'язковим є широке застосування лабораторного експерименту. У ході його проведення не тільки відтворюються досліджувані явища, процеси чи закони, але і враховується залежність від супутніх умов і параметрів, що характеризують ці умови, проводяться необхідні вимірювання. У процесі експерименту передбачається активне втручання здобувачів у хід досліджуваного процесу/явища з метою досягнення його суті.

Серед засобів інформаційних технологій навчання найбільш перспективним і

пріоритетним напрямком застосування комп'ютерної техніки є її використання у якості інструментального засобу.

У зв'язку з цим, на даний час навчальний експеримент реалізується у трьох напрямках:

- модернізація традиційного вимірювального обладнання для виконання демонстраційного і лабораторного експерименту;
- комп'ютерне математичне моделювання;
- використання інтерфейсних блоків, сполучених з комп'ютерною технікою, і датчиків фізичних величин для демонстраційного лабораторного навчального експерименту.

Перший напрямок передбачає використання традиційного і вдосконаленого вимірювального обладнання. При цьому дослідження здобувачами фізичних явищ, процесів і законів здійснюється за допомогою реального або, як його ще називають, натурального експерименту з використанням вимірювального обладнання, яким традиційно оснащені лабораторії ЗВО.

Проведений аналіз базового курсу електричних машин показує, що у процесі його подання здобувачам використовуються, в основному, два типи моделей: фізичні, або так звані натурні моделі, і математичні моделі, покладені в основу дослідження фізичних процесів за допомогою комп'ютера.

Фізичний експеримент у процесі підготовки здобувачів передбачає комплексне використання традиційного обладнання, засобів нових інформаційних технологій навчання, комп'ютерного моделювання і вимірювально-обчислювальних систем, що забезпечує більш глибоке вивчення дисципліни й загальне підвищення якості навчання здобувачів.

На даний час навчальні заклади України на існуючій власній базі створюють стенди для проведення лабораторних робіт з використанням як традиційних моделей, так і комп'ютерних або віртуальних. При цьому доведено, що в результаті застосування лабораторних комплексів в процесі навчання істотно зростає якість освіти студентів.

Проведення лабораторного експерименту передбачає колективну діяльність, розвиває акуратність, відповідальність, вміння планувати свою діяльність і удосконалює самоконтроль. Успішне виконання роботи сприяє розвитку у здобувачів комунікативних здібностей.

Також у них розвивається здатність звертати увагу на деталі технічних пристроїв, усвідомлювати їх значимість і бачити ледь помітні несправності, недоліки в техніці. Безумовно, розвивається технічна пам'ять, технічне мислення, комбінаторна здатність і просторове уявлення.

Існуючі лабораторні стенди, виготовлювані на промисловому рівні, можна охарактеризувати як дрібносерійне виробництво через обмеженість їх партій.

Наведемо приклади існуючих розробок промислових підприємств за досліджуваним напрямком.

Стенд виробництва ТОВ ІСЦ «Учбова техніка». Підприємство виробляє навчально-лабораторний комплекс «Електричні машини» ЕМ1М-С-Р, призначений для виконання лабораторних робіт за дисциплінами «Електричні машини», «Електричні машини і основи електроприводу», «Основи електроприводу», «Теорія електроприводу» (одне робоче місце розраховане на 3-4 осіб). Використовуване обладнання дозволяє визначати параметри і знімати основні характеристики електроприводів різних типів. Зовнішній вигляд навчально-лабораторного комплексу ЕМ1М-С-Р представлений на рис. 1. Технічні характеристики комплексу наведені у таблиці 1.

Розроблюване ТОВ ІСЦ «Учбова техніка» навчальне лабораторне обладнання нового покоління має низку таких незаперечних переваг як:

- гнучка модульна структура;
- наочність результатів експериментування;
- надійний захист від перевантажень, коротких замикань і невмілого поводження;
- електробезпека;
- відповідність вимогам державних освітніх стандартів;
- розвинуте програмно-методичне забезпечення;
- привабливий ергономічний дизайн;
- промислове виготовлення.

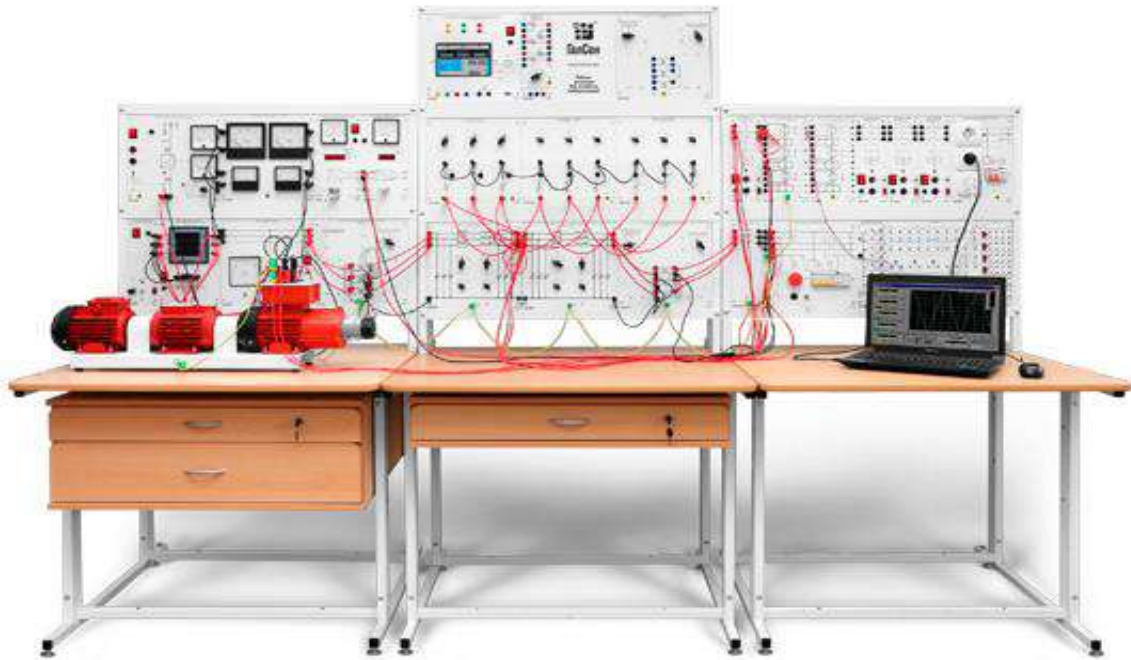


Рис. 1 – Зовнішній вигляд лабораторного комплексу EM1M-C-P

До складу стенду входять: джерело живлення двигуна постійного струму, збуджувач синхронної машини, перетворювач частоти, однофазне джерело живлення, трьохполюсний вимикач, реостат для кола ротора машини змінного струму, реостат збудження машини постійного струму, лінійний реактор, ємність навантаження, реостат, індуктивне навантаження, трифазна трансформаторна група, трифазний регульований автотрансформатор, вимірювач напруги і частоти, блок з трьох мультиметрів, вольтметр, багатофункціональні електровимірювальні прилади, лабораторний стіл з дворівневої рамою, лабораторний стіл з двосекційним контейнером і дворівневої рамою, електромашинний агрегат (з машиною постійного струму, машиною змінного струму і перетворювачем кутового переміщення), активне навантаження, показник кута навантаження синхронної машини, показник частоти обертання, трифазний джерело живлення, набір аксесуарів для комплексу EM1M-C-P, блок синхронізації [4].

Таблиця 1

Технічні характеристики лабораторного комплексу EM1M-C-P

Характеристики	Значення
Споживана потужність, Вт, не більше	500
Електроживлення: – від трифазної мережі змінного струму з робочим нульовим і захисним провідниками напругою, В – від однофазної мережі змінного струму з робочим нульовим і захисним провідниками напругою, В – частота, Гц	380 ± 38, 220 ± 22, 50 ± 0,5
Клас захисту від ураження електричним струмом	I
Габаритні розміри, мм, не більше – довжина (по фронту) – ширина (ортогонально фронту) – висота	2730x850x1900
Маса, кг, не більше	200

Стенд виробництва ТОВ НВП «Учтех-Профі». Підприємство виробляє лабораторний стенд «Електричні машини», виконання стендове комп'ютерне. Зовнішній вигляд навчально-лабораторного стенду EM–СК представлений на рис. 2. Технічні характеристики комплексу наведені в таблиці 2. Лабораторний стенд призначений для навчання студентів різних спеціальностей

середніх спеціальних і вищих навчальних закладів, які вивчають дисципліни «Електричні машини», «Електричні машини і основи електроприводу», «Основи електроприводу», «Теорія електроприводу».

Таблиця 2

Технічні характеристики лабораторного комплексу EM-CK

Характеристики	Значення
Споживана потужність, Вт, не більше	750
Частота напруги живлення, Гц	50
Напруга електроживлення, В	3x380
Габаритні розміри, мм, не більше – довжина (по фронту) – ширина (ортогонально фронту) – висота	2300x1550x650
Маса, кг, не більше	250

До складу стенду входять: модулі живлення стенду; вимірювач потужності; додаткові опори; автотрансформатор; однофазні трансформатори; перетворювач частоти; тиристорний перетворювач; силовий електромашинний агрегат (машина постійного струму, асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором, енкодер), персональний комп'ютер, лабораторний стіл, комп'ютерний стіл, тумбочка-підставка під агрегат, програмне забезпечення (компакт-диск), комплект силових кабелів і сполучних проводів, технічний опис, методичні вказівки до проведення лабораторних робіт [5].

Наведені лабораторні стенди мають схожі характеристики, набір функцій, виконують по близьким принципам лабораторні роботи і відповідають на всі пред'явлені вимоги. Обмежуючим фактором на їх придбання є доволі висока вартість.



Рис. 2 – Зовнішній вигляд лабораторного комплексу EM-CK

Використовуваний у роботі навчально-лабораторний стенд EV8031/AVR призначений для застосування в навчальних цілях з курсів програмування (мови Асемблер, С), а також як засіб розробки. Зовнішній вигляд представлений на рис. 3.

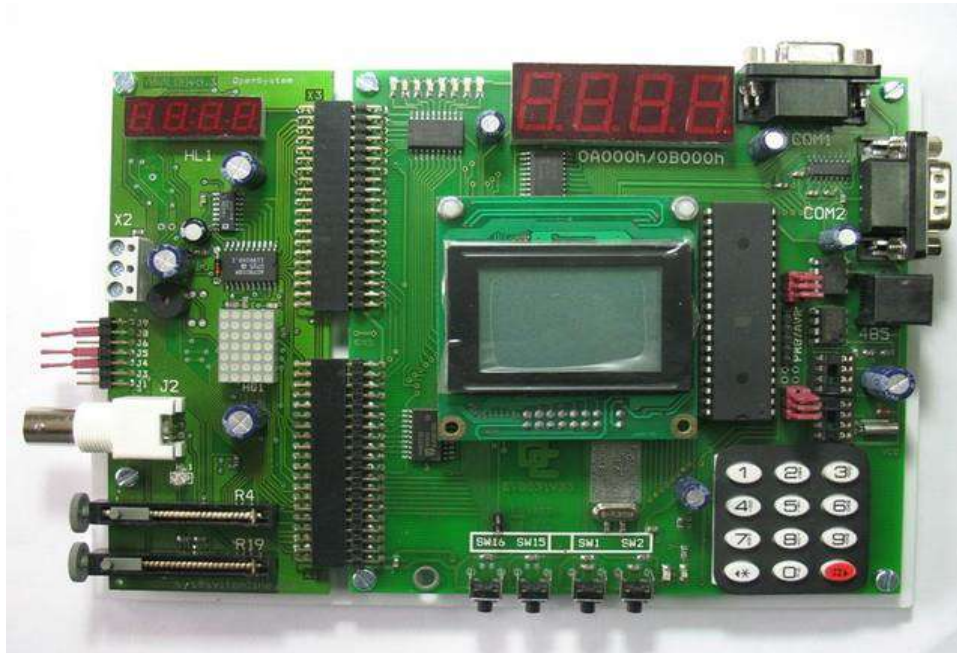


Рис. 3 – Навчально-лабораторний стенд EV8031/AVR

Мета статті. Розробка та експериментальна апробація інформаційно-вимірювальної системи для лабораторного стенду з експериментальних досліджень асинхронних двигунів.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні на ринку існують налагоджувальні мікропроцесорні комплекти, що дозволяють виконувати розробку прототипів пристроїв і створювати їх робочі макети. Один з таких комплектів – Arduino™. Arduino – це інструмент для проектування і прототипування електронних пристроїв, які більш щільно взаємодіють з навколишнім фізичним середовищем, ніж стандартні персональні комп'ютери, які фактично не виходять за рамки віртуальності. Arduino застосовується для створення електронних пристроїв з можливістю прийому сигналів від різних цифрових і аналогових датчиків, які можуть бути підключені до нього, і управління різними виконавчими пристроями. Вони являють собою платформу, призначену для «physical computing» з відкритим програмним кодом та сучасної середовищем для написання програмного забезпечення. Пристрої, засновані на Arduino, можуть працювати самостійно або взаємодіяти з програмним забезпеченням на комп'ютері [6]. Безперечна вигода від використання Arduino в навчанні пояснюється наступними факторами:

- економічна доступність;
- простота освоєння середовища розробки;
- великий вибір датчиків, пристроїв індикації і виконавчих механізмів;
- використання при розробці програмного забезпечення мови програмування C++;
- методичне забезпечення, великий вибір літератури, існує активна спільнота користувачів і безліч форумів з докладними інструкціями.

Так як проект Arduino розвивався спочатку як освітній, він відмінно підходить для використання як в аудиторній так і позааудиторній діяльності. Велика кількість реалізованих проектів доводить популярність платформи. На даний момент ця платформа набирає популярність і постійно вдосконалюється.

Використання інструментарію платформи дозволяє здобувачу отримати практичний досвід:

- створення програм для мікропроцесорних систем;
- тестування і налагодження мікропроцесорних систем;
- застосування мікропроцесорних систем;
- установки і конфігурування мікропроцесорних систем та підключення периферійних пристроїв;
- виявлення та усунення причин несправностей і збоїв периферійного обладнання.

Отриманий досвід показує, що використання платформи Arduino дозволяє підвищити ефективність навчального процесу, перш за все, його практичної складової, а також забезпечити необхідний рівень сформованості професійних компетенцій випускника технічного профілю, в діяльності якого значну частку займає розробка електричних і електронних схем різних пристроїв і проектування технічних об'єктів.

Для розробки навчального стенду була обрана середовище розробки Arduino IDE, за допомогою якого можна, ґрунтуючись лише на знаннях мови C++, вирішувати найрізноманітніші творчі завдання, пов'язані з програмуванням.

Завдяки Arduino IDE можна легко запрограмувати однойменні контролери. На сьогоднішній день за допомогою цього середовища конструюють всілякі навчальні, інтерактивні, експериментальні, розважальні проекти. Вікно розробки Arduino IDE представлено на рис. 4.



Рис. 4 – Вікно розробки Arduino IDE

Типовий контролер Arduino поєднує на одному кристалі функції процесора і периферійних пристроїв, містить ОЗП і (або) ПЗП. По суті, це однокристальний комп'ютер, здатний виконувати досить прості завдання [3].

Контролер відрізняється від інших мікропроцесорних комплектів інтегрованими в мікросхему пристроями вводу-виводу, таймерами й іншими периферійними пристроями. Загальний вигляд розробленого стенду на базі модуля Arduino UNO наведено на рис. 5.

Для початку роботи зі стендом необхідно приєднати вимірювальні прилади до об'єкта дослідження. Далі необхідно приєднати силові контакти до двигуна для забезпечення його живлення. Наступним кроком є підключення лабораторного стенду до мережі, для чого використовується блок живлення з напругою 220 В. Так як лабораторний стенд являє собою портативний вимірювальний прилад, є можливість забезпечити його живлення від USB порту персонального комп'ютера або від портативного джерела живлення. Але при застосуванні напруги живлення нижче 5В погіршується точність зняття даних, тому рекомендується використовувати стаціонарний блок живлення. Для подачі напруги на стенд натискається кнопка Power, що вмикає LCD дисплей і таким чином сигналізує, що стенд готовий до роботи. На даний час в меню реалізовано три пункти, перемикання між якими здійснюється за допомогою кнопки 2:

– перший дисплей відображає дані з модуля реального часу DS1302 RTC, що відображено на рис. 6, а;

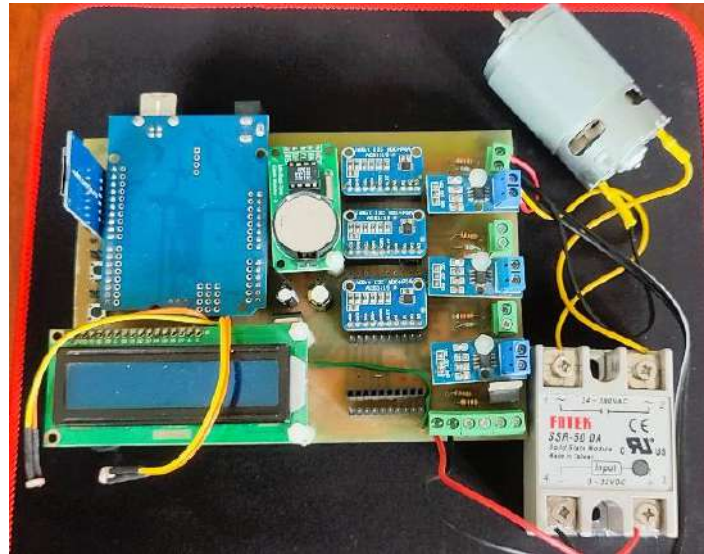


Рис. 5 – Загальний вигляд лабораторного стану

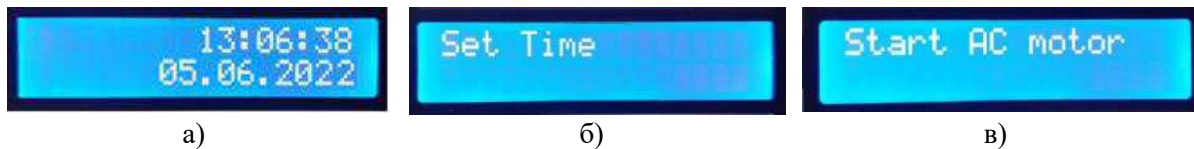


Рис. 6 – Дисплей лабораторного стану у різних режимах

– другий дисплей дає можливість налаштувати за необхідністю поточний час. Для цього необхідно натиснути кнопку 1, після чого часові налаштування скидаються до заводських. Для встановлення вірного часу необхідно натиснути кнопку 2, при кожному натисканні якої змінюється кількість годин, а для підтвердження натиснути кнопку 1. Після цього з'являється можливість налаштування хвилин. Налаштування відбувається за таким самим алгоритмом. Зовнішній вигляд дисплею у режимі налаштування представлений на рис. 6, б;

– третій дисплей дає можливість запуску досліджуваного двигуна. Для запуску досліджуваного об'єкту необхідно натиснути кнопку 1, після натискання вмикається зворотній відлік, при досяганні нуля на об'єкт подається напруга живлення, одночасно з цим починається зняття даних. Для зупинки досліду необхідно повторно натиснути кнопку 1. Зовнішній вигляд дисплею представлений на рис. 6, в.

При проведенні досліджень на дисплеї відображається в реальному часі вимірювані параметри:

- фазна напруга;
- фазний струм;
- температура корпусу.

Система передбачає можливість підключення стану до комп'ютера і спостереження досліджуваних параметрів на моніторі. Також при запуску ведеться запис даних на зовнішній накопичувач, що дає змогу більш точно побудувати характеристики. При цьому дані зберігаються в Excel форматі.

По закінченні досліду необхідно повторно натиснути кнопку Power та знеструмити блок живлення.

Система забезпечує можливість спостерігати вимірювальні параметри в реальному часі двома шляхами, а саме:

- на дисплеї стану;
- на моніторі комп'ютера.

Але більш точним способом є аналіз вже записаних на зовнішньому накопичувачі даних після проведення досліду. Приклад фрагменту таких даних відображений у таблиці 3.

Таблиця 3

Фрагмент формату даних, що записуються на зовнішній накопичувач

Voltage ADS1, V	Voltage ADS2, V	Voltage ADS3, V	Sensor temp, C°	Time_Ms, ms	Date, D/m/Y	Time_Real, h/m/s
0	25,67	-25,41	25,5	4418	05.06.2022	13:24:55
-5,68	27,15	-27,17	25,5	4546	05.06.2022	13:24:55
-15,07	27,51	-25,09	25,5	4673	05.06.2022	13:24:55
-22,72	24,75	-16,89	25,5	4798	05.06.2022	13:24:55
-27,36	5,85	-6,54	25,5	4926	05.06.2022	13:24:55
-27,39	-3,84	3,06	25,5	5094	05.06.2022	13:24:55
-22,11	-13,16	12,32	25,5	5219	05.06.2022	13:24:55
-12,88	-21,54	20,94	25,6	5354	05.06.2022	13:24:55

З отриманих даних можуть бути побудовані залежності:

- напруги від часу у виді графіку, представленого на рис. 8;
- струму від часу у виді графіку, представленого на рис. 9;
- температури корпусу від часу у виді графіку, представленого на рис. 10.

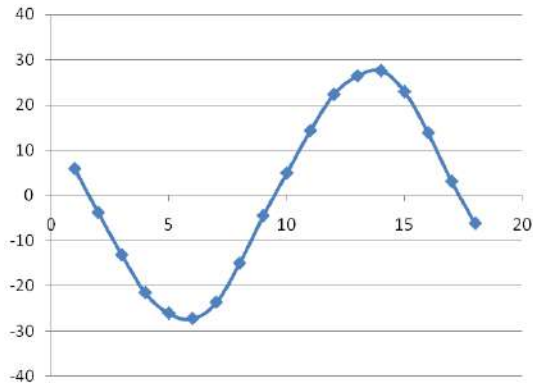


Рис. 8 – Графік залежності напруги від часу

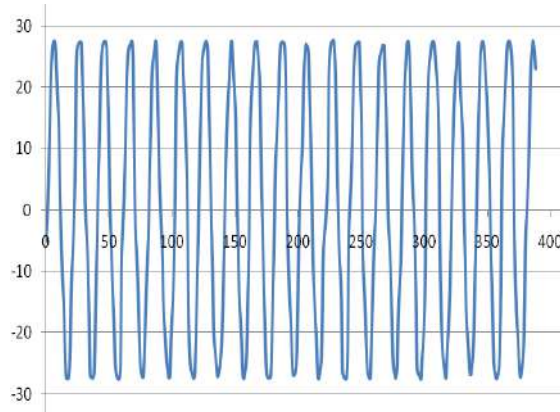


Рис. 9 – Графік залежності струму від часу

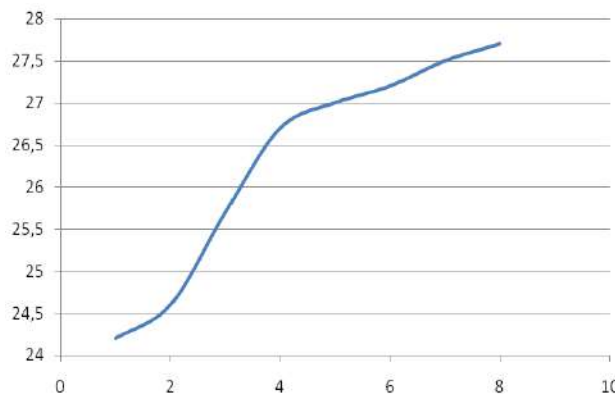


Рис.10 – Графік залежності температури корпусу від часу

Висновки

1. Проведений аналіз доступних на ринку лабораторних стендів дозволив визначити їх основний недолік, що полягає у високій вартості, складності обслуговування та, у більшості випадків, відсутності модульної структури, що виключає можливість швидко та безпечно замінити ушкоджений елемент, а також не дозволяє розширити або модернізувати лабораторний стенд.

2. Розроблена інформаційно-вимірювальна система, що включає в себе: AVR-мікроконтролер ATmega328, 16-бітний аналого-цифровий перетворювач ADS1115, модуль струму ACS712, рідкокристалічний дисплей LCD 1602 I2C, модуль MicroSD, твердотільні реле Fotek SSR-10DA, модуль температури DS18B20 та модуль реального часу DS1302 RTC.

3. Розрахована максимальна швидкість запису даних у розробленому лабораторному стенді, що відповідає виборці у 900 точок на секунду та задовольняє умовам проведення досліджень.

4. Отримані в процесі дослідження асинхронного двигуна експериментальні дані можна вважати достовірними, оскільки відносно відхилення від їх теоретичних значень, отриманих розрахунковим шляхом, знаходиться в межах 3-5%.

5. Розроблена інформаційно-вимірювальна система лабораторного стенду на базі мікроконтролера Atmega з експериментального дослідження асинхронного двигуна задовольняє вимогам його випробувань. Так як ця система має модульну структуру, в майбутньому це дає можливість розширення кількості досліджуваних параметрів, заміни ушкоджених елементів або модернізації усієї системи в цілому.

Перелік використаних джерел:

1. Osadchyy V. Laboratory Stand for Research of Energy Characteristics of Electric Vehicle Drives / V. Osadchyy, O. Nazarova, V. Brylysty I // 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – 2021. – Pp. 1-4. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598661>.
2. Osadchyy V. Laboratory Stand for Investigation of Liquid Level Microprocessor Control Systems / V. Osadchyy, O. Nazarova // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). – 2020. – Pp. 1-4. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/PAEP49887.2020.9240868>.
3. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://forum.arduino.ua/>.
4. Опис лабораторного комплексу ГалСен EM1M-S-R [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.galsen.ru/catalog/set/36/80/1154/>.
5. Типовий комплект навчального обладнання «Електричні машини», виконання стендове комп'ютерне, EM-SK [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://standlab.com.ua/product/ntcz-06-23-elektrychni-mashyny-z-mps/>.
6. GEEKMATIC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geekmatic.in.ua/articles>.

References:

1. Osadchyy V., Nazarova O., Brylysty V. Laboratory Stand for Research of Energy Characteristics of Electric Vehicle Drives. *2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2021, pp. 1-4. doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598661.
2. Osadchyy V., Nazarova O. Laboratory Stand for Investigation of Liquid Level Microprocessor Control Systems. *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*, 2020, pp. 1-4. doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240868.
3. Arduino Available at: <https://forum.arduino.ua> (accessed 15 July 2022). (Ukr.)
4. *Opis laboratornogo kompleksu GalSen EM1M-S-R* (Description of the laboratory complex GalSen EM1M-S-R) Available at: <http://www.galsen.ru/catalog/set/36/80/1154/> (accessed 15 July 2022). (Ukr.)
5. *Tipovii komplet navchal'nogo obladnannia «Elektrychni mashini», vikonannia stendo-ve komp'iuterne, EM-SK* (A typical set of educational equipment «Electric machines», desktop computer implementation, EM-SK) Available at: <https://standlab.com.ua/product/ntcz-06-23-elektrychni-mashyny-z-mps/> (accessed 30 July 2022). (Ukr.)
6. GEEKMATIC Available at: <https://geekmatic.in.ua/articles> (accessed 01 August 2022). (Ukr.)

Рецензент: О.С. Назарова
канд. техн. наук, доц., НУ «Запорізька політехніка»

Стаття надійшла 15.07.2022

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІБРИДНОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В УМОВАХ ТРИПРОВІДНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

У роботі проведено дослідження роботи гібридного компенсатора реактивної потужності в умовах трипровідної електричної мережі. До розгляду прийнята така структура компенсатора, до складу якої входить активна та пасивна частини, що з'єднані послідовно. Підключення пристрою до навантаження – паралельне. Розглянуто основні підходи до керування гібридним компенсатором реактивної потужності. Проведено математичне моделювання роботи гібридної системи у трипровідній електричній мережі у режимі компенсації реактивної потужності та у режимі забезпечення синусоїдності кривої струму мережі. Перевірено працездатність розробленої моделі в умовах несиметрії та несинусоїдності напруги живлення.

Ключові слова: активний фільтр, якість електроенергії, коефіцієнт спотворень синусоїдності, вищі гармоніки, компенсація, реактивна потужність, автономний інвертор напруги, батарея конденсаторів.

O.S. Savenko. Hybrid VAR compensator operating study under conditions of a three-wire network. The approaches to the control of the hybrid VAR compensator are considered. A hybrid VAR compensator is a passive and active compensator connected in series. The passive part is represented by a thyristor-switched capacitor bank. The power part of the active part is implemented on the basis of an autonomous voltage inverter, connected through a voltage transformer in series with a passive part. Most of the reactive power is compensated by means of the compensator's passive part. The hybrid compensator combines the advantages of passive (low price, reliability) and active compensators (possibility of smooth control of reactive power, operation in networks with non-sinusoidal currents). This configuration allows to significantly reduce the rated power of the active part, while maintaining the possibility of smooth control of the reactive power. Mathematical modeling of the hybrid system operation in a three-wire network is carried out. Two operating modes are checked: the reactive power compensation mode and the mode of providing the sinusoidal waveform of the network current. The first mode provides fundamental reactive power compensation only (the compensator current is sinusoidal, therefore, provides «insulation» of capacitor bank from higher harmonics) and the second mode provides limitedly non-active power compensation, including distortion power (overvoltages and exceeding the permissible currents of the capacitor bank are not allowed). When choosing a control strategy, the network configuration and the real requirements of power consumers for power quality indicators are taken into account. The efficiency of the proposed model under conditions of non-sinusoidal load current and unbalance of the main's voltage is provided.

Key words: active power filter, power quality, total harmonic distortion, higher harmonics, compensation, reactive power, autonomous voltage inverter, capacitor bank.

Постановка проблеми. Одним із поширених рішень проблеми компенсації реактивної потужності (РМ) є використання пасивних фільтро-компенсуючих пристроїв, а саме батарей конденсаторів (БК), що підключаються паралельно до навантажень. Оптимальними умовами роботи, за яких забезпечується стабільність та довговічність роботи конденсаторів, є робота в умовах

* канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-8108-2575, savenko.olja@gmail.com

синусоїдної форми кривої вхідної напруги. Однак реальні електричні мережі насичені струмами вищих гармонік, що викликано постійним збільшенням кількості нелінійних споживачів, вхідний струм яких має несинусоїдний характер [1]. Це призводить до спотворення форми кривої напруги живлення. При підключенні БК до джерела несинусоїдної напруги збільшується ймовірність виникнення резонансних перенапруг, а наявність складових неосновної частоти у спектрі струму може призвести до перегріву батарей за рахунок перевищення максимально допустимого струму. Все це суттєво позначається на термінах служби БК [2], що призводить до зниження ефективності роботи та погіршення техніко-економічних показників системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання нерегульованих БК є доцільним у тих випадках, коли зміна параметрів навантаження заздалегідь визначена. В електричних мережах з випадковим характером навантажень використання БК, ємність яких фіксована або змінюється за заздалегідь встановленим алгоритмом, призводить до режимів пере- або недокомпенсації. У таких випадках раціонально використовувати активні компенсатори РМ, а саме статичні компенсатори реактивної потужності (СТАТКОМ) або активні фільтри (АФ). Їх застосування дозволить регулювати величину споживаної/генерованої РМ в режимі реального часу. Але використання СТАТКОМів чи АФ не завжди є економічно обґрунтованим. Викликає інтерес використання гібридних систем, які є поєднанням БК і АФ, з'єднаних або послідовно, або паралельно.

Гібридний компенсатор реактивної потужності (ГКРП) представляє собою послідовно включену БК зі ступінчастим регулюванням і АФ. Застосування АФ дозволяє забезпечити плавне регулювання РП між ступенями БК. Силова частина АФ реалізована на базі автономного інвертора напруги [3], що включений через вольтододавальний трансформатор послідовно з БК (рис. 1). АФ дозволяє скоригувати величину реактивної потужності БК та дає можливість ізолювати БК від вищих гармонік напруги мережі, виконуючи роль вузькосмугового фільтра, налаштованого на частоту основної гармоніки.

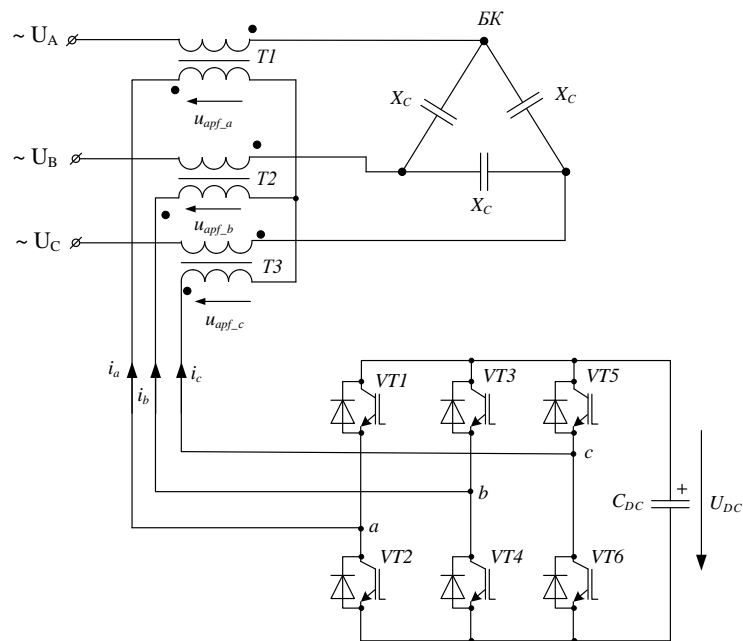


Рис. 1 – Схема силової частини ГКРП

ГКРП поєднує переваги пасивних (мала ціна, надійність) та активних компенсаторів (можливість плавного регулювання РП, робота в мережах з несинусоїдними струмами). Відмінною особливістю гібридних систем є те, що потужність АФ значно менша, ніж потужність всього компенсатора в цілому.

Можна виділити дві основні стратегії управління роботою гібридного компенсатора: 1) пристрій працює тільки в режимі компенсації реактивної потужності, струм компенсатора має синусоїдний характер, при цьому забезпечується «ізоляція» БК від вищих гармонік; 2) крім

компенсації реактивної складової виконується компенсація неактивних складових повної потужності навантаження. При виборі першого підходу до управління компенсатором використання ГКРП дозволяє плавно регулювати величину реактивної складової струму, що споживається/генерується навантаженням, при цьому спектр струму мережі буде містити всі вищі гармоніки струму навантаження. Другий підхід дає можливість мінімізувати рівень вищих гармонійних складових у спектрі струму мережі. При виборі стратегії управління береться до уваги конфігурація мережі та реальні вимоги електроприймачів до показників якості електроенергії.

Авторами [4-7] запропоновано топологію і систему управління ГКРП, проте у конфігурації фільтра використані нерегульовані БК встановленої потужності, що збільшує потужність активної частини, отже, погіршує техніко-економічні показники системи. У роботах [5-7] розглянуті системи управління компенсатором, які не передбачають роботу пристрою в умовах несиметрії напруги живлення, які можуть бути викликані нерівномірним розподілом навантажень по фазах, підключенням однофазних приймачів і неповнофазним режимом роботи елементів мережі.

Мета роботи – створення математичної моделі гібридного компенсатора реактивної потужності та перевірка її працездатності в умовах несинусоїдності та несиметрії напруги живлення в трипровідних електричних мережах; дослідження роботи компенсатора у двох режимах: компенсації реактивної потужності та компенсації неактивних складових повної потужності навантаження.

Виклад основного матеріалу. Для перевірки працездатності зазначених підходів до управління компенсатором виконано математичне моделювання. Як приклад було розглянуто роботу ГКРП у трипровідній електричній мережі.

Оцінюючи величини реактивної потужності автори керувалися стандартом IEEE 1459-2010. Існує кілька підходів до оцінки величини реактивної потужності в несинусоїдних умовах, що обумовлено відсутністю суворої методологічної бази для її розрахунку, і кожен підхід має свою сферу застосування [8]. Однак саме стандарт IEEE 1459-2010 використовується при розрахунку параметрів якості електроенергії та потужності у приладах обліку та контролю [9].

Відповідно до стандарту розрахунок реактивної потужності проводиться лише для частоти першої гармоніки f_1 :

$$Q = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1, \quad (1)$$

де U_1 та I_1 – перша гармонійна складова напруги та струму відповідно; φ_1 – зсув фаз між U_1 та I_1 .

При розробці математичної моделі пристрою при роботі в трипровідній мережі використано метод симетричних складових, що дозволяє застосовувати розроблену модель в умовах несиметричної напруги мережі. Пасивна частина компенсатора представлена трифазною БК із внутрішньою схемою з'єднання «трикутник», для спрощення розрахунку в процесі математичного моделювання був виконаний перехід до еквівалентної «зірки» (рис. 2).

Після виділення прямої послідовності струму навантаження I_{ps} та напруги мережі U_{ps} на основній частоті отримуємо вираз для розрахунку реактивної компоненти прямої послідовності струму навантаження:

$$I_q = \frac{\text{Im}(U_{pq} \cdot \overline{I_{pq}})}{|U_{pq}|}. \quad (2)$$

Ємність БК у кожній фазі для внутрішньої схеми з'єднання «трикутник»:

$$X_C = \frac{3 \cdot |U_{pq}|}{I_q}. \quad (3)$$

Вибір встановленої ємності ступеня здійснюється згідно з [10]. Падіння напруження на БК:

$$U_{CB_{pq}} = I_q \cdot \exp(j \cdot (\arg(U_{pq}) + 90^\circ)) \cdot (-j \cdot X_C / 3).$$

Величина ЕРС активного фільтра, яка вводиться для досягнення необхідного рівня реактивної потужності:

$$E_{AF_{pq}} = U_{pq} - U_{CB_{pq}}.$$

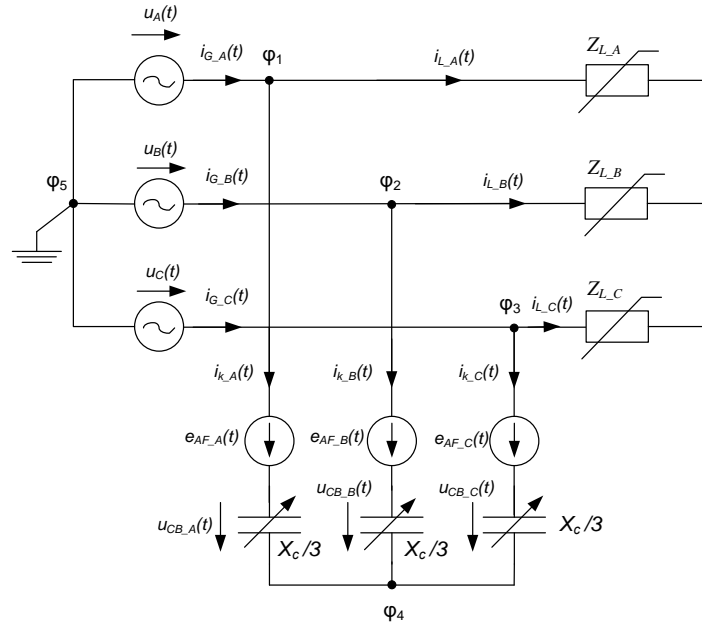


Рис. 2 – Схема заміщення ГКРП при підключенні у трипровідній мережі

При розрахунку параметрів фільтра для схеми заміщення зворотної послідовності в першу чергу виконується виділення зворотної послідовності струму навантаження I_{ns} та напруги мережі U_{ns} . Зворотна послідовність напруги на БК:

$$U_{CB_nq} = -I_{ns} \cdot (-j \cdot X_C / 3),$$

а ЕРС активного фільтра:

$$E_{AF_nq} = U_{nq} - U_{CB_nq}.$$

Перейдемо від розрахованих U_{CB} та E_{AF} прямої та зворотної послідовностей до фазних значень:

$$\begin{aligned} U_{CB_A} &= U_{CB_pq} + U_{CB_nq}; & U_{CB_B} &= \alpha^2 \cdot U_{CB_pq} + \alpha \cdot U_{CB_nq}; \\ U_{CB_C} &= \alpha \cdot U_{CB_pq} + \alpha^2 \cdot U_{CB_nq}, \\ E_{AF_A} &= E_{AF_pq} + E_{AF_nq}; & E_{AF_B} &= \alpha^2 \cdot E_{AF_pq} + \alpha \cdot E_{AF_nq}; \\ E_{AF_C} &= \alpha \cdot E_{AF_pq} + \alpha^2 \cdot E_{AF_nq}, \end{aligned}$$

де α – оператор трифазної системи.

Розрахуємо фазні струми компенсатора за методом вузлових потенціалів, при цьому потенціал вузла 5 φ_5 прийемо рівним нулю (вузли пронумеровані на рис. 2), а величини потенціалів інших вузлів розрахуємо:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= E_{I_A}; & \varphi_2 &= E_{I_B}, & \varphi_3 &= E_{I_C}, \\ \varphi_4 &= \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 - \frac{E_{AF_A} + E_{AF_B} + E_{AF_C}}{-j \cdot X_C / 3}}{3 / (-j \cdot X_C / 3)}. \end{aligned}$$

Фазні струми, що протікають через компенсатор:

$$\begin{aligned} I_{k_A} &= \frac{\varphi_1 - \varphi_4 - E_{AF_A}}{-j \cdot X_C / 3}; & I_{k_B} &= \frac{\varphi_2 - \varphi_4 - E_{AF_B}}{-j \cdot X_C / 3}; \\ I_{k_C} &= \frac{\varphi_3 - \varphi_4 - E_{AF_C}}{-j \cdot X_C / 3}. \end{aligned}$$

У ході виконання моделювання роботи запропонованої системи в якості вихідних даних були використані трифазна напруга мережі і струм навантаження, форми яких представлені на

рис. 3. Коефіцієнт спотворень синусоїдності кривої напруги THD_U становить 3%, кривої струму – $THD_I = 57\%$.

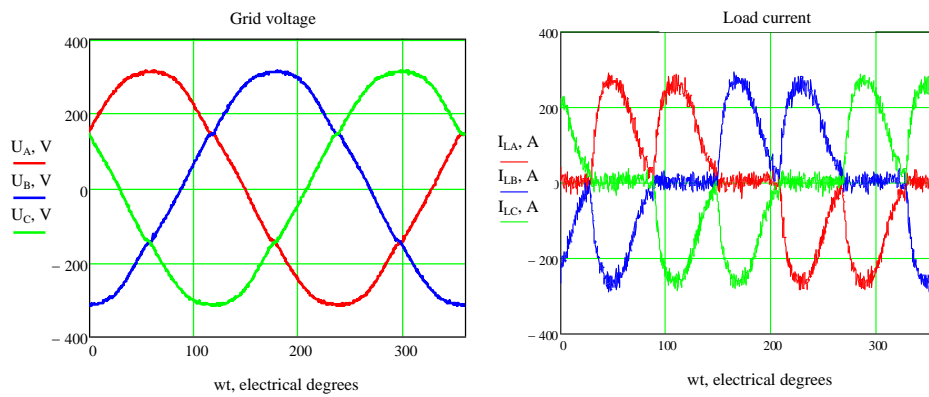


Рис. 3 – Форми кривих напруги мережі та струму навантаження

Електрична мережа розглянута як система нескінченної потужності. Активна потужність компенсатора P прийнята рівною 200 Вт. У таблиці представлені величини ємностей C ступенів БК.

Таблиця

Ємності ступенів батареї конденсаторів

Номер ступеня	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C , мкФ	150	183	223	273	333	406	496	605	738	900

Компенсація реактивної потужності.

У разі роботи пристрою в режимі компенсатора реактивної потужності струм мережі не містить реактивну компоненту, зсув фаз між струмом і напругою мережі дорівнює нулю, проте спектр мережного струму містить всі вищі гармоніки струму навантаження (рис. 4). Коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої струму мережі під час роботи у цьому режимі становить 90%.

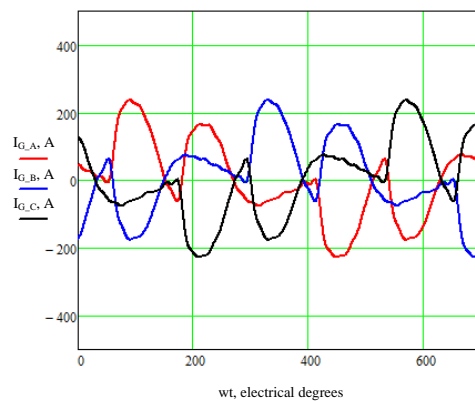


Рис. 4 – Результати математичного моделювання: струм мережі

Струм компенсатора, напруга на БК та ЕРС АФ носять синусоїдний характер, їх спектр включає лише першу гармоніку (рис. 5).

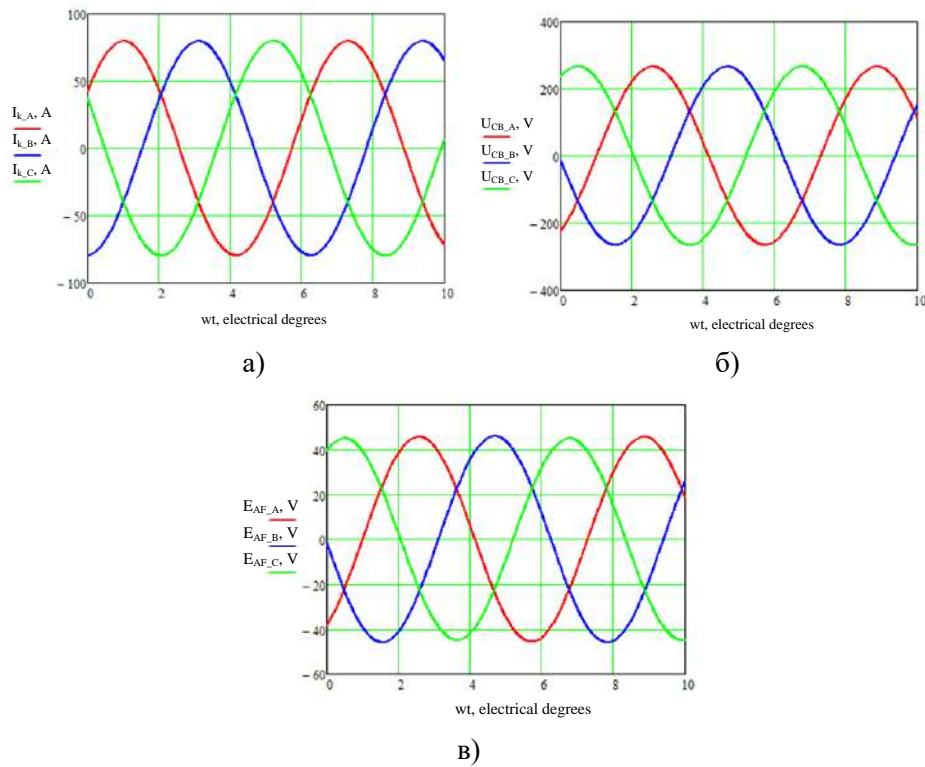


Рис. 5 – Результати математичного моделювання при виборі першої стратегії керування: а) – фазні струми, що протікають через компенсатор, б) – напруга на БК, в) – ЕРС активного фільтра

Таким чином, забезпечується компенсація реактивної потужності та «ізоляція» БК від вищих гармонік напруги.

Компенсація реактивної потужності та фільтрація вищих гармонік.

При роботі пристрою в зазначеному режимі струм компенсатора міститиме всі гармонійні складові нефундаментальної частоти, які включає спектр струму навантаження. У цьому випадку струм мережі має синусоїдний характер (рис. 6).

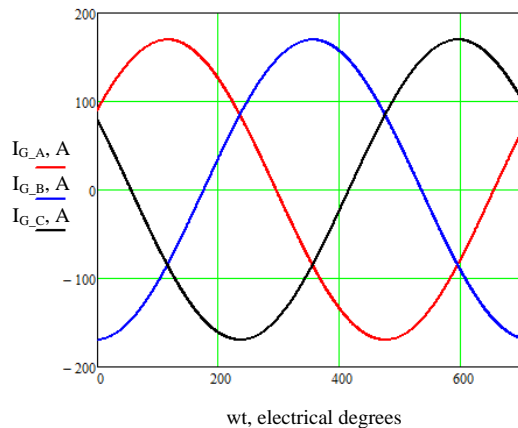


Рис. 6 – Результати математичного моделювання: струм мережі

Форми кривих струму компенсатора, напруги на БК та ЕРС АФ представлені на рис. 7.

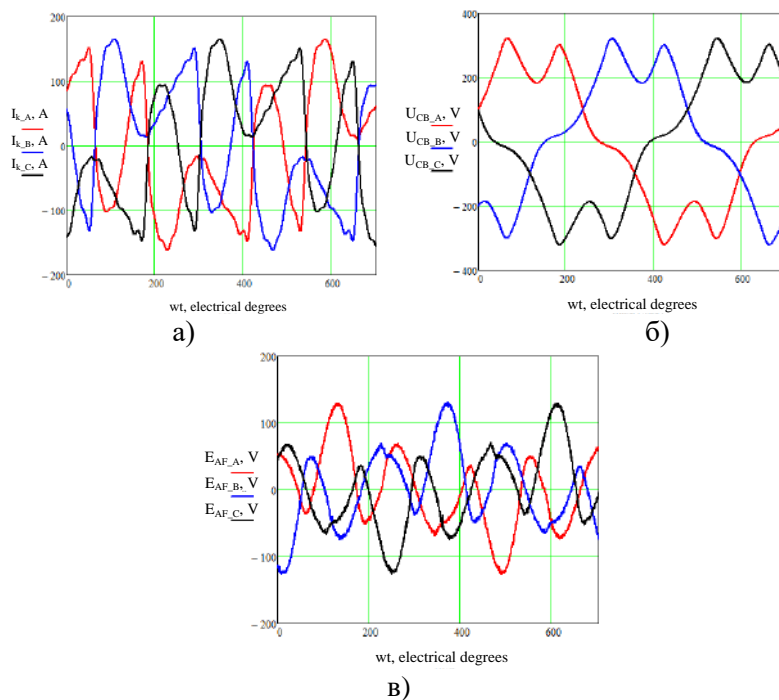


Рис. 7 – Результати математичного моделювання при виборі другої стратегії керування: а) – фазні струми, що протікають через компенсатор, б) – напруга на БК, в) – ЕРС активного фільтра

Розглянутий варіант роботи ГКРП забезпечує плавне регулювання реактивною потужністю компенсатора в умовах несиметричної трифазної мережі та синусоїдність кривої мережевого струму.

Висновки

Використання гібридної системи компенсації реактивної потужності дозволяє не тільки забезпечити плавне керування величиною РП і знизити потужність активної частини компенсатора, але і «ізолювати» пасивну частину пристрою від гармонійних вищих складових мережевої напруги. Доведено доцільність використання пристрою в трипровідних електричних мережах. Підтверджено ефективність роботи пристрою в умовах несинусоїдності і несиметрії напруги живлення.

Перелік використаних джерел:

1. Characteristics of modern nonlinear loads and their influence on systems with distributed generation / D. Shmilovitz, J. Duan, D. Czarkowski, Z. Zabar, S. Lee // International Journal of Energy Technology and Policy. – 2007. – Vol. 5, iss. 2. – Pp. 219-240. – Mode of access: <https://doi.org/10.1504/IJETP.2007.013033>.
2. Cavallini A. Probabilistic investigation of the life behavior of power capacitors operating under distorted supply voltage / A. Cavallini, G. Mazzanti, G.C. Montanari // Lifetime Data Analysis. – 1997. – Vol. 3. – Pp. 47-61. – Mode of access: <https://doi.org/10.1023/a:1009616218251>.
3. Поднебенна С.К. Підвищення енергоефективності електротехнічного комплексу «нелінійне навантаження – силовий активний фільтр» в електричних мережах 0,4 кВ : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Поднебенна Світлана Костянтинівна. – Донецьк, 2013. – 199 с.
4. Adaptive Notch Filter Applied to Hybrid Active Var Compensator under Nonsinusoidal and Unbalanced Conditions / S.C. Ferreira [et al.] // 2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. – 2013. – Pp. 2264-2269. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/ECCE.2013.6646989>.
5. A Hybrid Active Var Compensator (HAVarC) / C.H. da Silva, R.R. Pereira, L.E. Borges da Silva, G.L. Torres, R.B. Gonzatti // Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power – ICHQP 2010. – 2010. – Pp. 1-5. – Mode of access:

- <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2010.5625341>.
6. Herman L. Hybrid Active Filter for Power Factor Correction and Harmonics Elimination in Industrial Networks / L. Herman, I. Papič // 2011 IEEE Electrical Power and Energy Conference. – 2011. – Pp. 302-308. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/EPEC.2011.6070216>.
 7. Control strategies applied to an hybrid reactive power compensator to single and three phase systems / S.C. Ferreira, R.B. Gonzatti, C.H. da Silva, L.E. B. da Silva, G.L. Torres // Brazilian Power Electronics Conference. – 2013. – Pp. 1219-1225. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/COBEP.2013.6785271>.
 8. Balci M.E. A power resolution for nonsinusoidal and unbalanced systems – Part I: Literature overview and motivation / M.E. Balci, M.H. Hocaoglu // 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO). – 2011. – Pp. 168-173.
 9. IEEE Std 1459-2010. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. – 2010. – 40 p.
 10. Гибридный компенсатор реактивной мощности с плавным регулированием / В.В. Бурлака, С.В. Гулаков, С.К. Поднебенная, О.С. Савенко // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя, 2014. – Вип. 2. – С. 13-19.

References:

1. Shmilovitz D., Duan J., Czarkowski D., Zabar Z., Lee S. Characteristics of modern nonlinear loads and their influence on systems with distributed generation. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 2007, vol. 5, iss. 2, pp. 219-240. doi: **10.1504/IJETP.2007.013033**.
2. Cavallini A., Mazzanti G., Montanari G.C. Probabilistic investigation of the life behavior of power capacitors operating under distorted supply voltage. *Lifetime Data Analysis*, 1997, vol. 3, pp. 47-61. doi: **10.1023/a:1009616218251**.
3. Podnebnennaya S.K. *Pidvishchennia energoefektivnosti elektrotekhnichnogo kompleksu «neliniine navantazhennia – silovii aktivnii fil'tr» v elektrichnikh merezhakh 0,4 kV*. Diss. kand. techn. nauk [Improving the energy efficiency of the electrical complex «nonlinear load – power active filter» in electrical networks 0.4 kV. Cand. tech. sci. diss.]. Donetsk, 2013. 199 p. (Ukr.)
4. Ferreira S.C., Gonzatti R.B., Silva C.H., Silva L.E.B., Lambert-Torres G. Adaptive Notch Filter Applied to Hybrid Active Var Compensator under Nonsinusoidal and Unbalanced Conditions. 2013 *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 2013, pp. 2264-2269. doi: **10.1109/ECCE.2013.6646989**.
5. Da Silva C.H., Pereira R.R., da Silva L.E.B., Torres G.L., Gonzatti R.B. A Hybrid Active Var Compensator (HAVarC). *Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power – ICHQP 2010*, 2010, pp. 1-5. doi: **10.1109/ICHQP.2010.5625341**.
6. Herman L., Papič I. Hybrid Active Filter for Power Factor Correction and Harmonics Elimination in Industrial Networks, *2011 IEEE Electrical Power and Energy Conference*, 2011, pp. 302-308. doi: **10.1109/EPEC.2011.6070216**.
7. Ferreira S.C., Gonzatti R.B., da Silva C.H., da Silva L.E. B., Torres G.L. Control strategies applied to an hybrid reactive power compensator to single and three phase systems. *Brazilian Power Electronics Conference*, 2013, pp.1219-1225. doi: **10.1109/COBEP.2013.6785271**.
8. Balci M.E., Hocaoglu M.H. A power resolution for nonsinusoidal and unbalanced systems – Part I: Literature overview and motivation. *7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 2011, pp. 168-173.
9. IEEE Std 1459-2010. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, 2010. 40 p.
10. Burlaka V.V., Gulakov S.V., Podnebnennaya S.K., Savenko O.S. Gibrnidnyi kompensator reaktivnoi moshchnosti s plavnym regulirovaniem [Reactive power compensator with smooth control]. *El-ektrotekhnika ta elektroenergetika – Electrical Engineering and Power Engineering*, 2014, pp. 13-19. (Rus.)

Рецензент: В.В. Прус

д-р техн. наук, проф., КрНУ ім. Михайла Остроградського

Стаття надійшла 15.07.2022

151 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.89:656.11

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276240

© Волошин В.С.¹, Данилова Т.Г.²

ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ОПИСУ ТА УПРАВЛІННЯ ПОДІЄВИМИ РИЗИКАМИ

В основі роботи знаходиться положення про те, що імовірісно-статистичні методи оцінки ризиків у сучасній інженерії вже не відповідають потребам користувачів у різних галузях людської діяльності. У роботі показані можливості нейронних мереж як механізм прогнозування ризиків від небажаних подій у різних сферах застосування. Розроблено трисинапсну модель перцептрону прямого поширення для вирішення задачі про автомобільні транспортування легкозаймистих рідин, зокрема бензину, що є дуже актуальним для сучасного стану питання в Україні. Систематизовано попередні вагові коефіцієнти для кожної входної дії. Створені програмні продукти з використанням мови Python і додатків Keras, що дозволяють працювати з нейронними мережами такого роду. Показані результати «навчання» трисинапсної моделі для вирішення аналогічних завдань. На прикладі показано результати навчання нейронної мережі, зокрема, розраховано результуючі значення вагових коефіцієнтів. Показано роботу такої мережі. Методично відпрацьовано механізм прогнозування ризиків, пов'язаних з аваріями за деяких найбільш актуальних умов автоперевезень. Підсумком роботи моделі є уявлення про те, що в зазначений період транспортування бензину в автоцистерні заданої конфігурації з конкретним обсягом перевезення та заданим станом автошляхів, основний ризик, орієнтований на сукупність можливих подієвих факторів, пов'язаний з накопиченням електростатичних зарядів в результаті розгойдування системи в дорозі з наступним вибухом, наприклад, при зливі рідини у місці призначення. Причому такий ризик є однозначним і не залежить від стану інших параметрів системи. Результати аналізу підтверджуються практичними даними, а саме ризики, пов'язані з накопиченням статичної електрики, мають механізми нейтралізації ще до їх появи. Показано залежність обсягу накопичення електростатичних зарядів від тривалості транспортування рідини.

Ключові слова: ризик, подія, нейронна мережа, прогнозування ризику, автотранспортні перевезення.

V.S. Voloshyn, T.G. Danylova. Toolkit for description and management of event risks. The work is based on the proposition that the probabilistic-statistical methods of risk assessment in modern engineering no longer meet the needs of users in various fields of human activity. The paper shows the capabilities of neural networks as a mechanism for predicting risks from undesirable events in various fields of application. A three-synapse model of a direct propagation perceptron has been developed to solve the problem of automobile transportation of flammable liquids, in particular, gasoline, which is very relevant for the current state of the issue in Ukraine. A software product has been created using the Python language and Keras applications that allow to operate with neural networks of this kind. The results of «training» of the three-synapse model for solving similar problems

¹ д-р техн. наук, професор, voloshin@pstu.edu

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, daniлова_t_g@pstu.edu

in the field of transport are shown. Preliminary weight coefficients for each input action are systematized. The example shows the results of training a neural network, in particular, the resulting values of the weight coefficients are calculated. The operation of such a network is shown. A mechanism for predicting the risks associated with accidents in some of the most relevant conditions of road transportation has been methodically developed. The result of the model operation is the idea that during the specified time period of gasoline transportation in a tank truck of a given configuration with a specific volume of transportation and a given state of roads, the main risk, oriented to a set of possible event factors, is associated with the accumulation of electrostatic charges as a result of system swaying on the way, followed by explosion, for example, when liquid is drained at the destination. Moreover, such a risk is unambiguous and does not depend on the state of other system parameters. The results of the analysis are confirmed by practical data, namely, the risks associated with the accumulation of static electricity have neutralization mechanisms even before their accumulation. The dependence of the volume of accumulation of electrostatic charges on the duration of liquid transportation is shown.

Key words: risk, event, neural network, risk forecasting, motor transport.

Постановка проблеми. Останнім часом з'являється все більше публікацій, пов'язаних із незадоволеністю оцінки ризику імовірно-статистичними методами на користь так званого подієвого ризику [1-5]. Коли у основі предмета перебувають події, які реально призводять до критичних станів аналізованих систем.

Залишаючи право на ризик мати ймовірнісну характеристику, як кількісну, але постфактумну значущість, слід підкреслити важливу умову – прогнозованість ризику задля запобігання появі таких подій, що здається більш актуальним порівняно з його постфактумною кількісною оцінкою. Вирішення такої проблеми неможливо без іншого, альтернативного, варіанту логічного аналізу ризикуотворюючої системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Механізм оцінки ризиків поступово зміщується у бік математичної логіки. Подібний інструментарій передбачається, як зручніший та об'єктивніший, якщо перед дослідником ставиться завдання його оцінки не лише наступної за ризикотворчою подією, а й аналізу його наступу, а також попередження (профілактики) подійових ризиків. Подійні ризики є одним з джерел вирішення такої проблеми [6].

Сучасний спосіб реалізації альтернатив, логічних схем, представлених певними висловлюваннями, формалізованими для зручності застосування, представляє логіка нейронних мереж [7, 8]. Сенс їх застосування в теорії подійних ризиків зводиться до можливостей зіставлення смислових та формалізованих термінів (предикатів) та можливостей здійснювати деякі математичні дії над цими подіями. Нейронні мережі працюють за принципом логічної узгодженості між такими подіями в обсязі свого навчання і тому можуть бути дуже зручними для вирішення завдань про прогнозування ризиків як похідної від подійності в досліджуваній системі. Однак адаптація таких моделей дуже непростя для системи розпізнавання та прогнозування ризиків.

Мета роботи – показати можливості моделей нейронних мереж прямого поширення стосовно вирішення прикладних завдань, як інструментарій для прогнозування ризиків.

Виклад основного матеріалу. Кількість розроблених варіантів моделей нейронних мереж досить велика, тому їх можливості різноманітні. Розглянемо застосування нейронних мереж прямого поширення (Feed forward neural networks, FFNN) для вирішення типового завдання про ризики при автомобільних перевезеннях легкозаймистих рідин, на прикладі бензину.

Завдання формулюється в такий спосіб.

Умова задачі. Транспортування бензину в зимовий час автошляхами України. Тип бензовозу SF3340.4S_12. Об'єм палива, що перевозиться, – 40 м³. Час у дорозі $t_n \div t_0 = 12$ годин. Потрібно створити прогностичну модель аварійних ситуацій даної системи.

Фактори, що впливають на процеси ризикутворення на автодорогах у даному випадку, зводяться до наступних ($i = 1.1 \div 1.7, 2.1 \div 2.4, 3$; з них обліковими є фактори $i' \in i$) (табл. 1).

Таблиця 1

Систематизація факторів, що впливають на ризикутворення при перевезенні легкозаймистих рідин

№ п/п	Порядк. номер сигналу i	Назва предиката	Вхідний сигнал, x_i
1. Внутрішні фактори системи			
1	1.1	«співвідношення зовнішньої температури та температури спалаху рідини»	x_{11}
2	1.2	«температура нагріву автоцистерни»	x_{12}
3	1.3	«ступінь наповнення автоцистерни»	x_{13}
4	1.4	«іскроутворення в дорозі»	x_{14}
5	1.5	«статична електрика, що накопичується в автоцистернах при розгойдуванні рідини»	x_{15}
6	1.6	«вібрація, трясіння в технічній системі»	x_{16}
7	1.7	«несправність автоцистерни, її арматури та запірного обладнання»	x_{17}
2. Зовнішні чинники системи			
8	2.1	«стан автомагістралей»	x_{21}
9	2.2	«зовнішні механічні удари, деформація тіла цистерни»	x_{22}
10	2.3	«кліматичні фактори»	x_{23}
11	2.4	«фактори зовнішнього впливу»	x_{24}
3. Посидання зазначених та інших факторів			

Розроблено трисинапсну модель нейронної мережі (рис. 1), яка дозволить отримати відповідь на запитання: які із зазначених вище факторів можуть надавати вирішальний вплив для ризику при їзді пересіченою місцевістю з неякісним дорожнім покриттям. Основні параметри нейронної мережі представлені у табл. 2. Значення вагових коефіцієнтів для вхідних сигналів представлені в табл. 4.

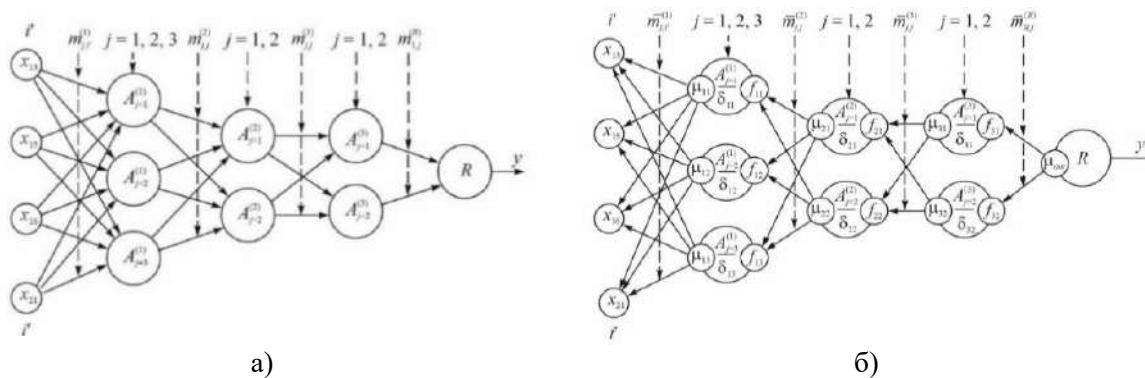


Рис. 1 – Трисинапсна модель нейронної мережі стосовно вирішення завдань про перевезення бензину (у параметрах див. табл. 2 і 3). Тут а) – модель прямої дії; б) – навчання (коригування вагових коефіцієнтів) моделі

Таблиця 2

Основні параметри нейронної мережі стосовно завдання транспортування бензину

Часовий інтервал	1.3		1.5		1.6		2.4		Вагові коефіцієнти синапсів			
	$x_{1.3}$	$m_{1.3}$	$x_{1.5}$	$m_{1.5}$	$x_{1.6}$	$m_{1.6}$	$x_{2.1}$	$m_{2.1}$	$m_{A1}^{(A)}$	$m_{A2}^{(A)}$	...	$m_{AA}^{(A)}$
t_H	1	0,4	1	1,25		1	0,90	0	1,45	...	...	...
Δt_1	-1	0,0	1	1,25		1	2,3	-1	0,55	...	...	...

Продовження таблиці 2

Часовий інтервал	1.3		1.5			1.6		2.4		Вагові коефіцієнти синапсів			
	$x_{1,3}$	$m_{1,3}$	$x_{1,5}$	$m_{1,5}$		$x_{1,6}$	$m_{1,6}$	$x_{2,1}$	$m_{2,1}$	$m_{A1}^{(A)}$	$m_{A2}^{(A)}$	...	$m_{AA}^{(A)}$
$\Delta\tau_2$	0	0,0	1	1,75		1	2,50	1	0,35	...	...	...	...
$\Delta\tau_3$	0	0,0	1	1,90		1	2,50	-1	0,0	...	...	...	...
t_0	0	0,0	1	2,50		1	3,15	0	0,0	...	...	...	...
Нормативні показники													
Логичний опис класу подій						Клас C_1 (істина)				Клас C_2 (брехня)			
Число заданих образів для кожного класу						$N = 5$							
Поріг активації						$h=4,0$							
Параметр зміщення лінії поділу						$b=3$							
Параметр очікуваного результату						$D=4$							
Крок збіжності алгоритму «back propagation»						$\lambda = 0,2$							
Задана пошукова помилка мережі						$\varepsilon=0,05$							

Таблиця 3

Наведені значення вагових коефіцієнтів для вхідних сигналів у задачі транспортування бензину

№ п/п	Назва параметра	Обозн.	Фізична розмірність $x_{...}$	Відносна розмірність
1	Іскроутворення в системі, x_{13} , %	m_{13}	75 ÷ 90	0,4
2	Поява статичн. заряду, x_{15} , А/с·м	m_{15}	0,0 ÷ 0,4	1,25
3	Вібрація, трясіння автомобіля, x_{16} , Гц	m_{16}	1 ÷ 36	0,9
4	Стан автомобіл. доріг, x_{21} , Δh , м	m_{21}	0,0 ÷ 0,4	1,45
5*	Температура повітря, °С	...	<0	0,001

*-температура повітря може бути одним із вхідних сигналів, який ми використовуємо у наших наступних розрахунках.

Для моделювання стану подій на кожному рівні активації скористаємося програмою APRS, записаною на Python. Результати кожного етапу активації представлені у табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунку трисинапсної нейронної мережі для моделі автоперевезень бензину ($t_H \div t_0 = 12$ ч.)

Активация $A^{(1)}$							Активация $A^{(2)}$					
Δt	C_1	C_2	Вагові коефіцієнти				Δt	C_1	C_2	Вагові коефіцієнти		
			$m_{13}^{A^{(1)}}$	$m_{15}^{A^{(1)}}$	$m_{16}^{A^{(1)}}$	$m_{21}^{A^{(1)}}$				$m_{A_{1,2}}^{A^{(1)}}$	$m_{A_{1,2}}^{A^{(2)}}$	$m_{A_{1,2}}^{A^{(3)}}$
t_H	+1	-1	0,4	1,25	0,9	1,45	t_H	+1	-1	0,55	0,40	1,75
$\Delta\tau_1$	+1	-1	0,45	1,10	1,0	1,55	$\Delta\tau_1$	+1	+1	0,70	2,10	1,05
$\Delta\tau_2$	+1	-1	0,33	1,90	0,5	1,50	$\Delta\tau_2$	+1	-1	0,75	2,10	1,55
t_0	+1	-1	0,25	0,55	0,4	1,75	t_0	+1	-1	0,25	2,85	1,40
$C_1\{x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{0\}$							$C_1\{x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{x_{13}\}$					
Активация $A^{(3)}$							Підсумовування R					
Δt	C_1	C_2	Вагові коефіцієнти		Δt	C_1	C_2	Вагові коефіцієнти				
			$m_{A_{1,2}}^{A^{(2)}}$	$m_{A_{1,2}}^{A^{(3)}}$				$m_{A_1}^R$	$m_{A_2}^R$			
t_H	-1	+1	0,25	2,85	t_H	+1	-1	1,20	2,45			
$\Delta\tau_1$	+1	-1	1,10	2,45	$\Delta\tau_1$	+1	-1	2,20	2,65			
$\Delta\tau_2$	+1	-1	1,55	2,25	$\Delta\tau_2$	+1	-1	2,55	1,95			
t_0	+1	-1	1,20	2,45	t_0	+1	-1	2,40	2,25			
$C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{21}\}$							$C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{0\}$					

З результатів розрахунку випливає, що після першої активації в $A^{(1)}$ – синапсі нейронної мережі всі чотири фактори залишилися активованими, як реальні в період часу $t_H \div t_0$. Тобто для них існують усі умови, які можуть призвести до аварійної ситуації. При другій активації $A^{(2)}$ ми отримали відмову в визнанні об'єктивним фактором x_{13} – «ступенем наповнення автоцистерни», який отримав ствердну оцінку класу C_2 (заперечення) в інтервалі часу $\tau_2 \div \tau_3$. Аналогічний результат щодо фактора x_{21} – «стан автомагістралей», ми отримали на третьому етапі активації $A^{(3)}$, коли в період $\tau_2 \div \tau_3$ програма відмовила в об'єктивності цьому фактору. Таким чином, підсумовуючі сигнали, які прийшли до реєстратора R, відносяться до параметрів x_{15}, x_{16} , тобто об'єктивно в період часу транспортування об'єму бензину 40 м^3 протягом часу $t_H \div t_0=12$ годин у зимовий період ми отримаємо аварійну ситуацію, при якій в результаті трясіння по поганій дорозі зростає роль накопичення статичного заряду в системі, яка не може бути нейтралізована захисним обладнанням і, при зливів бензину в стаціонарні резервуари, реальність спалаху парів бензину максимально висока.

Коригувальні розрахунки за ваговими коефіцієнтами за програмою навчання мережі ASAW дозволяють уточнити результат аналізу, жодним чином не впливаючи на образи достовірності вхідних сигналів (табл. 5).

Таблиця 5

Результати корекції вагових коефіцієнтів у трисинапсній нейронній мережі для моделі автоперевезень бензину взимку за 12 годин у дорозі

Коригування коефіцієнтів для суматора R					Коригування коефіцієнтів для синапсу $A^{(3)}$							
Δt	Клас подій		Вагові коефіцієнти		Δt	Клас подій		Вагові коефіцієнти				
	C_1	C_2	$\Delta m_{A_1}^{R(3)}$	$\Delta m_{A_2}^{R(3)}$		C_1	C_2	$\Delta m_{A_{1,2}}^{A_1^{(2)}}$ $A_{1,2}^{(3)}$	$\Delta m_{A_{1,2}}^{A_2^{(2)}}$ $A_{1,2}^{(3)}$			
t_H	+1	-1	-0,20	+1,77	t_H	-1	+1	-1,05	+2,22			
$\Delta\tau_1$	+1	-1	-0,55	-1,61	$\Delta\tau_1$	-1	+1	-0,24	+0,25			
$\Delta\tau_2$	+1	-1	+0,15	+0,23	$\Delta\tau_2$	-1	-1	-0,29	-1,05			
t_0	+1	-1	-1,35	+1,55	t_0	+1	-1	-0,35	-0,55			
Результат зустрічного розрахунку $C_1\{0\}; C_2\{x_{15}, x_{16}\}$					Результат зустрічного розрахунку $C_1\{x_{15}, x_{16}\}; C_2\{x_{21}\}$							
Коригування коефіцієнтів для синапсу $A^{(2)}$					Коригування коефіцієнтів для синапсу $A^{(1)}$							
Δt	Клас подій		Вагові коефіцієнти			Δt	Клас подій		Вагові коефіцієнти			
	C_1	C_2	$\Delta m_{A_{1,2}}^{A_1^{(1)}}$ $A_{1,2}^{(2)}$	$\Delta m_{A_{1,2}}^{A_2^{(1)}}$ $A_{1,2}^{(2)}$	$\Delta m_{A_{1,2}}^{A_3^{(1)}}$ $A_{1,2}^{(2)}$		C_1	C_2	$\Delta m_{14}^{A^{(1)}}$	$\Delta m_{15}^{A^{(1)}}$	$\Delta m_{16}^{A^{(1)}}$	$\Delta m_{21}^{A^{(1)}}$
t_H	-1	+1	-0,75	+0,12	-0,65	t_H	+1	-1	+0,25	-0,05	+0,15	-0,06
$\Delta\tau_1$	+1	-1	-0,21	+0,21	-0,73	$\Delta\tau_1$	+1	-1	-0,33	+0,12	-0,19	-0,12
$\Delta\tau_2$	+1	+1	-0,53	-1,32	-0,04	$\Delta\tau_2$	+1	-1	+0,93	-0,29	-0,31	+0,11
t_0	+1	-1	+1,31	-0,55	-0,27	t_0	+1	-1	-0,09	+0,45	-0,46	-0,25
Результат зустрічного розрахунку $C_1\{x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{x_{13}\}$					Результат зустрічного розрахунку $C_1\{x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{21}\}; C_2\{0\}$							

Розрахунки показали, що з усієї сукупності передбачуваних подій з вхідними сигналами $\{x_{13}, x_{15}, x_{16}, x_{21}\}$ реальну небезпеку представляє сукупність сигналів $\{x_{15}, x_{16}\}$, які на останньому етапі підсумовування дають однозначну відповідь у вигляді несуперечливого двовимірного симплекса « $C_1; C_2$ », де « C_1 » (+1) вказує на існування сполученої сукупності цих двох факторів, а « C_2 » (-1), вказує на відсутність заперечення такого поєднання подій. Це є умовою підтвердження події чи сукупності (див. табл. 3). При цьому контрольне накопичення електричних зарядів здійснюється практично протягом усього транспортного шляху в проміжку між t_H і t_0

(див. табл. 5). Тим не менш, уточнення вагових коефіцієнтів за програмою ASAW в межах 180% від вихідних даних показує уточнення, в якому фактор x_{16} перестає відігравати істотну роль на останніх етапах аналізу.

Таким чином, нейронна мережа видає нам уточнений результат вирішення шуканої задачі у вигляді наступного міркування:

- при транспортуванні бензину в автоцистерні типу SF3340.4S_12 з об'ємом палива, що перевозиться, 40 м³ по автодорозі з нерівним покриттям в зимовий час протягом 12 годин реальною є небезпека виникнення аварійної події, пов'язаної виключно з накопиченням статичної електрики, через вибух незалежно від інших вихідних даних. Можлива аварійна ситуація в період t_0 – початок зливу бензину.

Цікавий результат дає розрахунок можливостей для прояву аварійної ситуації під час транспортування бензину в залежності від тривалості поїздки з повною ємністю. Виконано розрахунки для параметра (t_n і t_0) відповідно 2 години, 3 години, 4 години, 5 годин, 5,5 годин, 6 годин, 9 годин, 12 годин.

Повна часова залежність системи представлена на рис. 2. Це пов'язані графіки залежностей образу « C_1 » та образу « C_2 » відповідно від інтервалу часу знаходження транспорту в дорозі за заданих зовнішніх умов. Звертає увагу інтервал знаходження в дорозі $4,0 \leq \Delta t \leq 5,5$ годин, для якого прийнятий алгоритм нейронної мережі не може достовірно визначити аварійну ситуацію, пов'язану з накопиченням статичної електрики в системі. Тут варіант образів « C_1 » (+1) та образів « C_2 »(+1), що дає результат «умов для підтвердження події немає». Цей інтервал може вважатися інтервалом невизначеності, поява якого залежить від вихідних нормативних параметрів, які закладаються в алгоритм розрахунку. Його мінімізація може бути досягнута лише підбором таких параметрів, як поріг активації (в даному випадку $h = 4,0$) у порівнянні з системою вхідних сигналів x_i та задана пошукова помилка (в даному випадку $\varepsilon = 0,05$) у діапазоні $0,01 \div 0,05$.

У цьому прикладі розмір цієї невизначеності залежить від завдання пошукової помилки в нейронній мережі в масштабі $\varepsilon = 0,05$. Нескладні розрахунки (рис. 2) показують, що за більш жорстких умов для допустимої пошукової помилки час невизначеності Δt знижується практично до нуля. Слід зазначити, що з інших зовнішніх умов завдання такі параметри можуть мати інші значення.

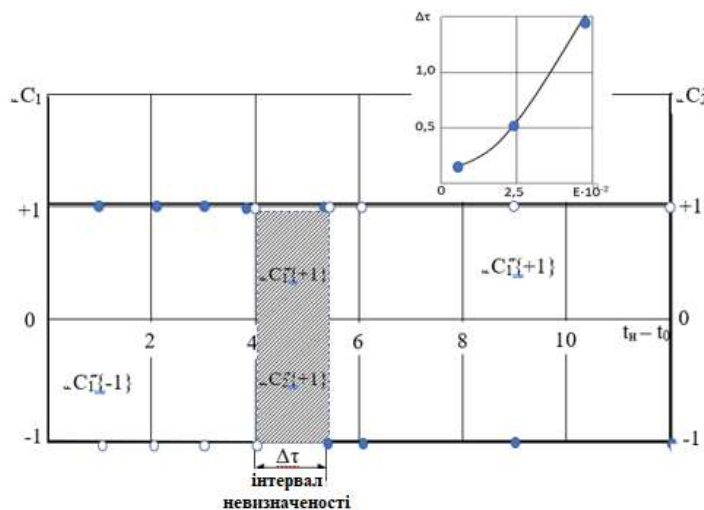


Рис. 2 – Взаємозв'язок появи подієвого ризику з можливими часовими інтервалами руху автотранспортного засобу, зокрема, залежно від необхідної точності результату

Виникає питання: чому такі аварії не трапляються в реальних умовах? Відповідь дуже проста. Тому що потенційний ризик, пов'язаний з накопиченням статичної електрики в системах транспортування легкозаймистих рідин, відомий давно. І давно відомі способи його запобігання, які активно застосовуються на практиці. Деякі з них такі:

- захисне заземлення автоцистерн та ємностей для зберігання бензину та безперервність електричного ланцюга з усіх електропровідних елементів автоперевізника під час перевезення та зливу рідини;

- застосування присадок для підвищення провідності нафтопродуктів при їх наливів, зливів та транспортуванні;

- нейтралізація зарядів статичної електрики у трубопроводах за допомогою електродів;

- застосування інертних газів, що перешкоджають накопиченню пари легкозаймистої рідини;

- запобіжні захисні заходи при зливів бензину в експлуатаційні ємності та ін.

Існування таких зовнішніх умов як додаткових вхідних сигналів (параметр x_{24}) може бути передбачено моделлю. У цьому ускладнюється її розрахунок, але підвищується точність прогнозу.

Висновки

Запропонована модель описує нестандартні умови для появи такої небезпеки в момент часу t_0 , але в залежності від зовнішніх параметрів, у тому числі, і від деяких поєднань із зазначених вище. Якщо хоча б один із перелічених вхідних параметрів з'являється під час експлуатації системи, то в момент часу t_0 це призводить до аварії. Крім того, модель показує тимчасові обмеження для такої системи: чим більший час у дорозі, чим інтенсивніший процес накопичення зарядів, тим небезпечніша система (див. рис. 2). Модель описує події у момент часу, що передують виникненню аварійної ситуації. Роль експлуатації полягає у попередній фіксації небезпечних вхідних сигналів у період, що передують часу t_0 , тим самим попереджаючи можливості появи аварії.

Перелік використаних джерел:

1. Демин В.Ф. Научно-методические аспекты оценки риска / В.Ф. Демин // Атомная энергия. – Том 86, вып. 1. – 1999. – С. 46-63.
2. Пампуро В.И. Методологические ограничения метода дерева событий / В.И. Пампуро // Доповіді Національної академії наук України. – 2008. – № 12. – С. 161-165.
3. Рудометкин С.В. Развитие механизмов риск-инжиниринга для укрепления экономической безопасности производственных предприятий: на материалах Ставропольского края : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Рудометкин Сергей Владимирович. – Ставрополь, 2012. – 167 с.
4. Beck U. Risk Society: Toward a New Modernity / U. Beck. – Sage Pubns Ltd, 1992. – 142 p.
5. Луман Н. Общество, интеракция, социальная солидарность / Н. Луман // Человек. – 1996. – № 3. – С. 152-167.
6. Zhao D. Method of risk evaluation of information security based on neural network / D. Zhao, J. Liu, Z. Zhang // IEEE international Conference on Machine Learning and Cybernetics. – 2009. – Vol. 1, № 6. – Pp. 1127-1132. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2009.5212464>.
7. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. – 1992. – 184 с. – Режим доступа: http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/NejpkomputernTechnikaUossermen1992.pdf.

References:

1. Demin V.F. Nauchno-metodicheskie aspekty otsenki riska [Scientific and methodological aspects of risk assessment]. *Atomnaia energiya – Atomic Energy*, 1999, iss. 86, vol. 1, pp. 46-63. (Rus.)
2. Pampuro V.I. Metodologicheskie ogranicheniia metoda dereva sobytii [Methodological limitations of the event tree method]. *Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukraini – Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2008, № 12, pp. 161-165. (Rus.)
3. Rudometkin S.V. *Razvitie mekhanizmov risk-inzhiniringa dlia ukrepleniia ekonomicheskoi bezopasnosti proizvodstvennykh predpriatii: na materialakh Stavropol'skogo kraia. Diss. kand. techn. nauk* [Development of risk engineering mechanisms to strengthen the economic security of manufacturing enterprises: based on the materials of the Stavropol Territory. Cand. econ. sci. diss.]. Stavropol, 2012. 167 p. (Rus.)
4. Beck U. Risk Society: Toward a New Modernity. Sage Pubns Ltd Publ., 1992. 142 p.
5. Luman N. Obshchestvo, interaktsiia, sotsial'naia solidarnost' [Society, interaction, social

- solidarity]. *Chelovek – Human*, 1996, № 3, pp. 152-167. (Rus.)
6. Zhao D., Liu J., Zhang Z. Method of risk evaluation of information security based on neural network. *IEEE international Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2009, vol. 1, № 6, pp. 1127-1132. doi: 10.1109/ICMLC.2009.5212464.
 7. Uossermen F. *Neirokomp'uternaia tekhnika: Teoriia i praktika* [Neurocomputer Engineering: Theory and Practice], 1992. 184 p. Available at: http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/NejpokomputernTechnikaUossermen1992.pdf (accessed 15 May 2022).

Рецензент: І.А. Ковалевський
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 21.09.2021

УДК 004.89

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276241

© Волошин В.С.¹, Кленін О.В.²

СПЕЦИФІКА ОЦІНКИ РИЗИКІВ В ПРОЕКТ-МЕНЕДЖМЕНТІ

*Робота присвячена питанням прогнозування ризиків в системах управління проектами. В якості варіанту, що враховує вплив суб'єктивних факторів при визначенні ризику в системах проект-менеджменту, пропонується використовувати аналітичні можливості нейронних мереж прямого поширення. Мережева модель, що створена, передбачає існування формули активації синапсів у вигляді біфуркаційних залежностей. Такий підхід, незважаючи на очевидні труднощі в навчанні такої нейронної мережі, дозволяє формалізувати її роботу в умовах невизначеності вхідних даних висловлювання для окремих нейронів. На прикладі системи управління проектами, для якої суб'єктивний фактор є очевидним як з боку виконавців проекту, так і з боку замовника, показані можливості таких моделей для аналізу можливих ризиків, пов'язаних як зі створенням, так і з реалізацією проектів. При цьому виключається ризик втрати будь-яких факторів в кінцевому результаті, що призводять до появи ризикоутворюючих подій або сценаріїв. Показано, як можна вручну піти від проблем з навчанням мережі нейронів передбачуваної конфігурації, пов'язаних з існуванням невизначеностей в системі. З обраних сценаріїв розвитку подій для реального управління проектами виділені ключові, в тому числі суб'єктивні, вхідні сигнали, які за допомогою роботи навчених прецептронів виділяються в реальні вихідні сигнали, що відображають систему ризиків в подібних проектах. Причому це здійснюється в узагальненому варіанті, без прив'язки до конкретних систем проектування. **Ключові слова:** ризик, прогнозування ризиків, подія, управління проектами, нейронна мережа, невизначеність, біфуркація.*

V.S. Voloshin, O.V. Klenin. Specificity of risk assessment in project management. *The work is devoted to the issues of risk forecasting in project management systems. The paper proposes to use the analytical capabilities of neural networks of direct propagation. This is an option that allows you to take into account the influence of subjective factors when determining risk in project management. The model of such a network makes it possible to use bifurcation dependencies as a formula for activating synapses. This approach has its difficulties in training a neural network. It allows you to formalize its work in conditions of uncertainty of input signals for individual neurons. A formula for taking into account*

¹ д-р техн. наук, професор, voloshin@pstu.edu

² д-р екон. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3146-4847, klenin_o_v@pstu.edu

bifurcation dependencies when using them in neural networks of direct propagation is proposed. The scope of application of such a dependence in the training models of the neural network of direct propagation is shown. This is shown on the example of a project management system, where both the contractor and the customer have a subjective factor. The possibilities of such models for analyzing possible risks both in the creation and in the implementation of projects are shown. At the same time, the risk of losing any factors from among those that lead to the emergence of risk-forming scenarios and events is excluded. This shows how easy it is to take into account the uncertainty in signal activation systems when training a neural network. Such an approach can make it possible to find solutions in a selected area for a wide range of similar problems. However, the requirement for network architecture can be problematic because of its individuality for each type of task. For the selected system, key scenarios have been identified, including subjective ones, which depend on the actual output functions allocated through the work of the trained perceptron. They reflect the risk system in such projects. And we do this in a generalized version, without specification for design systems. The proposed model of a direct propagation network can be extended and specified for a variety of tasks of this type, differing only in the meaning of input signals as logical statements. In this aspect, the material can be of a methodological nature and be applied not only in project management, but also in training systems.

Key words: risk, risk forecasting, event, project management, neural network, uncertainty, bifurcation.

Постановка проблеми. В проєкт-менеджменті, як ні в якій іншій сфері прогнозування, важливу роль відіграє суб'єктивний людський фактор, який часто превалює над суто технічним або іншим об'єктивним фактором [1-3]. Тому ризики, пов'язані з управлінням проєктами, як правило, з'являються суб'єктивно: або з вини замовника, або з вини виконавця. В результаті ризик тих чи інших дій важко запрограмувати, він нестійкий і підлягає, мабуть, тільки експертній оцінці. Проблема полягає в тому, що фактори, характерні для систем управління проєктами, що впливають на безпеку робіт, в тому числі і на етапах створення таких об'єктів, пов'язані з вирішенням завдань з невизначеністю вихідних даних. У теорії ризику такі проблеми ще не мають рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наскільки це актуально, показує досвід будівництва трьох енергоблоків АЕС «Олкілуото» (Фінляндія), в яких реальні ризики подальших аварій, якими прославилася ця станція, були допущені ще на стадії проєктування. Серед причин, що викликали наступні аварії, в термінах, прийнятих в даній роботі, – недостатній досвід компанії Areva в проєктуванні подібних об'єктів, недостатня підготовка персоналу, затяжні терміни виконання проєкту через неточність і недостатність вхідних даних, подальші проблеми з виправленням проєктних помилок, слабка комунікація з замовником STUK (Центр радіаційної безпеки Фінляндії – регулятор). В результаті до будівництва проєкт був готовий лише на чверть, було отримано не виправдане збільшення вартості замовлення в 3-3,5 рази. На стадії проєктування регулятор виявив понад 700 порушень правил безпеки. Своєчасне управління ризиками на етапі управління проєктами дозволило б заощадити уряду понад \$8 млрд [4].

Як один з варіантів вирішення цієї проблеми, а саме, використання глибоких нейронних мереж прямого поширення із попередньо заданими функціями активації [5-7], що здатні для аналізу ризиків в проєкт-менеджменті, з огляду на власну суб'єктивність, як правило, не призводить до результату через невизначеність вхідних сигналів та втрату з цієї причини працездатності окремих нейронів або їх зникнення в мережі, порушення роботи системи прогнозування загалом. Існуюча невизначеність не є характерною для механізмів роботи нейронів.

Мета роботи – показати можливості нейронних мереж для моделювання систем з невизначеним станом параметрів, для прогнозування ризиків, пов'язаних з роботою в управлінні проєктами.

Виклад основного матеріалу. З метою мінімізації втрат, пов'язаних з відсутністю врахування суб'єктивних факторів, пропонується використовувати в якості активаційної функції залежність біфуркаційного характеру (рис. 1, е), що виявляється у вигляді подвоєння облікового

періоду через невизначеність інтервалу $0 \leq x \leq a (= 1)$ для функції $f(x)$ в інтерпретації ReLU (див. рис. 1, г). Тут функція має мінімаксний характер, тобто $f(x) = \min \max(0, x)$. Функція ReLU з мінімаксним періодом раніше не розглядалася в літературі як неперспективна в нейронних мережах. Спробуємо застосувати саме її для аналізу ризиків в проект-менеджменті.

У завданнях подібного рівня пропонується використовувати в якості функції активації для всіх шарів активації, як можливо, функцію біфуркації типу

$$\begin{cases} -[f(x) - f(x + 1) + 1] = 0, \text{ якщо } x \leq a \\ -[f(x) - f(x + 1)] = 1, \text{ якщо } x \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Вона легко прораховується в ReLU за наступним правилом

$$\begin{cases} y = -[-1 - (-1 + 1)] = +1, \text{ при } x = -1 \\ y = -[0 - (0 + 1)] = +1, \text{ при } x = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} y = -[-1 - (-1 + 1) + 1] = 0, \text{ при } x = -1 \\ y = -[0 - (0 + 1) + 1] = 0, \text{ при } x = 0 \end{cases} \quad (3)$$

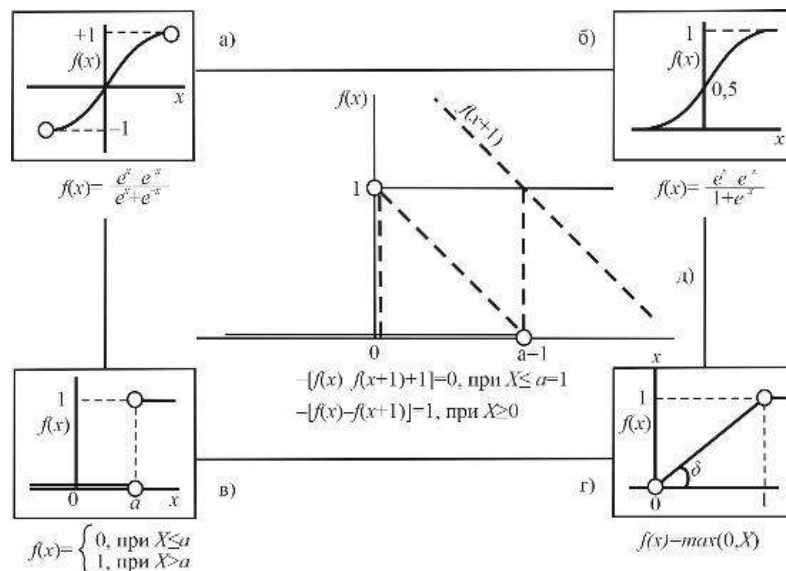


Рис. 1 – Варіанти активаційної функції в нейронах мережі, спрямовані на вирішення проблеми мінімізації управління ризиками при виконанні проектних завдань від замовника: а) – функція гіперболічної дотичної; б) – логістична функція; в) – порогова функція активації; г) – функція ReLU (Rectified Linear Unit); д) – функція активації з вмістом біфуркації

Подієвий ризик в проект-менеджменті включає в себе кілька загальноприйнятих образів, які відображають прогноз майбутнього результату – успішної здачі проекту замовнику. Найпоширеніші помилки в даному випадку, наприклад: затримка термінів реалізації проекту; перевитрата коштів на створення проекту; відомі помилки, які виявляються після закінчення проекту, на етапі його прив'язки і т. д., можуть бути легко виправлені в ході створення проекту або прийняті в якості непередбачених витрат на проектування.

Такі ризики іноді можуть бути формалізовані суто інтуїтивно зрозумілими способами, виходячи з досвіду самого керівника проекту, але це не виключає їх існування як невизначеності, так і їх негативного впливу на кінцевий результат. Тим більше, що приховані фактори ризику можуть спотворюватися з втратою контролю над ними.

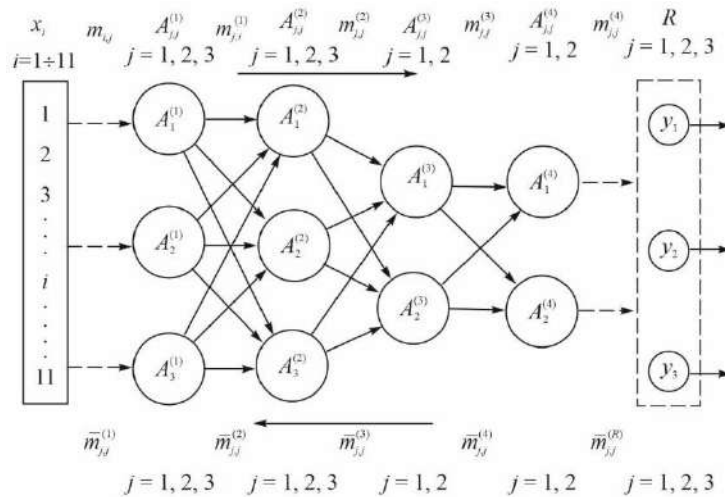


Рис. 2 – Неймережева архітектура для прогнозування ризиків в узагальненій системі проект-менеджменту

Запропонована архітектура нейронної мережі для прогнозування ризиків в системах проект-менеджменту передбачає наявність 10 нейронів внутрішніх шарів (рис. 2). Вхідних сигналів всього 11 (табл. 1). В якості функції виходу системи ми прийемо наступні зображення (коди ризику):

- y_1 - «ризик відсутності готового проекту»;
- y_2 - «ризик відстрочки підготовки проекту»;
- y_3 - "ризик невиконання вимог замовника",

які відображають певну послідовність подій, що призводять до провалу проекту в цілому, або реалізації проекту не в зазначені терміни, або відмови замовника прийняти готовий проект.

Архітектура передбачає послідовно чотири шари активації і, якщо перші два шари призначені для ширококугової фільтрації великої кількості вхідних сигналів і містять по три повно з'єднаних нейрони, то наступні два шари активації крок за кроком підтримують тільки виділені сигнали про образні події. Таким чином, модель дозволяє за умови локального навчання домогтися швидкого відображення кінцевого результату. Враховуючи, що модель містить три еквівалентні для аналізу виходи, важливим моментом такого аналізу є внутрішнє порівняння кожного з трьох результатів з подальшим виділенням того з них, який становить найбільш релевантний ризик для завдання.

Таблиця 1

Систематизація вхідних факторів, що впливають на формування ризиків при плануванні та реалізації проектів. Висловлювання та предикати

№№ п/п	Порядковий номер сигналу, i	Найменування твердження	Вхідний сигнал, (предикат x_i)
1. Фактори внутрішнього ризику			
1	1.1	Непередбачуване збільшення обсягів робіт над проектом	x_{11}
2	1.2	Низька продуктивність	x_{12}
3	1.3	Великі витрати на реалізацію проекту	x_{13}
4	1.4	Часовий дефіцит при створенні проекту	x_{14}
5	1.5	Брак ресурсів для реалізації проекту	x_{15}
6	1.6	Необґрунтовано відхилення від плану створення проекту	x_{16}
7	1.7	Зміни в робочих процесах під час створення проекту	x_{17}
8	1.8	Відсутність або брак конкретних умов для реалізації проекту	x_{18}

Продовження таблиці 1

№№ п/п	Порядковий номер сигналу, i	Найменування твердження	Вхідний сигнал, (предика- т x_i)
2.Фактори зовнішнього ризику			
9	2.1	Результат довільного впливу замовника проекту	x_{21}
10	2.2	Змінення вимог до проекту	x_{22}
11	2.3	Відсутність зовнішніх умов для роботи колективу	x_{23}

Кожне з цих тверджень може бути розгорнуто в свою систему більш конкретних причин, в залежності від того, яке завдання належить вирішити при прогнозуванні ризиків. Попередні дані (табл. 2) і порядок обчислення для навчання мережі представлені нижче.

Таблиця 2

Попередні дані для розрахунку нейронної мережі ризиків в системі управління проектами

Індикація вхідного сигналу i його початкового вагового коефіцієнта, $i = 1 \div 11$										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{21}	x_{22}	x_{23}
m_{11}	m_{12}	m_{13}	m_{14}	m_{15}	m_{16}	m_{17}	m_{18}	m_{21}	m_{22}	m_{23}
45,1	9,7	64,5	12,4	1,73	0,45	23,6	5,4	54,1	16,1	0,33
Нормативні показники										
Кількість вхідних сигналів								11		
Кількість вихідних функцій								3		
Кількість спостережень								256		
Логічний опис класу подій						Клас C^1 (истина)		Клас C^2 (ложь)		
- ризик відсутності готового проекту, y_1						C_1^1		C_1^2		
- ризик затягування з підготовкою проекту, y_2						C_2^1		C_2^2		
- ризик невиконання вимог замовника, y_3						C_3^1		C_3^2		
Кількість образів, що є заданими для кожного класу						$N = 6$				
Поріг активації						$h=12,0$				
Параметр зміщення лінії розділу						$b=0,7$				
Параметр очікуваного результату						$D=4$				
Крок збіжності алгоритму «back propagation»						$\lambda = 0,0001$				
Указана помилка пошуку в мережі						$\varepsilon=0,05$				

Надалі для реалізації моделі нейронної мережі прямого поширення для задачі прогнозування ризиків в проект-менеджменті ми будемо використовувати можливості відкритої бібліотеки програм з надбудовою Keras, інтерфейс якої, наприклад, на TensorFlow в модульному варіанті можна отримати за допомогою мови Python для роботи з глибокими нейронними мережами прямого поширення.

Підсумкові вагові коефіцієнти для навчання нейронної мережі представлені в таблиці 3. Графічне відображення моделі нейронної мережі в остаточному варіанті представлено на рис. 2. Для такої графової моделі $G(G^0, G')$ вершини графа є вхідними сигналами нейронної мережі $G^0 = \{x_i, y_i\} j = 11, 12, \dots, 18, 21, \dots, 23 i = 1, 2, 3$. Ребра графа відповідають уточненим ваговим коефіцієнтам $G' = \{\bar{m}_j\}$ в їх інтерпретації умовних символів (див. табл. 3). Таким чином, графотворююча модель містить лише послідовність вхідних сигналів і вихідних функцій системи, упускаючи її синапсу частину, яка відповідає за якість навчання і інформативність результатів.

Таблиця 3

Начальні та уточнені вагові коефіцієнти вхідних і внутрішніх сигналів для нейронної моделі запобігання ризикам в проект-менеджменті

<i>j</i>	Input1	Input2	Input3	Input4	Input5	Input6	Input7	Input8	Input9	Input10	Input11	De-sired1
0	45,1	9,7	64,5	12,4	1,73	0,45	23,6	5,4	54,1	16,1	0,33	0
16	0,005	9,5	64,5	11,5	0,95	0,00025	24,4	0,0003	0,0015	0,0005	0,25	«1»
Пряме розповсюдження												
Синапс A¹									Синапс A³			
$m_{11}^{(1)}$	$m_{12}^{(1)}$	$m_{13}^{(1)}$	$m_{21}^{(1)}$	$m_{22}^{(1)}$	$m_{23}^{(1)}$	$m_{31}^{(1)}$	$m_{32}^{(1)}$	$m_{33}^{(1)}$	$m_{11}^{(3)}$	$m_{12}^{(3)}$	$m_{21}^{(3)}$	$m_{22}^{(3)}$
6,54	2,11	0,49	7,71	4,32	1,01	0,79	0,34	7,55	0,64	5,41	2,45	1,19
Синапс A²						Сумматор R						
$m_{11}^{(2)}$	$m_{12}^{(2)}$	$m_{21}^{(2)}$	$m_{22}^{(2)}$	$m_{31}^{(2)}$	$m_{32}^{(2)}$	$m_{11}^{(R)}$	$m_{12}^{(R)}$	$m_{13}^{(R)}$	$m_{21}^{(R)}$	$m_{22}^{(R)}$	$m_{23}^{(R)}$	
1,75	3,04	2,71	0,54	0,77	4,01	28,5	33,11	41,6	25,0	0,007	12,1	
Навчання мережі (корегування коефіцієнтів)												
Сумматор R						Синапс 3						
$\bar{m}_{11}^{(R)}$	$\bar{m}_{12}^{(R)}$	$\bar{m}_{21}^{(R)}$	$\bar{m}_{22}^{(R)}$	$\bar{m}_{31}^{(R)}$	$\bar{m}_{32}^{(R)}$	$\bar{m}_{11}^{(3)}$	$\bar{m}_{12}^{(3)}$	$\bar{m}_{13}^{(3)}$	$\bar{m}_{21}^{(3)}$	$\bar{m}_{22}^{(3)}$	$\bar{m}_{23}^{(3)}$	
28,5	33,11	41,6	25,0	0,77	12,1	21,32	0,09	13,14	9,75	0,88	1,11	
Синапс A⁴				Синапс A²								
$\bar{m}_{11}^{(4)}$	$\bar{m}_{12}^{(4)}$	$\bar{m}_{21}^{(4)}$	$\bar{m}_{22}^{(4)}$	$\bar{m}_{11}^{(2)}$	$\bar{m}_{12}^{(2)}$	$\bar{m}_{13}^{(2)}$	$\bar{m}_{21}^{(2)}$	$\bar{m}_{22}^{(2)}$	$\bar{m}_{23}^{(2)}$	$\bar{m}_{31}^{(2)}$	$\bar{m}_{32}^{(2)}$	$\bar{m}_{33}^{(2)}$
0,34	0,77	1,13	2,02	34,11	0,25	31,74	2,55	22,77	4,57	4,82	2,21	0,29
Синапс A¹												
De-sired(x)	\bar{m}_{11}	\bar{m}_{12}	\bar{m}_{13}	\bar{m}_{14}	\bar{m}_{15}	\bar{m}_{16}	\bar{m}_{17}	\bar{m}_{18}	\bar{m}_{21}	\bar{m}_{22}	\bar{m}_{23}	
«1»	-	9,5	64,5	11,5	0,95	-	24,4	-	-	-	0,25	
±Δ, %	-	-2,1	0,0	-7,8	-185,0	-	+3,3	-	-	-	-32,0	

Точність навчання для такої мережі не перевищує 2%. Це пов'язано з невизначеностями в деяких вхідних сигналах. При цьому мережа практично не реагує на зміну вагових коефіцієнтів для таких сигналів, а їх розмірність прагне до нуля і після 14-15-го ступеня навчання, як правило, не визначається. Слід розуміти, що такі висловлювання і відповідні їм предикати в даному випадку це:

- x_{11} – «Непередбачуване збільшення обсягів робіт над проектом»;
- x_{16} – «Необґрунтований відхід від плану створення проекту»;
- x_{18} – «Відсутність чи недолік конкретних умов для реалізації проекту»;
- x_{21} – «Результат впливу замовника проекту»;
- x_{22} – «Змінити вимоги до проекту»,

не дозволяють проект-менеджменту об'єктивно прогнозувати ризики в таких системах.

Використання такої нейронної мережі дозволяє розглядати як мінімум шість з одинадцяти заявлених в системі вхідних сигналів як реальний вплив на формування ризиків в системі управління проектами. П'ять інших вхідних сигналів показали невизначеність свого впливу на можливі ризики в системі.

З шести, що залишилися в процесі навчання, істотні зміни ступеня впливу на систему отримали входи, закодовані як $x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}$, а саме:

x_{12} – «низька продуктивність» $m_{12} = 9,5$. Ставлення до вихідного параметра y_2 – «ризик затримки з підготовкою проекту» в співвідношенні приблизно 1:1;

x_{13} – «великі витрати на реалізацію проекту» $m_{13} = 64,5$. Ставлення до вихідного параметра y_2 – «ризик відстрочки підготовки проекту» в співвідношенні 1:1;

x_{14} – «тимчасовий дефіцит при створенні проекту» $m_{14} = 11,5$. Відношення до вихідного параметра y_3 – «ризик невиконання вимог замовника» в співвідношенні приблизно 1:1;

x_{17} – «зміни робочих процесів при створенні проекту» $m_{17} = 24,4$. Співвідношення до початкового параметра y_2 – «ризик відстрочки підготовки проекту» в співвідношенні становить приблизно 1:1.

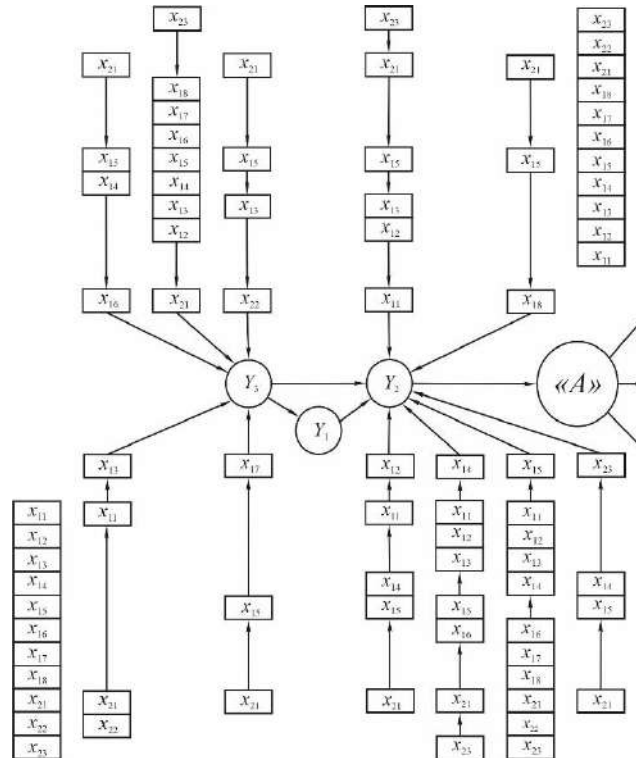


Рис. 3 – Графоутворююче відображення моделі нейронної мережі для прогнозування ризиків в проект-менеджменті (вагові коефіцієнти представлені в табл. 3)

Два інших предикати після навчання істотно змінили свої вагові коефіцієнти, що свідчить про зміну їх інформаційної складової в системі.

У свою чергу, наприклад, параметр x_{15} розпадається в співвідношенні критерію впливу α для наступних факторів:

- низька якість вихідної документації (рівень участі $\alpha = 0,28$);
- незаплановані прогули членів команди. Дезорганізація праці ($\alpha = 0,07$);
- відсутність надійних орієнтирів ($\alpha = 0,25$);
- помилковість інженерних та інших технічних рішень ($\alpha = 0,13$);
- відсутність знань про проект. Низька доступність даних ($\alpha = 0,20$);
- недостатня компетентність окремих членів колективу ($\alpha = 0,07$).

Найбільш стабільним виявилось значення вагового коефіцієнту для вхідного параметра (3), а саме x_{13} – «Високі витрати на реалізацію проекту», для якого уточнене значення дорівнює $\bar{m}_3 = m_{13} = 64,5$. Цей вхідний сигнал має наступну інтерпретацію:

- зміна пріоритетів, концепції проекту, кількості завдань ($\alpha = 0,43$);
- переробка окремих об'єктів проекту ($\alpha = 0,35$);
- примусове збільшення фахівців в колективі ($\alpha = 0,05$);
- помилковість інженерних та інших технічних рішень, які, будучи запрограмованими на початковому етапі, призводять до остаточних втрат ($\alpha = 0,17$).

У процесі навчання нейронної мережі показано, що найбільш реалістичним в прогнозуванні є ризик y_2 – «ризик затягування підготовки проекту», точність якого при тестуванні становила майже 2/3 від одиниці (табл. 4). Це дуже близько до 67% точності, заявленої в аналітиці. З огляду на те, що на вході в систему є сигнали з високим ступенем невизначеності, це дуже якісний результат на даному етапі навчання мережі.

Таблиця 4

Таблиця ітерацій в системі навчання і тестування моделі на заявленому рівні точності
(Ассурасу: 0,67)

№№ п/п	Крок навчання	Порядок вихідного сигналу			Фактична точність на етапі навчання та тестування	
		«0»	«1»	«2»	навчання, %	тестування, %
1	0	1.	0.	0.	11,98	24,55
2	1	1.	0.	0.	22,65	33,11
3	2	1.	0.	0.	28,01	41,62
4	3	1.	0.	0.	19,88	24,13
Ранг вихідної події		y ₁ - «ризик відсутності готового проєкту»			28,01	41,62
5	4	0.	0.	1.	51,88	44,95
6	5	0.	0.	1.	44,92	11,08
7	6	0.	0.	1.	33,11	42,36
8	7	0.	0.	1.	59,32	55,19
9	8	0.	0.	1.	33,45	52,69
Ранг вихідної події		y ₃ - «ризик невиконання вимог замовника»			59,32	55,19
10	9	0.	1.	0.	34,57	48,21
11	10	0.	1.	0.	62,09	66,11
12	11	0.	1.	0.	66,74	59,09
13	12	0.	1.	0.	66,11	64,56
Ранг вихідної події		y ₂ – «ризик відтермінування підготовки проєкту»			66,11	64,56

Висновки

Якщо зібрати воедино всі результати, отримані від застосування моделі нейронної мережі прямого поширення для прогнозування ризиків в проєкт-менеджменті, то можна отримати кілька висновків, які, вочевидь, допоможуть керівникам проєктів уникнути суб'єктивних помилок, які приводять до можливих ризиків і проблемних подій в процесі реалізації проєкту. З упевненістю близько 66% і при заданій точності навчання нейромережевої моделі оцінки ризиків в проєкт-менеджменті в якості основного результату може бути показано наступне:

1. Найбільш актуальним в проєкт-менеджменті є ризик, пов'язаний із затримками в підготовці проєкту – y₂. Основними причинами, що призводять до такого результату, є: зміна пріоритетів, концепції проєкту, кількості завдань (вартість участі $\alpha = 0,43$), а також вимушені переробки окремих об'єктів в проєкті ($\alpha = 0,35$).

2. Як результат нестачі ресурсів для здійснення проєкту, існує ризик невиконання завдання проєкту в повному обсязі, недотримання термінів і низької якості проєкту.

3. З виникаючих причин відхилення від планових показників існує реальний ризик невиконання вимог замовника.

4. Якщо не створені умови для виконання робіт, це в рівній мірі тягне за собою виникнення ризиків, пов'язаних з:

- відсутністю готового проєкту в строк (низька вартість ризику);
- тимчасова затримка завершення проєкту (висока вартість ризику);
- невиконання вимог замовника (висока вартість ризику).

5. Такі фактори, як

- непередбачуване збільшення обсягів робіт над проєктом;
- розумний відхід від плану створення проєкту;
- відсутність або нестача конкретних умов для реалізації проєкту;
- результат спонтанного впливу замовника проєкту;
- зміна вимог до проєкту,

як правило, враховуються як мінімально значущі в моделях нейронних мереж і окремо від такого завдання вимагають інших механізмів аналізу. Але при цьому мінімальне значення виступає в якості форми обліку таких сигналів.

Перелік використаних джерел:

1. Фідінг П.Дж. Як керувати проектами / П.Дж. Фідінг. – К. : Фабула, 2012. – 240 с.
2. Руководство к своду знаний по управлению проектами. Руководство PMBOK. – 6-е изд. – 2018. – 726 с.
3. Хігні Дж. Основи управління проектами / Дж. Хігні. – К. : Фабула, 2020. – 272 с.
4. Finland cancels Olkiluoto 4 nuclear reactor - is the EPR finished? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://theecologist.org/2015/may/15/finland-cancels-olkiluoto-4-nuclear-reactor-epr-finished>.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – 2-е изд., испр. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
6. Жернова П.Є. Ядерна нечітка кластеризація потоків даних на основі ансамблю нейронних мереж / П.Є. Жернова, Є.В. Бодянський // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 4(6). – С. 42-49. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.042>.
7. Розробка методу класифікації режимів роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі нейромережових технологій / Ю.М. Шмельов, С.І. Владов, О.Ф. Кришан, С.Д. Гвоздзік, Л.І. Чижова // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 4(6). – С. 93-102. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.6.093>.

References:

1. Feeding P.J. *Iak keruvati proektami* [How to manage projects]. Kyiv, Fabula Publ., 2012. 240 p. (Ukr.)
2. *Rukovodstvo k svodu znanii po upravleniiu proektami. Rukovodstvo PMBOK* [Guide to the body of knowledge on project management. PMBOK Guide]. 2018. 726 p. (Rus.)
3. Khigni Dzh. *Osnovi upravlinnia proektami* [Basics of project management]. Kyiv, Fabula Publ., 2020. 272 p. (Ukr.)
4. Finland cancels Olkiluoto 4 nuclear reactor - is the EPR finished? Available at: www.theecologist.org/2015/may/15/finland-cancels-olkiluoto-4-nuclear-reactor-epr-finished (accessed 15 June 2022).
5. Khaikin S. *Neironnye seti: polnyi kurs* [Neural networks: full course]. Moscow, ООО «I.D. Vil'iams» Publ., 2006. 1104 p. (Rus.)
6. Zhernova P., Bodyanskiy Y. *Iaderna nechitka klasterizatsiia potokiv danikh na osnovi ansambliu neironnikh merezh* [Kernel fuzzy clustering of data streams based on the ensemble of neural networks]. *Suchasnii stan naukovikh doslidzhen' ta tekhnologii v promislovosti – Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2018, № 4(6), pp. 42-49. doi: 10.30837/2522-9818.2018.6.042.
7. Shmelov Y., Vladov S., Kryshan O., Gvozdik S., Chyzhova L. *Rozrobka metodu klasifikatsii rezhimiv roboti aviatsiinogo dviguna TV3-117 na osnovi neiromerezhevikh tekhnologii* [Research of classification method of TV3-117 engine rating operations based on neural network technologies]. *Suchasnii stan naukovikh doslidzhen' ta tekhnologii v promislovosti – Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2018, № 4(6), pp. 93-102. doi: 10.30837/2522-9818.2018.6.093.

Рецензент: І.А. Ковалевський
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 21.09.2021

183 ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 504.75.06

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276242

© Назюта Л.Ю.¹, Степаненко Д.В.²

НА ШЛЯХУ ДО ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ. ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ. КЛІМАТИЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ ООН

В роботі розглянуто причини та наслідки зміни клімату на планеті Земля. У тому числі глобальне потепління та необхідність переходу на альтернативні джерела енергії, а також декарбонізація різних галузей виробництва. Показано, що основними причинами глобального потепління є діяльність людини та використання як енергоносіїв викопних видів палива. Зниження емісії парникових газів тісно пов'язане з проблемами зміни структури енергетики практично всіх країн світу. Перераховані міжнародні організації, які займаються проблемами клімату та моніторингом зміни температури та вмісту в атмосфері планети парникових газів. Проаналізовано роботу цих організацій на базі кліматичних конференцій ООН у період 1992 по 2022 рік щодо вироблення рішень, спрямованих на декарбонізацію основних галузей виробництва та насамперед енергетики. Показано, що Паризька угода – ключовий елемент багатостороннього кліматичного процесу. Це перший в історії юридично обов'язковий документ, який об'єднує країни у прагненні досягти спільної мети щодо боротьби зі зміною клімату та адаптації до нього. На COP-26 у 2021 року було підписано кліматичний пакет, у якому підтверджено головну мету – стримати глобальне потепління лише на рівні 1,5°C. Було дано багато обіцянок щодо використання нових технологій та відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності старого обладнання. За прогнозами вчених у найближче десятиліття кліматичні зміни наростатимуть у всіх регіонах планети. Викиди парникових газів у результаті діяльності людства були і залишаються основними причинами глобального потепління. Однак після початку війни в Україні багато з того, на що раніше погоджувалися більшість країн, стало нездійснено. Війна змінила політичні та економічні перспективи, загострилася світова інфляція. Настала енергетична криза. На думку експертів IPCC, 2022 став роком застою і відходу від раніше обраних позицій. Показано, що війна може змусити деякі країни задуматися про енергетичну самодостатність та економію енергетичних ресурсів. Ці питання обговорювалися на кліматичній конференції COP-27 у Єгипті. Серед розглянутих на COP-27 питань головною стала декарбонізація енергосистеми.

Ключові слова: клімат, екологія, глобальне потепління, енергетична криза, парникові гази, емісія, паливо, Паризька угода, Кіотський протокол, декарбонізація, кліматичні конференції ООН.

L. Nazyuta, D. Stepanenko. On the way to decarbonization of the world economy. Global warming. UN climate conferences. The paper considers the causes and consequences of climate change on planet Earth. Including global warming and the need to switch to alternative energy sources, as well as the decarbonization of various industries. It is shown that the main causes of global warming are human activities and the use of fossil fuels as energy carriers. The reduction of greenhouse gas emissions is closely related to the problems of

¹ д-р техн. наук, професор, nazutaludmila3@gmail.com

² аспірант, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, danikstepanenko.95@gmail.com

changing the structure of the energy sector in almost all countries of the world. Listed are international organizations that deal with climate problems and monitor changes in temperature and the content of greenhouse gases in the atmosphere of the planet. The work of these organizations based on UN climate conferences in the period 1992 to 2022 to develop solutions aimed at the decarbonization of the main industries and, above all, energy is analyzed. It is shown that the Paris Agreement is a key element of the multilateral climate process. It is the first ever legally binding document that unites countries in the pursuit of a common goal of combating and adapting to climate change. At COP-26 in 2021, a climate package was signed, which confirmed the main goal of limiting global warming to only 1.5°C. Many promises have been made regarding the use of new technologies and renewable energy sources, improving the energy efficiency of old equipment. According to scientists' forecasts, climate changes will increase in all regions of the planet in the coming decade. Emissions of greenhouse gases as a result of human activity were and remain the main causes of global warming. However, after the start of the war in Ukraine, much of what most countries previously agreed to became unfeasible. The war changed the political and economic outlook, and global inflation escalated. The energy crisis has arrived. According to IPCC experts, 2022 has become a year of stagnation and a departure from previously chosen positions. It is shown that war can make some countries think about energy self-sufficiency and saving energy resources. These issues were discussed at the climate conference COP-27 in Egypt. Among the issues discussed at COP-27, the main one was the decarbonization of the energy system.

Key words: climate, ecology, global warming, energy crisis, greenhouse gases, emission, fuel, Paris Agreement, Kyoto Protocol, decarbonization, UN climate conferences.

Постановка проблеми. Глобальне потепління. Основними проблемами сучасності вважають різку зміну клімату планети (глобальне потепління) та дефіцит енергоносіїв (енергетичні кризи). Зміна клімату, спричинена діяльністю людини, вже сьогодні призводить до численних випадків екстремальної погоди у всіх регіонах планети. Понад те, за даними вчених, змінюється вся кліматична система Землі. Ці зміни позначаються на стані атмосфери, океанів, льодових покривів і Землі. Багато з цих змін безпрецедентні, а деякі тенденції – наприклад, зростання рівня океану – у найближчі століття або навіть тисячоліття неможливо повернути назад [1-5].

На рис. 1 за даними національного управління з авіації та дослідження космічного простору (NASA) показано динаміку нагрівання поверхні землі за період 1880-2020 років. Після досягнення пікових результатів потепління у 2016 році, коли середня температура по планеті була на 1°C вищою, ніж у середньому у 1951-1980 роках, цей показник дещо знизився.

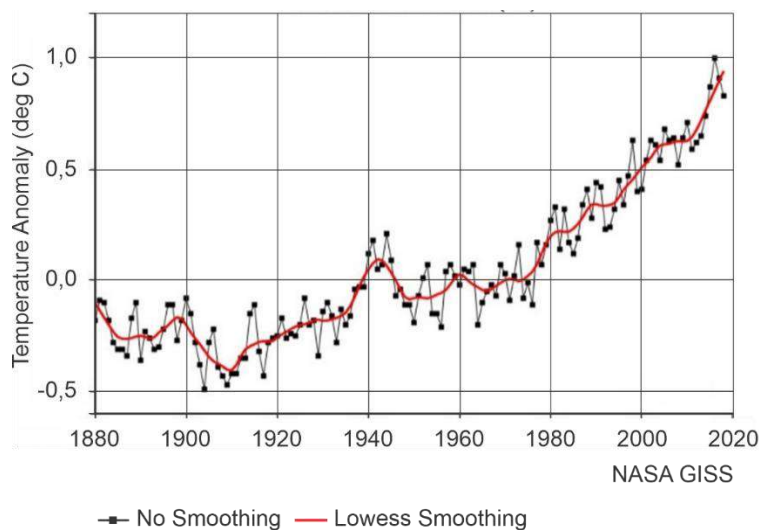


Рис. 1 – Середньорічні зміни температури поверхні землі (щодо 1951-1980 рр.). Інфографіка за даними NASA [5]

Під глобальним потеплінням розуміють довгострокові зміни температури планети. Вони можуть бути природними. Однак основним фактором є діяльність людини, у тому числі використання копалин видів палива (вугілля, нафти, газу), в результаті спалювання якого утворюються парникові гази, що накопичуються в атмосфері планети, з високою прозорістю у видимому діапазоні і високим поглинанням в середньому і далекому інфрачервоному діапазоні. До парникових газів відносяться водяна пара H_2O , вуглекислий газ CO_2 , оксид азоту N_2O , метан CH_4 , гексофторид сірки та галогенорганічні сполуки. Вклад основних парникових газів у глобальне потепління – вуглекислий газ (76%), метан (16%), оксид азоту (6,2%). Основною рушійною силою глобального потепління вважаються накопичення в атмосфері діоксиду вуглецю [6-8].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Моніторингом емісії та складом парникових газів займається Всесвітня метеорологічна організація з парникових газів (World Meteorological Organization, WMO). Організація заснована у 1950 році зі штаб-квартирою в Женеві (Швейцарія).

За даними WMO, рівень концентрації в атмосфері парникових газів постійно зростає. За статистикою викиди діоксиду вуглецю у світі в 2018 році склали 34,04, а 2021 році – 36,7 млрд. тон. На сьогодні немає жодних ознак того, що процес їх накопичення сповільнюється. З таким рівнем вмісту в атмосфері діоксиду вуглецю Земля зіткнулася 5 млн років тому. Тоді температура планети була на 2-3° С більше, а рівень океану на 10-20 метрів вищий. При цьому 2022 був найспекотнішим за останні 500 років [7].

Водночас, на думку фахівців, можна суттєво скоротити викиди в атмосферу шкідливих речовин, у тому числі парникових газів. А також у короткі терміни значно покращити якість повітря та стабілізувати глобальну температуру за рахунок скорочення витрати основних емітентів парникових газів – природних енергоносіїв та декарбонізації основних галузей виробництва.

Динаміка емісії парникових газів за даними WMO представлена на рис. 2 [9].

Annual CO_2 emissions

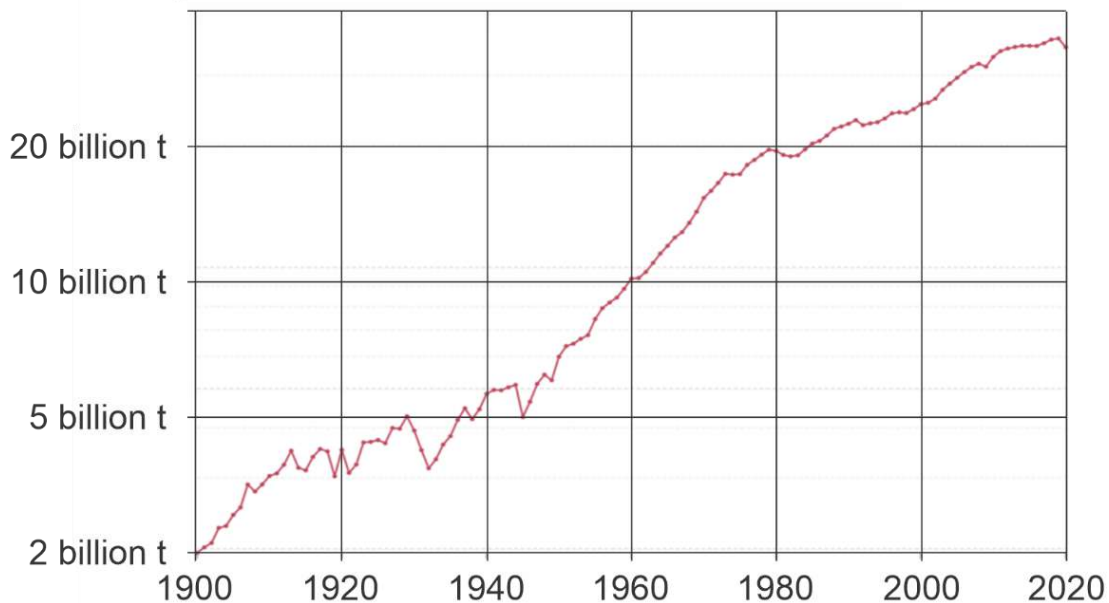


Рис. 2 – Динаміка емісії діоксиду вуглецю за даними Global Carbon Project [9]

На рис. 3, за даними Міжнародного енергетичного агентства (Energy Information Administration, EIA) [10], показано динаміку використання природних енергоносіїв за аналогічний період часу. Як впливає з аналізу наведених даних, швидкість їх наростання збігається.

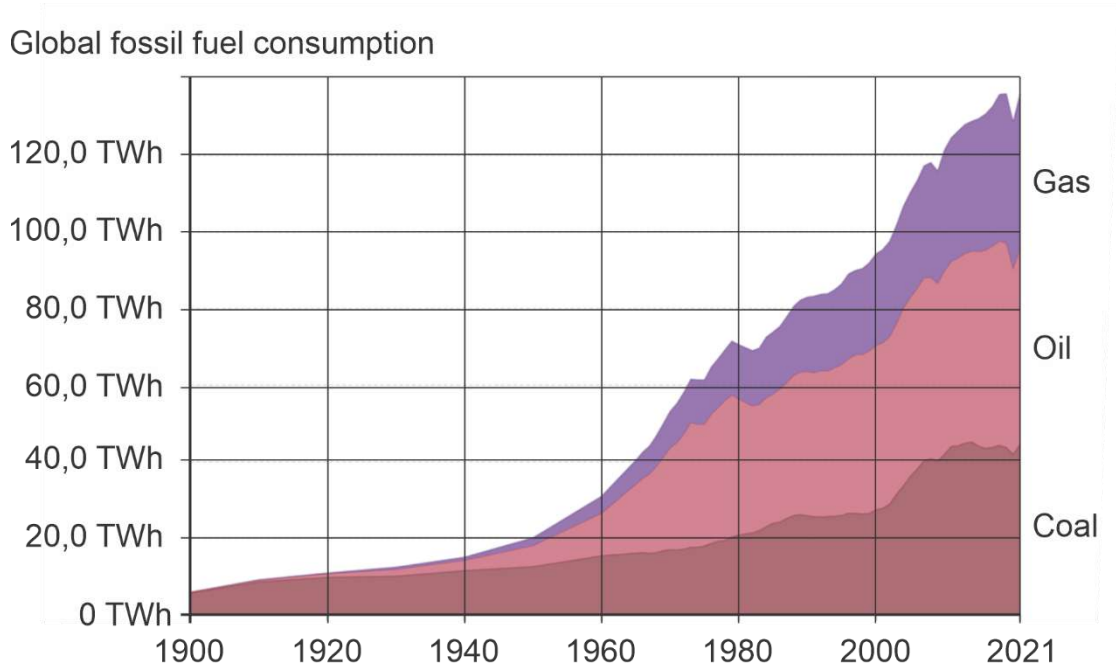


Рис. 3 – Глобальне споживання копалин енергоносіїв за даними British Petroleum (BP) Statistical Review of World Energy [10]

Декарбонізація – це перехід від викопних вуглеводнів на відновлювані джерела енергії з меншими викидами вуглекислого газу, а також запровадження енергозберігаючих технологій із меншою витратою енергоносіїв. При цьому слід зазначити, що за даними WMO в атмосфері залишається приблизно половина всього обсягу CO₂, що виділяється в результаті діяльності людини [8].

Проблемами глобального потепління займаються провідні інститути та науковці всіх країн світу. Серед них найбільш компетентними вважають організації під егідою ООН, які постійно працюють: міждержавна група експертів зі зміни клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)), створена для оцінки ризику зміни клімату, а також саміти та кліматичні конференції (COP), що проводяться періодично в різних країнах. Для вирішення економічних питань у боротьбі зі зміною клімату у 1991 році було створено Глобальний економічний фонд (Global Environment Facility, GEF) – незалежний міжнародний фінансовий орган, діяльність якого реалізується під егідою ООН та Світового банку (The World Bank, WB) – міжнародна фінансова організація зі штаб квартирою у Вашингтоні, яка надає державам кредити, безвідсоткові позики та гранти. Створений у 1944 році з метою організації фінансової та технічної допомоги країнам, що розвиваються. Він працює у партнерстві з міжнародними неурядовими організаціями [11]. У статті використано дані з офіційних джерел зазначених організацій та їх партнерів.

Мета роботи – розглянути причини та наслідки зміни клімату на планеті та показати зусилля світової спільноти у досягненні консенсусу у боротьбі з глобальним потеплінням. Стаття може бути корисною студентам за спеціальностями теплотехніка, теплоенергетика та екологія навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу.

Кліматичні конференції ООН. Кліматичні конференції ООН з клімату COP (Conference of Partners) вперше проведено у 1992 році. Це зустрічі на найвищому рівні, де представники 197 країн підписують початкові угоди (рамкові), а також обговорюють умови та дії, необхідні для запобігання глобальній кліматичній кризі. Розглядають перелік країн, які взяли на себе зобов'язання щодо їх зниження [11].

З того часу представники країн усього світу зустрічаються щороку, щоб обговорити проблеми глобального потепління. Більшість кліматичних самітів закінчувалися без будь-яких амбітних угод, але на кількох з них було досягнуто історичних результатів та невдач.

На третій конференції в Кіото в 1997 після напружених переговорів був прийнятий знаменитий Кіотський протокол [12-13]. Набрал чинності в грудні 2005 року та встановив обов'язкові цільові показники викидів парникових газів (Greenhousegases, GEI) для 37 промислово розвинених країн. Проте, США та Китай не ратифікували цей документ. Ключовим рішенням протоколу стало створення механізму контролю та торгівлі квотами на викид парникових газів у перерахунку на діоксид вуглецю. Кожній країні встановлюється квота на емісію. Для цього створено систему моніторингу та реєстр викидів парникових газів. Міжнародний журнал моніторингу знаходиться в Німеччині-Бонні. Ті країни, у яких обсяг викидів нижче за встановлений рівень, можуть передати їх зниження іншим країнам.

Згідно з Кіотським протоколом, розвинені країни мають скоротити викиди парникових газів на 5% порівняно з рівнем 1990 року в період з 2008 (рік набрання протоколом чинності) по 2012 рік. На жаль, механізм торгівлі квотами остаточно був реалізований і залишився лише з папері [13-14].

На четвертій конференції в Аргентині у 1998 році спільно зі Всесвітньою метеорологічною організацією (WMO) затвердили міжнародну групу експертів зі зміни клімату *IPCC*. Місце перебування – Париж. Вона має збирати та систематизувати дані щодо викидів парникових газів, а також розробляти методику розрахунку та кадастри для окремих регіонів. Завдяки їх діяльності всі країни можуть скористатися цією інформацією на сайті WMO. Як фінансовий механізм діяльності цієї групи виступає Глобальний екологічний фонд (*Global Environment Facility, GEF*) [15]. Він має фінансувати розробку систем обліку викидів парникових газів та проекти з адаптації промислової діяльності до нових кліматичних умов.

На сьомій конференції в Марокко в 2001 році основну увагу приділили зобов'язанням сторін щодо скорочення викидів парникових газів у перерахунку на діоксид вуглецю, а також виділення фінансування країнам, що розвиваються. Вперше розглянули технології використання вугільного палива як основного джерела викидів парникових газів [16].

На шістнадцятій конференції в Мексичі (Канкун) у листопаді-грудні 2010 року було створено Зелений кліматичний фонд – сто мільярдів доларів щорічно, починаючи з 2020 року, та тридцять мільярдів на період 2010-2020 років. Фонд створений для боротьби бідних країн із глобальним потеплінням. Запропоновано три джерела його формування, у тому числі добровільні відрахування від фізичних осіб та корпорацій, а також внески у розмірі 0,2% від держав великої двадцятки G20 [17]. Канкунська угода спрямована на велику прозорість та міжнародний аналіз звітності країн, що розвиваються, щодо реалізації міжнародних проектів, спрямованих на компенсацію збитків від зміни клімату.

Паризька угода – ключовий елемент багатостороннього кліматичного процесу. Це перший в історії юридично обов'язковий документ, який об'єднує країни у прагненні досягти спільної мети щодо боротьби зі зміною клімату та адаптації до нього. Його було прийнято 196 Сторонами на 21-й сесії Конференції Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (КС-21 РКЗК ООН) 12 грудня 2015 року в Парижі. Набуття чинності Угоди відбулося 4 листопада 2016 року [18-21].

Паризька угода стала першим глобальним договором в історії організації, в якому підписанти зобов'язалися з 2020 року регулювати обсяги викидів діоксиду вуглецю (CO₂) в атмосферу. Країни-учасники погодились, що основною причиною потепління є діяльність людини. Усі учасники зобов'язалися робити свій внесок у скорочення викидів парникових газів, щоб обмежити зміну клімату.

Головною метою Паризької угоди є обмеження темпів зростання середньої температури на планеті – хоча б до 1,5° С до кінця нинішнього століття за рахунок скорочення викидів парникових газів, викликаних використанням викопних видів палива, які виділяють в атмосферу діоксид вуглецю. На думку експертів, цей показник є порогом, за яким підвищення температури на планеті може вплинути на всі світові екосистеми.

Для виконання цієї стратегічної мети країни повинні прагнути максимально швидкого проходження піку глобальної емісії парникових газів і побудови кліматично нейтрального світу до середини XXI століття.

Прийнявши Паризьку угоду щодо клімату, його учасники домовилися кожні п'ять років оновлювати свої плани щодо досягнення закріпленої в цьому документі мети щодо скорочення емісії парникових газів. Органам з організації міжнародних переговорів щодо клімату (UN Climate Chang) доручено узгоджувати плани учасників.

Здійснення Паризької угоди вимагає економічної та соціальної трансформації на базі найкращих наявних наукових даних. Угода передбачає п'ятирічний цикл нарощування країнами технологічних рішень щодо боротьби зі зміною клімату. З метою досягнення довгострокової мети Угода закликає країни розробити та направити до 2020 року до Секретаріату ООН із клімату довгострокові стратегії розвитку з низьким рівнем викидів парникових газів. Слід зазначити, що для країн, що розвиваються, підготовка Стратегій не є зобов'язанням Сторін, але є основою для надання підтримки країнам, які потребують фінансової та технологічної допомоги.

Паризька угода підкреслює, що розвинені країни повинні відігравати провідну роль у мобілізації фінансових засобів для підтримки більш уразливих держав. Інші країни також закликають надавати відповідну фінансову допомогу. Фінансування необхідне для пом'якшення наслідків зміни клімату, оскільки для суттєвого зниження емісії необхідні масштабні інвестиції. Слід зазначити, що погодившись виділити до 2000 року сто мільярдів доларів на екологічні проекти, деякі країни, зокрема Китай та Індія, ці зобов'язання не виконали. У 2019 року сума інвестицій становила близько вісімдесяти мільярдів доларів.

Кліматична конференція ООН – COP-25 з питання глобального потепління проходила в Мадрид в грудні 2019 року [22-24]. Понад 60 країн, у тому числі країни ЄС та Великобританія, зобов'язалися дійти повної вуглецевої нейтральності до 2050 року.

На рис. 4 надано структуру глобальних викидів діоксиду вуглецю в розрізі емітентів за даними WMO [25]. Основними емітентами парникових газів є Китай, США та Індія. У 2020 році їхня частка в загальній емісії становила 31,14 і 7%, відповідно.

Під вуглецевою нейтральністю мається на увазі, що викиди діоксиду вуглецю тотально скорочуватимуться або повністю компенсуватимуться продуцентами.

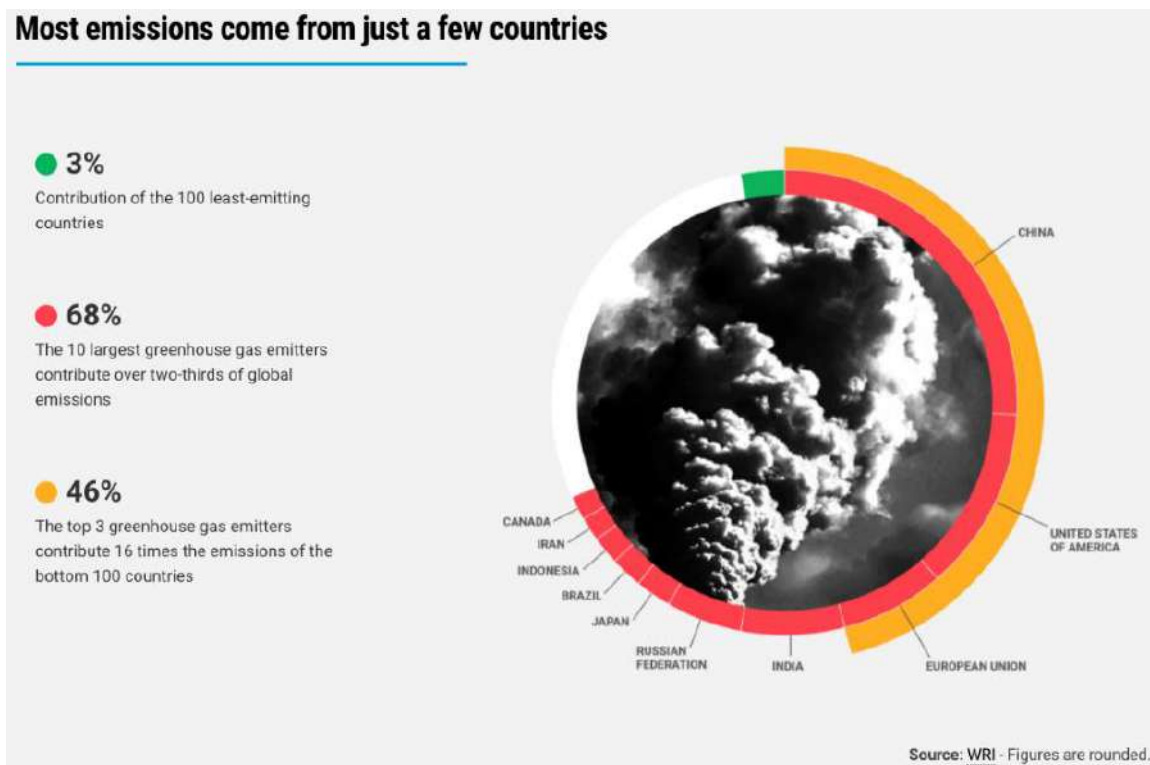


Рис. 4 – Структура глобальних викидів діоксиду вуглецю у розрізі емітентів у 2019 році за даними WMO [25]

Вуглецева «нейтральність» або «нульовий рівень» викидів вуглекислого газу зовсім не означає їх повну відсутність. Ці терміни говорять про те, що обсяги емісії парникових газів не перевищують його обсягів, що поглинаються океанами та лісами. У 2019 році 66 країн взяли на себе зобов'язання щодо скорочення емісії до нульового рівня. Серед них – США, ЄС,

Великобританія. Нині цю угоду підписали майже всі країни Групи великої двадцятки – G20, куди припадає 80% всіх викидів парникових газів.

На цій конференції не змогли домовитися та підписати угоду про ринок квот на викиди в атмосферу парникових газів. При цьому слід зазначити, що такі країни як США, Китай та Індія, які є головними джерелами викидів, під планами досягнення вуглецевої нейтральності не підписалися. Втім, були деякі європейські країни, які пообіцяли повністю відмовитися від викидів CO₂ у стисліші терміни. У період конференції відбувся багатотисячний мітинг екологічних активістів, на якому була присутня шведська школярка – еко-активістка Грета Тунберг.

Кліматична конференція ООН COP-26 відбулася у жовтні-листопаді 2021 року у Глазго (Великобританія) [26-27]. Загалом у Глазго зібралися понад сто світових лідерів.

Напередодні саміту з клімату, що відбувся в Глазго, була опублікована доповідь комісії ООН, в якій представники 66 країн та 234 експерти чітко сформулювали картину сьогодення та майбутнього клімату планети [28].

За прогнозами вчених у найближче десятиліття кліматичні зміни наростатимуть у всіх регіонах планети. При глобальному потеплінні на 2°C постраждають передусім сільське господарство та охорона здоров'я. У звіті зазначається, що викиди парникових газів у результаті діяльності людства були і залишаються основними причинами глобального потепління. Однак у змозі людства обмежити масштабні зміни клімату.

Як зазначається у звіті, у період з 1850 по 1900 роки викиди парникових газів внаслідок діяльності людини були основною причиною потепління глобального клімату приблизно на 1,1°C. Очікувалося, що протягом найближчих 20 років цей рівень у середньому не перевищить 1,5°C (Паризька угода). Проте, за даними доповіді щодо клімату наприкінці століття потепління у світі може становити близько 2,5°C.

Згідно з прогнозами ВМО, у найближчі десятиліття кліматичні зміни наростатимуть у всіх регіонах планети. Зокрема, збільшуватимуться періоди тривалої спеки та скорочуватимуться холодні сезони.

Основна увага в ході саміту була зосереджена на зобов'язаннях щодо скорочення вуглецевих викидів в атмосферу та виділення фінансування, покликаного допомогти країнам, що розвиваються, впоратися з наслідками зміни клімату. На цій конференції вперше з ініціативи Індії порушили питання про вугільну енергетику як головне джерело парникових газів. На думку секретаріату ООН потрібна поетапна відмова від вугільних технологій.

Понад 40 країн, зокрема Україна, пообіцяли відмовитися від вугільної енергетики до 2030-2040 років залежно від стану економіки. На конференції виступив президент Джо Байден та доповів про намір США скоротити викиди парникових газів на 50-52% до 2030 року порівняно з рівнем 2020 року.

У своєму виступі Голова КНР (основний емітент парникових газів) Сі Цзіньпін наголосив, що реагування на зміну клімату є спільною справою всього людства. Але це не повинно бути розмінною картою для геополітики, метою нападів на інші країни або виправданям торгових бар'єрів. Після заяви китайського лідера про ухвалення стратегії декарбонізації до «зеленого курсу» приєдналися Японія та Корея.

На COP-26 було підписано кліматичний пакет, у якому підтверджено головну мету – стримати глобальне потепління лише на рівні 1,5°C. Було дано багато обіцянок щодо використання нових технологій та відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності старого обладнання.

Коментуючи результати конференції, керівник російського відділення Грінпіс підкреслив, що «незважаючи на різні цілі кліматичної політики окремих країн, відмова від викопних джерел енергії неминуча. Доступних запасів двох із трьох копалин ресурсів, які є у розпорядженні цивілізації, – нафти і газу – залишилося на 40-60 років. Епоха дешевого викопного палива завершується».

Таким чином, резолюції самітів COP-25 та COP-26 націлені на повну реалізацію протоколів Паризької угоди у контексті розробки та передачі технологій, спрямованих на зниження емісії парникових газів, а також стабілізацію кліматичних змін. Завдяки їм за минулі роки було розроблено нові низьковуглецеві технології та відкрито нові ринки [29-30].

Все більше країн, регіонів, міст і компаній встановлюють цілі досягнення вуглецевої нейтральності в секторах економіки, що охоплюють понад 70% глобальної емісії

(електроенергетики, транспорту та металургії). При цьому відомо, що 71% викидів парникових газів у світі припадає на 100 корпорацій під управлінням держав. У тому числі, 25 забезпечують 50% глобальної емісії парникових газів [31]. Це дозволить підвищити їхню конкурентоспроможність на світовому ринку. Експерти IPCC припускали, що до 2030 низьковуглецеві технології можуть стати конкурентно-здатними. Водночас саміт завершився компромісною угодою щодо врегулювання скороченням викидів (емісії) діоксиду вуглецю.

Однак після початку війни в Україні багато з того, на що раніше погоджувалися більшість країн, стало нездійснено. Війна змінила політичні та економічні перспективи, загострилася світова інфляція. Настала енергетична, а потім і продовольча криза. На думку експертів IPCC, 2022 рік став роком застою і відходу від раніше обраних позицій.

Енергетична криза (гостра нестача первинних джерел енергії) – це явище, що виникає, коли попит на енергетичні ресурси значно вищий за їх пропозицію. Його причини можуть бути в галузі політики, фізичного дефіциту або логістики [29]. Світова енергетична криза 2021-2022 років пов'язана із санкціями проти Росії через вторгнення в Україну. Масштаби цієї кризи охопили практично всі країни світу, насамперед – Європейський Союз. Світовий банк попередив про високий ризик глобальної рецесії (кризи) 2023-2024 років [32].

Слід зазначити, що вже зараз світові нафтогазові корпорації продовжують розширюватись, а видобуток вугілля зростає. Незважаючи на рекомендації вчених, багато країн нарощують обсяги видобутку нафти, газу та вугілля. Німеччина повернулася до використання вугілля та нафти. Постало питання про фінансування проектів з розробки нафти та газу. Лише в Африці на розвідку нафти та газу цього року виділено 5 млрд доларів.

Енергетика була і залишається ключовою галуззю практично всіх країн світу і тому перебуває під контролем міжнародних організацій ООН. При цьому світові запаси природного вуглеводневого палива виснажуються, а ціни зростають. На енергетику припадає понад 2/3 глобальних викидів парникових газів, в основному через використання викопного палива. Тому експерти IPCC рекомендують у майбутньому скорочувати споживання газу на 45% (з розрахунку 2% на рік) та розвивати відновлювані джерела енергії.

Війна в Україні спричинила додаткову емісію в кількості 31 млн. т. діоксиду вуглецю, що аналогічно до річної емісії Греції. Згідно з розрахунками, збитки навколишнього середовища становили близько 35 млрд. доларів США [33].

Водночас війна може змусити деякі країни задуматися про енергетичну самодостатність та економію енергетичних ресурсів. Раніше у доповіді IPCC звернули увагу на зростання видобутку викопного палива. За останні 30 років він зріс майже вдвічі. Країни також повинні адаптуватися до зміни клімату та погодилися щонайменше вдвічі збільшити фінансування технічних проектів з адаптації.

Питання енергетики та клімату мали обговорюватися на кліматичній конференції з клімату COP-27. Вона проходила в Єгипті (Шарм-еш-Шейху) з 6 по 18 листопада 2022 року [34-36].

Серед розглянутих на COP-27 питань головною стала декарбонізація енергосистеми та використання зеленого водню. Країни-учасники домовилися створити новий фінансовий механізм підтримки ідеї декарбонізації. Вкотре країни підтвердили свої зобов'язання щодо обмеження зростання глобальної температури 1,5°C понад рівень 1990 року. Слід зазначити, якщо раніше країни G20 обіцяли виділяти 100 млрд доларів на рік на виконання цих заходів, то після початку агресії Росії ця обіцянка не була виконана.

Постало питання про форму звітності раніше прийнятих рішень щодо клімату, у тому числі недержавних суб'єктів. Для цього раніше створено онлайн платформу, а також затверджено робочі програми по пом'якшенню зміни клімату планети.

На цьому саміті підписано угоду про створення Фонду для покриття збитків від втрат, спричинених зміною клімату та глобальним потеплінням. Створено новий комітет для підготовки рекомендації щодо запровадження нового фінансового механізму, які мають бути розглянуті у 2023 році на COP-28. Перше засідання цього Комітету планується на березень 2023 року.

На 2023 рік Китай (головний емітент парникових газів) представив нову стратегію адаптації зміни клімату. Ключову роль у ній приділялося моніторингу цих змін та міжнародному обміну технологіями.

На думку генерального секретаря ООН Антоніу Гутерріш, COP-27 завершилося з великим обсягом домашньої роботи та малою кількістю часу на їх виконання.

Висновки

Розроблена в ООН система контролю за зміною клімату планети дозволяє досягти консенсусу між різними країнами у боротьбі з глобальним потеплінням. Їх реалізація дозволила у різних галузях виробництва розробити перспективні низьковуглецеві технології, створені задля декарбонізації світової економіки.

Основними причинами глобального потепління є діяльність людини та використання як енергоносіїв викопних видів палива. Тому основну увагу слід приділяти енергетиці, у тому числі повернутися до раніше забутих технологій використання водню та газифікації вугілля з подальшим похованням діоксиду вуглецю.

Зниження емісії парникових газів тісно пов'язане з проблемами зміни структури енергетики практично всіх країн світу.

Після початку війни в Україні багато з того, на що раніше погоджувалась більшість країн, стало нездійсненно. Війна змінила політичні та економічні перспективи, загострилася світова інфляція. Настала енергетична криза, яка поклала край енергетичній концепції, заснованій на використанні природного палива.

Перелік використаних джерел:

1. Неверова А. Эксперты: Последствия изменения климата все более драматичны [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dw.com/ru/%D0%B5%D0%BAсперты-последствия-изменения-климата-все-более-драматичны/a-63663731>.
2. Global Warming of 1.5°C [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ipcc.ch/sr15>.
3. Global Monitoring Laboratory – Carbon Cycle Greenhouse Gases [Electronic resource]. – Mode of access: <https://gml.noaa.gov/ccgg/carbontracker>.
4. Глобальное потепление связано с деятельностью человека и происходит с беспрецедентной скоростью. Новости ООН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://news.un.org/ru/story/2021/08/1407862>.
5. Climate Change: Vital Signs of the Planet [Electronic resource]. – Mode of access: <https://climate.nasa.gov>.
6. Средняя температура по Земле снижается второй год подряд – NASA (ИНФОГРАФИКА) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://racurs.ua/n117837-srednyaya-temperatura-po-zemle-sniyaetsya-vtoroy-god-podryad-nasa-infografika.html>.
7. Какой была Земля 3 миллиарда лет назад? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://planetariodevitoria.org/ru/espaco/como-era-o-planeta-terra-ha-3-5-bilhoes-de-anos.html>.
8. Overview of Greenhouse Gases [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>.
9. Global Carbon Budget [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.icos-cp.eu/science-and-impact/global-carbon-budget>.
10. Statistical Review of World Energy [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
11. World Bank Group - International Development, Poverty, & Sustainability [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.worldbank.org/en/home>.
12. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата – Конвенции и соглашения – Декларации, конвенции, соглашения и другие правовые материалы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml.
13. United Nations Climate Change. What is the Kyoto Protocol? [Electronic resource]. – Mode of access: https://unfccc.int/kyoto_protocol.
14. Кепински О. История конференций ООН по климату [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.euronews.com/2021/11/01/ru-25-1-cop-summits-history>.
15. Глобальный экологический фонд – ГЭФ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eionet.europa.eu/gemet/ru/concept/3688>.
16. United nations. Report of the Conference of the Parties on the second part of its sixth session, held at Bonn from 16 to 27 July 2001 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unfccc.int/documents/2202>.

17. Канкун-2010: конференція ООН по изменению климата [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://canecca.org/kankun-2010>.
18. United Nations. Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>.
19. Paris Agreement | Department of Economic and Social Affairs [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sdgs.un.org/frameworks/parisagreement>.
20. United Nations. The Paris Agreement | United Nations [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>.
21. Paris Climate Agreement: Everything You Need to Know [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.nrdc.org/stories/paris-climate-agreement-everything-you-need-know>.
22. United Nations. Report of the Conference of the Parties on its twenty-fifth session, held in Madrid from 2 to 15 December 2019 [Electronic resource]. – Mode of access: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2019_13E.pdf.
23. UN climate change conference [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unfccc.int/conference/un-climate-change-conference-december-2019>.
24. В Мадриде открылась 25-я климатическая конференция ООН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://p.dw.com/p/3U5Eg>.
25. Harrison T. COP25: Key outcomes agreed at the UN climate talks in Madrid. Carbon Brief [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.carbonbrief.org/cop25-key-outcomes-agreed-at-the-un-climate-talks-in-madrid>.
26. Владимиров В. Климатический саммит в Глазго: мировые лидеры анонсируют планы по спасению планеты [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.golosameriki.com/a/climate-summit-in-glasgow/6296312.html>.
27. Конференция ООН по изменению климата – DW [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dw.com/ru/konferencija-oon-po-izmeneniju-klimata/t-41260914>.
28. UN Climate Change Conference (COP26) at the SEC – Glasgow 2021 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ukcop26.org>.
29. Луконин С.А. Китай: декарбонизация экономики и следование принципам ESG / С.А. Луконин, Б.А. Аносов // Федерализм. – 2021. – № 3. – С. 192-205. – Режим доступу: <https://doi.org/10.21686/2073-1051-2021-3-192-205>.
30. Глущенко А. Медленно, но верно: как скоро декарбонизируется мир [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.liga.net/user/aglushchenko/article/38013>.
31. Chernytska T. US Alternative power engineering in Global Challenges / T. Chernytska, Yu. Novosad // International Economic Policy. – 2019. – № 2(29). – С. 75-108. – Mode of access: <https://doi.org/10.33111/iep.2018.29.04>.
32. Всемирный банк предупредил о высоком риске глобальной рецессии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://minfin.com.ua/2023/01/08/98662782>.
33. Год войны и энергетического и климатического кризисов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.eeas.europa.eu/eeas/год-войны-и-энергетического-и-климатического-кризисов_ru?s=223.
34. Конференция в Шарм-эш-Шейхе: что нужно знать, чтобы «не заблудиться» на встрече ООН по климату [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://news.un.org/ru/story/2022/10/1434097>.
35. COP27: What you need to know about this year's big UN Climate Conference [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unsdg.un.org/latest/stories/cop27-what-you-need-know-about-years-big-un-climate-conference>.
36. COP26 and COP27 Climate Champions Set out Plan for 2022 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://unfccc.int/news/cop26-and-cop27-climate-champions-set-out-plan-for-2022>.

References:

1. Neverova A. *Eksperty: Posledstviia izmeneniia klimata vse bolee dramatichny* (Experts: The consequences of climate change are becoming more dramatic) Available at: www.dw.com/ru/%D0%B5%D0%BAsperty-posledstviia-izmeneniia-klimata-vse-bolee-dramatichny/a-63663731 (accessed 18 May 2022). (Rus.)

2. Global Warming of 1.5°C Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15> (accessed 18 May 2022).
3. Global Monitoring Laboratory – Carbon Cycle Greenhouse Gases Available at: <https://gml.noaa.gov/ccgg/carbontracker> (accessed 8 June 2022).
4. *Global'noe poteplenie svyazano s deiatel'nost'iu cheloveka i proiskhodit s bespretsedentnoi skorost'iu. Novosti OON* (Global warming is due to human activity and is occurring at an unprecedented rate. UN News) Available at: <https://news.un.org/ru/story/2021/08/1407862> (accessed 30 May 2022). (Rus.)
5. Climate Change: Vital Signs of the Planet Available at: <https://climate.nasa.gov> (accessed 18 May 2022).
6. *Sredniaia temperatura po Zemle snizhaetsia vtoroi god podriad – NASA (INFOGRAFIKA) (The average temperature on Earth has been decreasing for the second year in a row – NASA (INFOGRAPHICS))* Available at: <https://racurs.ua/n117837-srednyaya-temperatura-po-zemle-sniyaetsya-vtoroy-god-podryad-nasa-infografika.html> (accessed 20 July 2022). (Rus.)
7. *Kakoi byla Zemlia 3 milliarda let nazad? (What was the Earth like 3 billion years ago?)* Available at: <https://planetariodevitoria.org/ru/espaco/como-era-o-planeta-terra-ha-3-5-bilhoes-de-anos.html> (accessed 05 August 2022). (Rus.)
8. Overview of Greenhouse Gases Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> (accessed 10 May 2022).
9. Global Carbon Budget Available at: <https://www.icos-cp.eu/science-and-impact/global-carbon-budget> (accessed 23 May 2022).
10. Statistical Review of World Energy Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (accessed 10 June 2022).
11. World Bank Group - International Development, Poverty, & Sustainability Available at: <https://www.worldbank.org/en/home> (accessed 13 June 2022).
12. *Kiotskii protokol k Ramochnoi konventsii Organizatsii Ob"edinennykh Natsii ob izmenenii klimata – Konventsii i soglasheniia – Deklaratsii, konventsii, soglasheniia i drugie pravovye materialy* (Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change – Conventions and agreements – Declarations, conventions, agreements and other legal materials) Available at: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (accessed 01 July 2022). (Rus.)
13. United Nations Climate Change. What is the Kyoto Protocol? Available at: https://unfccc.int/kyoto_protocol (accessed 28 June 2022).
14. Kepinski O. *Istoriia konferentsii OON po klimatu* (History of UN climate conferences) Available at: <https://ru.euronews.com/2021/11/01/ru-25-1-cop-summits-history> (accessed 03 August 2022). (Rus.)
15. *Global'nyi ekologicheskii fond – GEF* (Global Environment Facility – GEF) Available at: <https://www.eionet.europa.eu/gemet/ru/concept/3688> (accessed 11 June 2022). (Rus.)
16. United nations. Report of the Conference of the Parties on the second part of its sixth session, held at Bonn from 16 to 27 July 2001 Available at: <https://unfccc.int/documents/2202> (accessed 11 June 2022).
17. *Kankun-2010: konferentsiia OON po izmeneniiu klimata* (Cancun 2010: UN Climate Change Conference) Available at: <https://canecca.org/kankun-2010> (accessed 11 June 2022). (Rus.)
18. United Nations. Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015 Available at: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf> (accessed 23 June 2022).
19. Paris Agreement | Department of Economic and Social Affairs Available at: <https://sdgs.un.org/frameworks/parisagreement> (accessed 10 September 2022).
20. United Nations. The Paris Agreement | United Nations Available at: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> (accessed 28 August 2022).
21. Paris Climate Agreement: Everything You Need to Know Available at: <https://www.nrdc.org/stories/paris-climate-agreement-everything-you-need-know> (accessed 10 August 2022).
22. United Nations. Report of the Conference of the Parties on its twenty-fifth session, held in Madrid from 2 to 15 December 2019 Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cp2019_13E.pdf (accessed 30 May 2022).
23. UN climate change conference Available at: <https://unfccc.int/conference/un-climate-change->

- [conference-december-2019](#) (accessed 18 July 2022).
24. *V Madrīde otkrylas' 25-ia klimaticheskaiia konferentsiia OON* (The 25th UN climate conference opened in Madrid) Available at: <https://p.dw.com/p/3U5Eg> (accessed 27 June 2022). (Rus.)
 25. Harrison T. COP25: Key outcomes agreed at the UN climate talks in Madrid. Carbon Brief Available at: <https://www.carbonbrief.org/cop25-key-outcomes-agreed-at-the-un-climate-talks-in-madrid> (accessed 22 June 2022).
 26. Vladimirov V. *Klimaticheskii sammit v Glazgo: mirovye lidery anonsiruiut plany po spaseniiu planety* (Climate Summit in Glasgow: World leaders announce plans to save the planet) Available at: <https://www.golosameriki.com/a/climate-summit-in-glasgow/6296312.html> (accessed 18 June 2022). (Rus.)
 27. *Konferentsiia OON po izmeneniiu klimata – DW* (UN Climate Change Conference – DW) Available at: <https://www.dw.com/ru/konferencija-oon-po-izmeneniju-klimata/t-41260914> (accessed 29 May 2022). (Rus.)
 28. UN Climate Change Conference (COP26) at the SEC – Glasgow 2021 Available at: <https://ukcop26.org> (accessed 18 July 2022).
 29. Lukonin S.A., Anosov B.A. Kitai: dekarbonizatsiia ekonomiki i sledovanie printsipam ESG [China: decarbonizing the economy and following the principles of ESG]. *Federalizm – Federalism*, 2021, № 3, pp. 192-205. **doi: 10.21686/2073-1051-2021-3-192-205**. (Rus.)
 30. Glushchenko A. *Medlenno, no verno: kak skoro dekarboniziruetsia mir* (Slowly but surely: how soon the world will decarbonize) Available at: <https://blog.liga.net/user/aglushchenko/article/38013> (accessed 18 September 2022). (Rus.)
 31. Chernytska T., Novosad Yu. US Alternative power engineering in Global Challenges. *International Economic Policy*, 2019, № 2(29), pp. 75-108. **doi: 10.33111/iep.2018.29.04**.
 32. *Vsemirnyi bank predupredil o vysokom riske global'noi retsessii* (World Bank warns of high risk of global recession) Available at: <https://minfin.com.ua/2023/01/08/98662782> (accessed 20 September 2022). (Rus.)
 33. *God voiny i energeticheskogo i klimaticheskogo krizisov* (Year of war and energy and climate crises) Available at: https://www.eeas.europa.eu/eeas/год-войны-и-энергетического-и-климатического-кризисов_ru?s=223 (accessed 15 October 2022). (Rus.)
 34. *Konferentsiia v Sharm-esh-Sheikhe: chto nuzhno znat', chtoby «ne zabludit'sia» na vstreche OON po klimatu* (Sharm el-Sheikh conference: what you need to know in order to «not get lost» at the UN climate meeting) Available at: <https://news.un.org/ru/story/2022/10/1434097> (accessed 15 October 2022). (Rus.)
 35. COP27: What you need to know about this year's big UN Climate Conference Available at: <https://unsdg.un.org/latest/stories/cop27-what-you-need-know-about-years-big-un-climate-conference> (accessed 15 October 2022).
 36. COP26 and COP27 Climate Champions Set out Plan for 2022 Available at: <https://unfccc.int/news/cop26-and-cop27-climate-champions-set-out-plan-for-2022> (accessed 15 October 2022).

Рецензент: Л.І. Тарасюк
канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 21.10.2022

263 ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

УДК 614.896

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276269

© Чеберячко С.І.¹, Радчук Д.І.², Дерюгін О.В.³, Сушко Н.С.⁴,
Кравченко Б.Д.⁵**РОЗРОБКА НОВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАСОБІВ
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ**

Метою дослідження – є розробка нової класифікації засобів індивідуального захисту органів дихання (далі – ЗІЗОД), яка сприятиме якісному їх вибору для відповідних виробничих умов використання з урахуванням оцінки професійних ризиків (далі – ПР). Проведено аналіз законодавства України, Європейського Союзу та інших країн світу стосовно використовуваних класифікацій ЗІЗОД. Встановлено, що існуючі системи класифікації є застарілими й не задовольняють вимогам щодо їх вибору на основі оцінки ПР. Проаналізовані публікації, які стосуються даної проблеми, та розглянуті запропоновані шляхи удосконалення існуючих систем класифікації з урахуванням нормативних документів щодо мінімального забезпечення ЗІЗОД працівників різних виробництв. Шляхом системного аналізу визначено найбільш слабкі місця в існуючих системах класифікації країн світу. Розглянуті слабкі сторони класифікації ЗІЗОД, що викладено в стандарті ISO/TS 16973. Запропоновано новий підхід до класифікації ЗІЗОД з урахуванням міжнародних стандартів та загально прийнятих підходів в інших країнах, враховуючи вимоги до оцінки ПР. Основною відмінністю нової класифікації є поділ ЗІЗОД на основі спільних характеристик, що дозволить виділити певні відділи, підвідділи, групи, підгрупи, види, підвиди й різновиди, які повністю охоплять всі їх конструктивні особливості. Це допоможе з розумінням розробити послідовність дій при їх виборі та чітко зрозуміти структурну взаємодію між різними групами й визначити ступінь розгалуженості можливих варіантів. Розроблена класифікація є першою спробою у розподілі всіх існуючих ЗІЗОД за зрозумілим ієрархічним порядком підлеглості нижчих ланок вищим, починаючи з відділу – фільтрувальні ЗІЗОД і закінчуючи різновидом – за ступенем досконалості конструкції фільтрувальних респіраторів або/ї їх складових щодо фізіологічних вимог.

Ключові слова: засоби індивідуального захисту органів дихання, класифікація, фільтрувальний протипиловий респіратор, професійний ризик.

S. Cheberyachko, D. Radchuk, O. Deryugin, N. Sushko, B. Kravchenko. Development of a new classification of resources individual respiratory protection. The purpose of the study is to develop a new classification of personal respiratory protective equipment (PPE), which will contribute to their qualitative selection for appropriate production conditions of use, taking into account the assessment of occupational risks (hereinafter –

¹ д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3281-7157, sicheb@ukr.net

² канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0001-8034-541X, radchuk.dm@gmail.com

³ канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-2456-7664, deryugin_o@ukr.net

⁴ аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-4874-1823, dslobodianyik.nadiya@gmail.com

⁵ аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0001-8398-0793, kravchenko.bo.d@nmu.one

OR). An analysis of the legislation of Ukraine, the European Union and other countries of the world in relation to the used classifications of PPE was carried out. It was established that the existing classification systems are outdated and do not meet the requirements for their selection based on the assessment of OR. An analysis of publications related to this problem was carried out, and proposed ways of improving the existing classification systems were considered, taking into account normative documents regarding the minimum provision of PPE for employees of various industries. By means of system analysis, the weakest points in the existing classification systems of the countries of the world have been identified. Weaknesses of the PPE classification set out in the ISO/TS 16973 standard are considered. A new approach to the PPE classification is proposed, developed taking into account international standards and generally accepted approaches in other countries, taking into account the requirements for the assessment of PPE. The main difference of the new classification is the division of PPE on the basis of common characteristics, which makes it possible to distinguish certain departments, subdivisions, groups, subgroups, species, subspecies and varieties, which will fully cover all their structural features. This allows you to clearly develop a sequence of actions when choosing them and clearly understand the structural interaction between different groups and determine the degree of branching of possible options. The developed classification is the first attempt in the distribution of all existing PPE according to a clear hierarchical order of subordination of lower links to higher ones, starting with the department – filtering PPE and ending with the variety – according to the degree of perfection of the design of filtering respirators or/and their components in relation to physiological requirements.
Key words: personal protective equipment for respiratory organs, classification, filtering dust respirator, occupational risk.

Постановка проблеми. Сьогодні у світі реєструється досить велика кількість професійних захворювань. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, це порядком до 2 млн. випадків на рік [1]. В той же час, враховуючи вимоги ст. 13 Закону України «Про охорону праці», роботодавець мусить створити на робочому місці нормовані умови праці у відповідності до чинного законодавства. Зокрема, концентрація токсикантів (пил, дим, газ, туман) в повітрі робочої зони повинно бути меншим за гранично допустиму концентрацію (далі – ГДК), а у випадках, коли рівень розвитку науки і техніки не дозволяє це зробити, робітників, відповідно до ст. 8 Закону України «Про охорону праці», треба забезпечити ефективними ЗІЗОД. Також, відповідно до ст. 163 Кодексу законів України про працю, якщо середовище, у якому перебуває робітник, є шкідливим або роботи, що він виконує, визнані небезпечними, роботодавець також зобов'язаний забезпечити своїх працівників засобами індивідуального захисту (далі – ЗІЗ). Крім того, забезпечення ЗІЗ врегульовано наказом Мінсоцполітики від 29.11.2018 № 1804 «Про затвердження Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками ЗІЗ на робочому місці (мінімальні вимоги)», а також «Нормами безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших ЗІЗ працівникам загальних професій різних галузей промисловості», які затверджені Наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду № 62 від 16.04.2009 (норми). При чому, їх вибір роботодавця повинен проводити за характером виконуваних робіт з урахуванням класифікації ЗІЗОД відповідно до чинних в Україні національних стандартів [2]. Існує два нормативних документа, де наводиться дана класифікація. У першому (ДСТУ 7239:2011 «Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація») вказується, що ЗІЗОД бувають фільтрувальні, ізолювальні та зі змінною маскою зварювальника. Тоді як у другому (ДСТУ EN 133:2005 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація»), ЗІЗОД поділяють ще й за лицевими частинами, фільтрами та системою подавання повітря у підмасковий простір. Лицеві частини можуть бути масками, фільтрувальною лицевою частиною, капюшоном, шоломом тощо. Фільтри, за ефективністю, поділяють на три класи: низька, середня, висока. За подаванням повітря у підмасковий простір ЗІЗОД бувають самовсмоктувальні і з примусовою подачею повітря. Крім того, існують чинні Правила вибору та застосування ЗІЗОД (НПАОП 0.00-1.04-07), в яких є посилання на вище згадані стандарти з подальшим розподілом фільтрувальних пристроїв за призначенням на

протипилові, протигазові, комбіновані; та за конструктивними особливостями – на фільтрувальні півмаски і патрони [3].

Наведена класифікація ЗІЗОД у згаданих нормативних документах в неповній мірі висвітлює все їх різноманіття за конструктивними особливостями та функціональним призначенням, що значно ускладнює вибір через відсутність розуміння впливу параметрів навколишнього середовища, виробничих завдань та складових частин: півмаски, наголів'я обтюатора, клапанного блоку, на фізіологічний стан людини і його працездатність. Кожен з цих елементів в кінцевому випадку впливає на ефективність захисту користувача, яка визначається цілою низкою компонентів. Виходячи з існуючої класифікації занадто складно підібрати фільтрувальний пристрій, який врахував би необхідність надійного кріплення півмасок в залежності від вимог до рухомості або темпу роботи, коли респіратор може сповзти з обличчя і збільшити надходження шкідливої речовини крізь щілини за смугою обтюатора. Також, важко забезпечити ізолювальні властивості респіраторів без розуміння властивостей матеріалів і конструктивних особливостей клапанів видихання, обтюатора та наголів'я. Тому, вважаємо розробку нової класифікації ЗІЗОД актуальною задачею, вирішення якої сприятиме якісному їх вибору у виробничих умовах [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукових публікацій щодо розробки чи вдосконалення класифікації ЗІЗОД не багато [4-7]. В них здебільшого йдеться мова про розширення певної групи ЗІЗОД за рахунок більшої деталізації конкретного пристрою для захисту користувача у відповідних умовах. Наприклад, існує група «фільтрувальні протигазові респіратори», яка розширюється завдяки уточненню області використання фільтра – проти специфічних сполук (EN 372) або проти низькокиплячих ($BP < 65^{\circ}C$) сполук (EN 371).

Більшість наявних наукових досліджень присвячені проблематиці вибору фільтрувальних протипилових респіраторів (далі – ПФР) з урахуванням оцінки ПР, що можуть виникати при їх неправильному використанні або при нещільностях між обличчям користувача та ПФР [8], чи розробці програм респіраторного захисту працівників під час виконання професійної діяльності [9], що є більш актуальним завданням, оскільки допомагає роботодавцям забезпечити якісний захист [10]. Однак, все ж таки, фахівці періодично обговорюють необхідність розробки універсальної класифікації ЗІЗОД, яка б була зрозуміла всім країнам і могла б відобразити різноманіття їх конструкцій та вимог. Оскільки часто можна зустріти ситуацію, що рівень захисту однієї й тієї ж моделі відрізняється в різних країнах [11]. Це спричинено, в тому числі, відмінностями класифікації ЗІЗОД між ЄС і США. Крім того, Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробила та запровадила міжнародний стандарт (ISO/TS 16973), де наводиться новий метод класифікації ПФР. До його особливостей слід віднести нову термінологію: респіраторний захисний пристрій (respiratory protective device, далі – RPD) замість ПФР. Кожен RPD, що відповідає вимогам ISO, повинен мати індивідуальну класифікацію на основі його продуктивності, зазначеної у відповідних стандартах. Також, до відмінностей нової класифікації ISO можна віднести можливість візуально ідентифікувати тип ПФР, що дозволяє швидко оцінити його захисну ефективність. Отже, як бачимо, дискусія з розробки класифікації ЗІЗОД йде постійно, що зумовлено бажанням компаній розробників уніфікувати вимоги в усьому світі.

Метою даної роботи є розробка нової класифікації ЗІЗОД, яка сприятиме їх якісному вибору для відповідних виробничих умов використання з урахуванням оцінки ПР.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети використовувались: аналіз існуючих класифікацій засобів індивідуального захисту органів дихання, який дозволив цілісно сформулювати предмет дослідження з розподілом на складові частини для визначення недоліків в існуючих переліках фільтрувальних захисних пристроях; синтез – для об'єднання раніше виділених елементів ЗІЗОД у єдине ціле за певними ознаками, властивостями та характером відносин; аналогія – на основі якої були виділені об'єкти за одними ознаками та зроблено висновок про їх схожість за іншими ознаками.

Авторами запропонована нова класифікація ЗІЗОД, яка розроблена на основі біологічної систематизації рослин, де поділ відбувається на основі спільних характеристик, що дозволяє виділити певні відділи, підвідділи, групи, підгрупи, види, підвиди й різновиди, які повністю охоплюють всі конструктивні особливості будь-якого ЗІЗОД. Такий підхід заповнює існуючі прогалини у вітчизняному законодавстві та дозволяє з розумінням розробити послідовність дій при виборі ЗІЗОД. Ця класифікація є першою спробою у розподілі всіх існуючих ЗІЗОД за зро-

зумілим ієрархічним порядком підлеглості нижчих ланок вищим, починаючи з відділу – фільтрувальні ЗІЗОД і закінчуючи різновидом – за ступенем досконалості конструкції ПФР або/їх складових щодо фізіологічних вимог. Це дозволяє чітко зрозуміти структурну взаємодію між різними групами ЗІЗОД та визначити ступінь розгалуженості можливих варіантів.

Для проведення оцінки ПР при роботі з шкідливими речовинами скористатись рекомендаціями, наведеними у Посібнику з оцінки ризиків на робочому місці [12], де передбачено п'ять основних кроків.

Перший – ідентифікація шкідливої речовини, визначення середньо-добової, максимально-разової концентрацій, часу перебування в небезпечній зоні, темпу роботи, кліматичних умов та ін.

Другий – визначення кому і яка буде нанесена шкода при роботі в небезпечній зоні під впливом шкідливої речовини.

Третій – проведення оцінки ПР матричним способом: визначення вірогідності настання небезпечної події та важкості наслідків (рис. 1).

Наслідки		Ймовірність				
		Вияткова	Незначна	Помірна	Значна	Висока
		1	2	3	4	5
Відсутні	1	1	2	3	4	5
Незначні	2	2	4	6	8	10
Помірні	3	3	6	9	12	15
Значні	4	4	8	12	16	20
Катастрофічні	5	5	10	15	20	25

РИЗИК	
1 - 4	Незначний
5 - 8	Низький
9 - 12	Помірний
13 - 20	Високий
20 - 25	Критичний

Рис. 1 – Матриця для визначення ризику за методом «Risk score»

Таблиця 1

Класифікація ЗІЗОД		Маркування
Відділ	Фільтруючі	Ф
Підвідділ	За функціональним призначенням:	
	- проаерозольні (захищають від твердих і рідких аеродисперсних частинок);	(P (S, SL))
	- протигазові (захищають від токсичних газів і парів);	A, B, E, K, AX, NO, SX
	- газопилозахисні (захищають від аеродисперсних твердих і рідких частинок, токсичних газів і парів)	P + газів і пари
Група	За ефективністю захисту:	
	- низька;	1 - до 4 ГДК
	- середня;	2 - до 12 ГДК
	- висока	3 - до 50 ГДК
Підгрупа	За санітарними вимогами:	
	- одноразові (з фільтруючою півмаскою);	О
	- багаторазові (з фільтрами або патронами, що замінюються)	Б
Вид	За способом надходження повітря у підмасковий простір:	
	- природний;	П
	- примусовий	ПР
Підвид	З урахуванням вимог щодо ергономічності* і забезпечення безпечної праці користувачів при експлуатації респіраторів, зокрема:	
	- масок (повнолицевих, півмасок, четверть масок, у тому числі з пристроями для переговорів);	М, ПМ, ЧМ
	- фільтрів;	Одн, Бгр
	- клапанних, безклапанних	К, БК

Продовження таблиці 1

Класифікація ЗІЗОД		Маркування
Різновид	З урахуванням досконалості конструкції респіраторів або/ї їх складових щодо фізіологічних вимог:	
	- каркасів, конвертів, складчастості, еластомерності;	К, KB, СК, Е
	- обтюраторів (одно- і двоскладчастих, з U-подібною складкою, надувних);	O1, O2, OU, H
	- клапанів видиху (грибкових, дискових, пелюсткових);	КГ, КД, КП
	- наголів'я (одно- і двосмушкового).	H1, H2

* Ергономіка - наука про пристосування предметів (ЗІЗОД) для найбільш безпечної та ефективної праці

Оцінку професійних ризиків можна проводити різними методами, які описані у ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013, наприклад, методом «Risk score», що розроблений за Британським стандартом BS-8800. Величину професійного ризику (R) визначають в балах за формулою:

$$R = S \cdot P, \quad (1)$$

де S – серйозність наслідків; P – ймовірність події.

Четвертий – обґрунтування запобіжних заходів. Відповідно до рекомендацій ДСТУ EN 529, ЗІЗОД є останнім захисним бар'єром в ієрархії запобіжних заходів. Тому до його обґрунтування необхідно приступити тільки після того, як перевірити дієвість більш ефективних засобів (заміни небезпечного чинника на менш небезпечний, інженерний чи адміністративний контроль). Тільки після переконання, що вище згадані засоби не забезпечують належного захисту, приступити до вибору ЗІЗОД відповідно до рекомендацій, наведених в табл. 2.

П'ятий – проведення перевірки отриманих результатів.

На рис. 2 наведено рекомендації щодо вибору ЗІЗОД з урахуванням їх класифікації та оцінки ПР.

Таблиця 2

Опис шифру рекомендованого типу й конструкції ЗІЗОД

№	Шифр відповідно до нової класифікації ЗІЗОД	Опис рекомендованого типу й конструкції ЗІЗОД
1	ОПМБК	Одноразовий респіратор з півмаскою безклапану видиху
2	ОПМК	Одноразовий респіратор з півмаскою з клапаном видиху
3	ОПМКО2	Одноразовий респіратор з півмаскою з клапаном видиху з посиленою смугою обтюраторії (двохскладчий обтюратор)
4	БПМБгр	Респіратор з еластомерною півмаскою з багаторазовими фільтрами
5	БПМБгрО2	Респіратор з еластомерною півмаскою з багаторазовими фільтрами та посиленою смугою обтюраторії
6	БМБгрО2	Протигаз (респіратор) з повнолицевою маскою з багаторазовими фільтрами та посиленою смугою обтюраторії
7	ПРМБгрО2	Респіратор з примусовою подачею повітря та повнолицевою маскою з багаторазовими фільтрами та посиленою смугою обтюраторії

Рис. 2 побудовано у відповідності до вимог класифікації шкідливих речовин за вимогами Гігієнічної класифікації умов праці [13].

Група небезпеки	Перевищення ГДК	Характер роботи з урахуванням вологості							
		Легка		Середня		Важка		Дуже важка	
		< 75%	> 75%	< 75%	> 75%	< 75%	> 75%	< 75%	> 75%
Мало-токсичні	> 4	ОПБМК	ОПМК	ОПБМК	ОПМК	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр
	> 12	ОПБМК	ОПМК	ОПБМК	ОПМК	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр
	> 50	ОПБМК	ОПМК	ОПБМК	ОПМК	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр
	> 50	Автономний дихальний апарат							
Помірно-токсичні	> 4	ОПБМК	ОПМК	ОПБМК	ОПМК	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр
	> 12	ОПБМК	ОПМК	ОПБМК	ОПМК	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр
	> 50	ОПМКО2	ОПМКО2	ОПМКО2	ОПМКО2	ОПМКО2	ОПМКО2	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2
	> 50	Автономний дихальний апарат							
Високо-токсичні	> 4	ОПМКО2	ОПМКО2	ОПМКО2	ОПМКО2	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр
	> 12	ОПМКО2	ОПМКО2	ОПМКО2	ОПМКО2	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр
	> 50	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр	БПМБгр
	> 50	Автономний дихальний апарат							
Надзвичайно-токсичні	> 4	БПМБгрН	БПМБгрН	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2
	> 12	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2	ПРМБгрО2	Автономний дихальний апарат			
	> 50	Автономний дихальний апарат							
	> 50	Автономний дихальний апарат							

Примітка. Букви в клітинках таблиці – це маркування рекомендованих ЗІЗОД відповідно до таблиці 2. Рекомендовані типи ЗІЗОД не є остаточними і потребують уточнення відповідно до умов експлуатації.

Рис. 2 – Рекомендації щодо вибору ЗІЗОД з урахуванням їх класифікації та оцінки ПР

Всі шкідливі речовини поділяються на чотири групи, виходячи з токсичності: надзвичайно токсичні, високотоксичні, помірнотоксичні і малотоксичні. При цьому, враховується коефіцієнт забруднення, величина, яка показує у скільки разів концентрація шкідливої речовини у повітрі робочої зони перевищує ГДК. Далі, для вибору ЗІЗОД, відповідно до зробленої класифікації, важливо врахувати ритм і темп роботи та вплив кліматичних умов на робочому місці. В кожній клітинці таблиці (рис. 2), колір якої відповідає величині ПР, наведено рекомендацію щодо вибору ЗІЗОД за основними конструктивними вимогами, які наведено, виходячи із запропонованого маркування (табл. 1).

Для прикладу забезпечимо вибір ПФР для гірника, який працює у видобувному заборі з концентрацією пилу у робочій зоні 100 мг/м³. Робота виконується при температурі 26°C, з вологістю повітря 95%, темп роботи інтенсивний. Спочатку визначимо, який захисний пристрій потрібен: фільтрувальний чи ізолювальний респіратор. Вибір залежить від вмісту кількості кисню у робочій зоні. Якщо більше 18% – використовуємо ПФР. Далі визначаємо, який саме ПФР необхідно використовувати – протиаерозольний, протигазовий чи комбінований. В даному випадку, небезпечними є тверді частинки вугільного пилу, тому зупинимось на протиаерозольному ПФР з фільтром, який захищає органи дихання гірника від твердих частинок (див. нову класифікацію ЗІЗОД в табл. 1).

Клас захисту вибраного фільтрувального ЗІЗОД оцінимо, виходячи з формули [14]:

$$K_z > K_{зБ}, \tag{2}$$

де K_z – коефіцієнт захисту ПФР; $K_{зБ} = C_z / ГДК$ – коефіцієнт забруднення робочої зони; C_z – концентрація аерозолів у робочій зоні.

Враховуючи, що ГДК для вугільного пилу складає 10 мг/м³, то $K_{зБ}$ при запиленості 100 мг/м³ дорівнює 10. Знаючи, що вугільний пил відноситься до групи малотоксичних небезпечних аерозолів, то відповідно до табл. 2 потрібний фільтрувальний респіратор з шифром БПМБгр, що означає: БЕ – багаторазовий (Е – еластомерна півмаска); ПМ – півмаска; Бгр – багаторазовий фільтр. Помаранчевий колір клітинки говорить, що респіратор необхідний другого класу захисту, тобто фільтр другого класу захисту. У виробників ЗІЗОД вони маркуються як FFP2.

Наступний кроком є вибір ЗІЗОД за способом надходження: примусове чи самовисмокування. ПФР з примусовою подачею повітря здебільшого використовують для захисту від надзвичайно і високо токсичного аерозолу, коли необхідно створити у підмасковому просторі надлишковий тиск, який завадив потраплянню шкідливої речовини крізь нещільності смуги обтюрації. В даному випадку вугільний пил не токсичний, тому зупинимось на респираторах з природньою подачею повітря.

Вибір лицевої частини ЗІЗОД залежить від подразнення аерозолем очей. Якщо воно є – необхідна маска, при відсутності – можна скористатись півмаскою. З усіх наявних у виробників фільтрів 2-го класу захисту зупинимось на тих, які мають найнижчий опір, оскільки за умовами тяжкої праці, великої вологості повітря (> 80%) та концентрації пилу в робочій зоні (≥ 500 мг/м³) користувачу, зокрема шахтарю, через швидке зростання опору дихання внаслідок «цементатії» пилу при взаємодії з вологою на поверхні фільтрувального елемента, що видихається, доведеться часто (3-4 рази за зміну) замінювати гофровані фільтри. Крім того, висока температура і вологість повітря сприятимуть накопиченню вологи у підмасковому просторі ПФР. В цьому випадку необхідна півмаска з клапанами вдихання і видихання.

Останнім кроком є перевірка сумісності вибраного ПФР з користувачем за медичними показниками і пристосованості до його обличчя. Вона проводиться на робочому місці за допомогою експлуатаційних випробувань на навчених кваліфікованих випробувачах, які регламентовані (корпоративним) стандартом підприємства або правилами приймання і вже за отриманими даними приймається остаточне рішення який конкретний ЗІЗОД буде вибраний.

Дискусія. Розробка нової класифікації ЗІЗОД передбачає, що усі ПФР діляться на два великих підкласи за способом подачі повітря у підмасковий простір: примусовий (рис. 3) і самовисмокування (рис. 4).



Рис. 3 – Фільтрувальні ЗІЗОД з примусовою подачею повітря (PAPR)

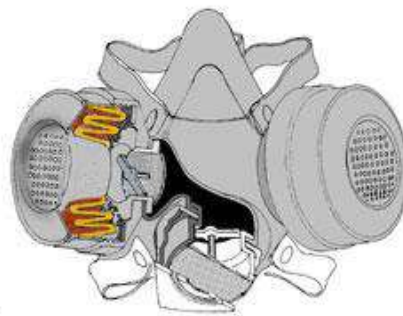


Рис. 4 – Фільтрувальні ЗІЗОД з самовисмокуванням (Elastomeric Face Piece)

Перші являють собою системи, що складаються з лицевої частини, турбоблоку, забезпеченого фільтрами і відповідними клапанами та з'єднувального шлангу. Принцип дії полягає в тому, що очищене повітря за допомогою повітродувки нагнітається під лицьову частину, забезпечуючи підвищений тиск, що не дозволяє забрудненому повітрю з робочої зони потрапляти до легенів працівника (рис. 5).

Другі складаються з лицевої частини та фільтрів, за необхідності клапанів вдихання та видихання. Принцип дії полягає у проходженні повітря з домішками через деякий набір різноманітних фільтрів за рахунок створення різниці тисків у підмасковому просторі. Для цих ЗІЗОД важливо забезпечити достатній рівень ізолювання органів дихання за рахунок відповідної конструкції обтюратора.

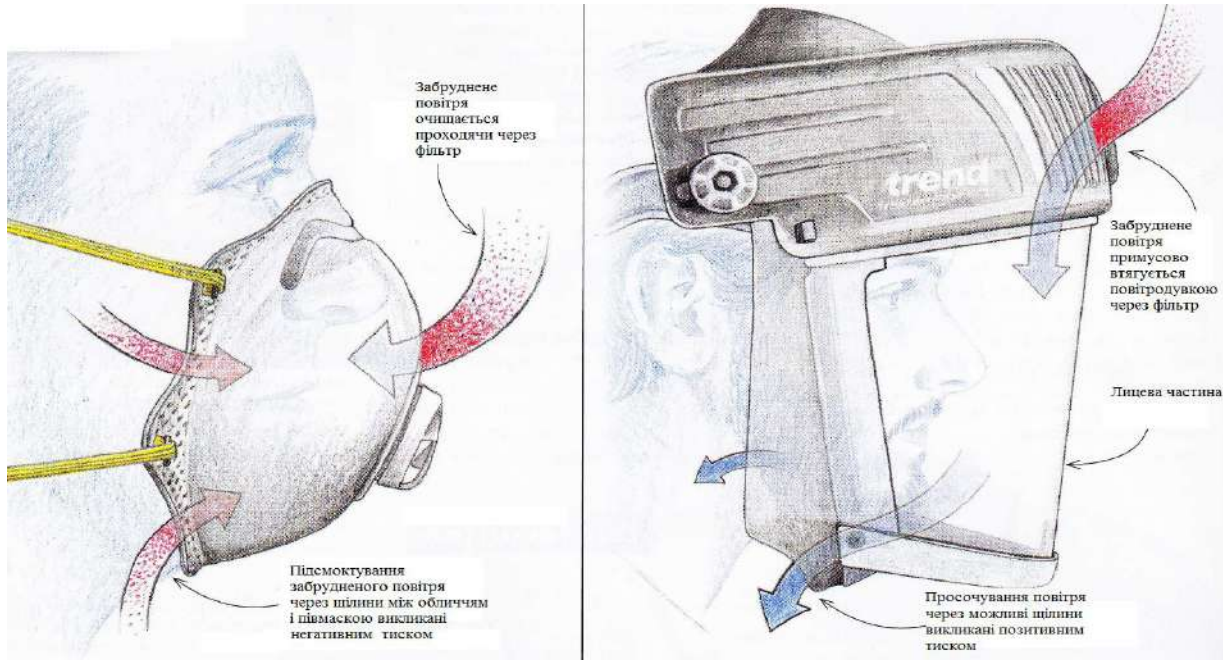


Рис. 5 – Різниця між респіраторами з примусовою подачею повітря і самовисмоктуванням

Надійне ізолювання органів дихання від шкідливого навколишнього середовища досягається у лицевих частин, обтюратор яких може видозмінюватись враховуючи антропометричні відмінності обличчя працівників (рис. 6) [15]. Слабким місцем обтюратора вважається зона перенісся, де і фіксується найбільша кількість підсмоктувань нефільтрованого повітря [16]. Тому, зусилля виробників направлені на вивчення антропометричних параметрів обличчя працівників, зумовлених віком, умовами праці, національністю тощо, та моделювання контурів ущільнювача з використанням сучасних 3D-технологій.

ПФР з невіддільними фільтрами, лицева частина яких з фільтруючого матеріалу, маркуються літерами FF, а споряджені змінними протипиловими фільтрами або патронами – літерами FM. Згідно з ДСТУ EN 149:2017, протипилові респіратори з невіддільними фільтрами відповідно до класу позначаються – FFP1, FFP2 і FFP3, а з відокремленими, згідно до ДСТУ EN 1827:2017, позначаються FMP1, FMP2 і FMP3.

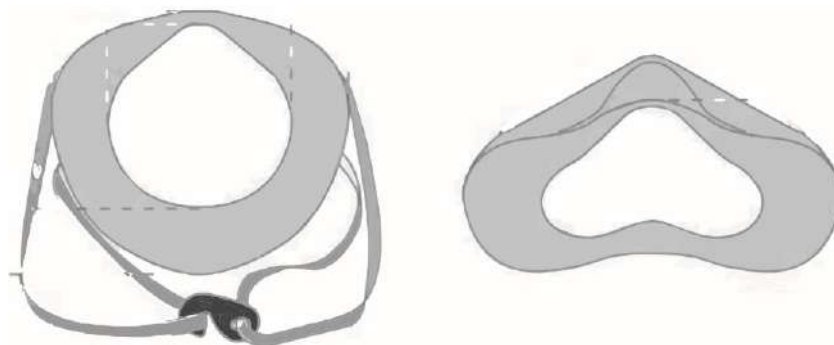


Рис. 6 – Конструкція обтюратора респіратора зі самовисмоктуванням

Після вибору декількох марок ЗІЗОД, які задовольняють вище згаданим вимогам, відповідно до п. 6 розділу 2 НПАОП 0.00-7.17-18, роботодавець зобов'язаний провести порівняння їх за експлуатаційними та ергономічними властивостями з огляду на специфіку їх безпосереднього використання. Ця процедура відповідає оцінці придатності ЗІЗОД, наведеної у п. 9.3 ДСТУ EN 529:2006. Передбачено декілька етапів з визначення впливу на ЗІЗОД навколишнього середовища, температури, вологості повітря (необхідно для підбору типу фільтра пилові Р; від рідких аерозолів S; твердих L та інші); можливої агресивності атмосфери (важливо для вибору типу ЗІЗОД – автономні чи фільтрувальні), фізичних властивостей шкідливої речовини (для розрахунку терміну захисної дії); пристосованості з огляду на завдання (для визначення опору фільтрів, термінів роботи у ЗІЗОД, необхідності перерв). Крім того, встановлюються вимоги до видимості, рухомості, зв'язку, тривалості носіння (обґрунтовується тип лицевої частини: півмаска чи маска).

Для проведення наведених процедур рекомендується залучати представників виробників обраних ЗІЗОД, які повинні допомогти проконтролювати належний робочий стан виробів і, в першу чергу, виходячи з конкретних умов, встановити строки придатності фільтрів [17]. Бажаючи, щоб у виробника був алгоритм з оцінювання закінчення строку служби для визначеної речовини і умов праці (п. А.2.4.3) та метод оцінювання ризиків (D.2.8) за ДСТУ EN 529:2006.

Висновки

1. Запропонована нова класифікація ЗІЗОД, в якій поділ відбувається на основі спільних характеристик, що дозволяє виділити певні відділи, підвідділи, групи, підгрупи, види, підвиди й різновиди, які повністю охоплюють всі конструктивні особливості будь-якого ЗІЗОД. Це дає можливість з розумінням розробити послідовність дій при виборі ЗІЗОД та чітко зрозуміти структурну взаємодію між різними групами ЗІЗОД та визначити ступінь розгалуженості можливих варіантів.

2. Розроблена класифікація є першою спробою у розподілі всіх існуючих ЗІЗОД за зрозумілим ієрархічним порядком підлеглості нижчих ланок вищим, починаючи з відділу – фільтрувальні ЗІЗОД і закінчуючи різновидом – за ступенем досконалості конструкції респіраторів або/ї їх складових щодо фізіологічних вимог.

Перелік використаних джерел:

1. World Health Organization [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/occupational-health--health-workers>.
2. Elaboration of an integral system of company management by developing corporate and safety culture / V.A. Tsopa, S.I. Cheberiyachko, O.O. Yavorska, V.V. Hilpert, A.V. Yavorskyi // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2021. – Vol. 3. – Pp. 100-105. – Mode of access: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-3/100>.
3. НПАОП 0.00-1.04-07. Правила выбора и применения средств индивидуальной защиты органов дыхания. – Введ. 2008-15-08. – X. : Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2008. – 32 с.
4. Selection of effective filter respirators. Challenges and opportunities / S. Cheberiyachko, O. Deryugin, V. Mirnenko, N. Borodina // Social Development and Security. – 2020. – Vol. 10(4). – Pp. 23-41. – Mode of access: <https://doi.org/10.33445/sds.2020.10.4.3>.
5. Evaluation of the probability of miners' protection while using filtering respirators / S. Cheberiyachko, O. Yavorska, O. Deriyuhin, A. Yavorskyi // E3S Web of Conferences 01021. Ukrainian School of Mining Engineering. – 2020. – Vol. 201. – Pp. 1-11. – Mode of access: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101021>.
6. Оцінка захисної ефективності фільтрувальних респіраторів при виборі й експлуатації / С.І. Чеберячко, О.В. Дерюгін, О.П. Шароватова, Т.О. Луценко, М.М. Наумов // Проблеми надзвичайних операцій. – 2021. – № 2(34). – С. 29-40. – Режим доступу: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2021-34-3>.
7. Розрахунок захисної ефективності фільтрувальних півмасок для захисту від вірусів методом комп'ютерного моделювання / С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, О.О. Яворська, О.В. Дерюгін, М.М. Наумов, О.В. Станіславчук // Modern Engineering and Innovative Technologies. – 2022. – № 20(2). – С. 68-89. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2022-20-02-022>.

8. Respiratory Protective Equipment, Mask Use, and Respiratory Outcomes among World Trade-Center Rescue and Recovery Workers / V.C. Antao, L.L. Pallos, Y.K. Shim, J.H. Sapp, R.M. Brackbill, J.E. Cone, S.D. Stellman, M.R. Farfel // *American journal of industrial medicine*. – 2011. – № 54(12). – Pp. 897-905. – Mode of access: <https://doi.org/10.1002/ajim.21009>.
9. Health Effects of Coastal Storms and Flooding in Urban Areas: A Review and Vulnerability Assessment / K. Lane, K. Charles-Guzman, K. Wheeler, Z. Abid, N. Graber, T. Matte // *Journal of Environmental and Public Health*. – 2013. – Vol. 2013, article ID 913064. – Mode of access: <https://doi.org/10.1155/2013/913064>.
10. Racz L.A. Handbook of Respiratory Protection. Safeguarding Against Current and Emerging Hazards / L.A. Racz, D.P. Yamamoto, R.M. Eninger. – 1st Ed. – CRC Press, 2018. – 580 p.
11. Don-Hee Han. Selection Guide to Wearing Respirators According to Work Situations and On-site Applicability / Han Don-Hee // *Safety and Health at Work*. – 2021. – Vol. 12(4). – Pp. 424-431. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.07.011>.
12. Посібник з оцінки ризиків на робочому місці. – Люксембург: Бюро офіційних публікацій Європейських Співтовариств, 1996. – 57 с. – Режим доступу: www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---lab_admin/documents/projectdocumentation/wcms_650135.pdf.
13. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». – Затв. 08.04.2014. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#n14>.
14. Respiratory Protective Equipment, Mask Use, and Respiratory Outcomes among World Trade Center Rescue and Recovery Workers / V.C. Antao, L.L. Pallos, Y.K. Shim, J.H. Sapp, R.M. Brackbill, J.E. Cone, S.D. Stellman, M.R. Farfel // *American journal of industrial medicine*. – 2011. – Vol. 54(12). – Pp. 897-905. – Mode of access: <https://doi.org/10.1002/ajim.21009>.
15. Health Effects of Coastal Storms and Flooding in Urban Areas: A Review and Vulnerability Assessment / K. Lane, K. Charles-Guzman, K. Wheeler, Z. Abid, N. Graber, T. Matte // *Journal of Environmental and Public Health*. – 2013. – Vol. 2013, article ID 913064. – Mode of access: <https://doi.org/10.1155/2013/913064>.
16. Racz L.A. Handbook of Respiratory Protection: Safeguarding Against Current and Emerging Hazards / L.A. Racz, D.P. Yamamoto, R.M. Eninger. – 1st ed. – CRC Press, 2017. – 580 p.
17. Don-Hee Han. Selection Guide to Wearing Respirators According to Work Situations and On-site Applicability / Han Don-Hee // *Safety and Health at Work*. – 2021. – Vol. 12(4). – Pp. 424-431. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.07.011>.

References:

1. World Health Organization Available at: www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/occupational-health--health-workers (accessed 10 July 2022).
2. Tsopa V.A., Cheberiyachko S.I., Yavorska O.O., Hilpert V.V., Yavorskyi A.V. Elaboration of an integral system of company management by developing corporate and safety culture. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021, vol. 3, pp. 100-105. **doi: 10.33271/nvngu/2021-3/100**.
3. *НПАОП 0.00-1.04-07. Правила вибору і примінення засредств індивідуальної захисту органів дихання* [Normative legal act on labor protection 0.00-1.04-07. Rules for the selection and use of personal respiratory protection equipment]. 2008. 32 p. (Рус.)
4. Cheberiyachko S., Deryugin O., Mirnenko V., Borodina N. Selection of effective filter respirators. Challenges and opportunities. *Social Development and Security*, 2020, vol. 10(4), pp. 23-41. **doi: 10.33445/sds.2020.10.4.3**.
5. Cheberiyachko S., Yavorska O., Deriuhin O., Yavorskyi A. Evaluation of the probability of miners' protection while using filtering respirators. *E3S Web of Conferences 01021. Ukrainian School of Mining Engineering*, 2020, vol. 201, pp. 1-11. **doi: 10.1051/e3sconf/202020101021**.
6. Cheberiyachko S.I., Deriugin O.V., Sharovatova O.P., Lutsenko T.O., Naumov M.M. Otsinka zakhisnoї efektyvnosti fil'truval'nikh respiratoriv pri vibori i ekspluatatsii [Evaluation of the protective effectiveness of filter respirators during selection and operation]. *Problemi nadzvichainikh operatsii – Problems of emergencies*, 2021, № 2(34), pp. 29-40. **doi: 10.52363/2524-0226-2021-**

34-3. (Ukr.)

7. Cheberiachko S.I., Cheberiachko Iu.I., Iavors'ka O.O., Deriugin O.V., Naumov M.M., Stanislavchuk O.V. Rozrakhunok zakhisnoї efektyvnosti fil'truval'nykh pivmasok dlia zakhistu vid virusiv metodom komp'uternogo modeliuвання [Calculation of the protective efficiency of filter half-masks for protection against viruses using computer simulation]. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 2022, № 20(2), pp. 68-89. doi: **10.30890/2567-5273.2022-20-02-022**. (Ukr.)
8. Antao V.C., Pallos L.L., Shim Y.K., Sapp J.H., Brackbill R.M., Cone J.E., Stellman S.D., Farfel M.R. Respiratory Protective Equipment, Mask Use, and Respiratory Outcomes among World TradeCenter Rescue and Recovery Workers. *American journal of industrial medicine*, 2011, № 54(12), pp. 897-905. doi: **10.1002/ajim.21009**.
9. Lane K., Charles-Guzman K., Wheeler K., Abid Z., Graber N., Matte T. Health Effects of Coastal Storms and Flooding in Urban Areas: A Review and Vulnerability Assessment. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013, vol. 2013, article ID 913064. doi: **10.1155/2013/913064**.
10. Racz L.A., Yamamoto D.P., Eninger R.M. Handbook of Respiratory Protection. Safeguarding Against Current and Emerging Hazards. CRC Press Publ., 2018. 580 p.
11. Don-Hee Han. Selection Guide to Wearing Respirators According to Work Situations and On-site Applicability. *Safety and Health at Work*, 2021, vol. 12(4), pp. 424-431. doi: **10.1016/j.shaw.2021.07.011**.
12. *Posibnik z otsinki rizykyv na robochomu mistsi* [Guide to risk assessment in the workplace]. Luxembourg, Biuro ofitsiinykh publikatsii Evropeis'kikh Spivtovaristv Publ., 1996. 57 p. Available at: www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--ed_dialogue/--lab_admin/documents/projectdocumentation/wcms_650135.pdf (accessed 15 August 2022). (Ukr.)
13. *Derzhavni sanitarni normi ta pravila «Gigienichna klasifikatsiia pratsi za pokaznikami shkidlivosti ta nebezpechnosti faktoriv virobnichogo seredovishcha, vazhkosti ta napruzhenosti trudovogo protsesu»* [State sanitary norms and rules «Hygienic classification of work according to indicators of harmfulness and dangerous factors of the production environment, difficulty and tension of the labor process»]. 2014. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#n14. (accessed 20 August 2022). (Ukr.)
14. Antao V.C., Pallos L.L., Shim Y.K., Sapp J.H., Brackbill R.M., Cone J.E., Stellman S.D., Farfel M.R. Respiratory Protective Equipment, Mask Use, and Respiratory Outcomes among World Trade Center Rescue and Recovery Workers. *American journal of industrial medicine*, 2011, vol. 54(12), pp. 897-905. doi: **10.1002/ajim.21009**.
15. Lane K., Charles-Guzman K., Wheeler K., Abid Z., Graber N., Matte T. Health Effects of Coastal Storms and Flooding in Urban Areas: A Review and Vulnerability Assessment. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013, vol. 2013, article ID 913064. doi: **10.1155/2013/913064**.
16. Racz L.A., Yamamoto D.P., Eninger R.M. Handbook of Respiratory Protection: Safeguarding Against Current and Emerging Hazards. CRC Press Publ., 2017. 580 p.
17. Don-Hee Han. Selection Guide to Wearing Respirators According to Work Situations and On-site Applicability. *Safety and Health at Work*, 2021, vol. 12(4), pp. 424-431. doi: **10.1016/j.shaw.2021.07.011**.

Рецензент: М.М. Налісько
д-р техн. наук, проф., ПДАБА

Стаття надійшла 13.09.2022

**МЕТОДИКА СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ДЕФОРМАЦІЄЮ АРОЧНОГО
КРІПЛЕННЯ ПРИ ВЕДЕННІ ГІРНИЧИХ РОБІТ
ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ГІРНИКІВ**

Безпечність проведення робіт завжди є пріоритетним напрямком. В умовах проведення гірничих робіт на теперішній час в складних гірничо-геологічних умовах, коли глибина розробки більшає, це питання вирішується непросто. Охоронні споруди і кріплення, які стоять на сторожі безпеки ведення гірничих робіт, повинні перебувати під пильним контролем. Це дозволить зменшити обсяги ремонтних робіт та завчасно попередити про небезпеку робітників. На основі натурних шахтних спостережень за деформацією аркового кріплення підготовчих виробок, що знаходяться в зоні ведення очисних робіт, з використанням методом лінійної інтерполяції отриманих даних була запропонована методика натурних спостережень. Для вирішення поставленої задачі були проведені натурні дослідження в умовах шахти «Ювілейна» ДП ДХК «Павлоградвугілля». Отримані дані були опрацьовані, побудовані графіки деформації, графіки зміни параметрів виробки з часом, виконаний необхідний аналіз отриманих даних і розроблена методика шахтних спостережень. Наукова новизна полягає у забезпеченні нового представлення залежності впливу опорного тиску на швидкість проходження деформаційних процесів, що позначається на зміні перетину виробки, зміні первісних даних розмірів висоти і ширини виробки. Практична значимість полягає в отриманні результатів впливу очисних робіт на зміну робочого перерізу виробки. Зміна швидкості деформування значень висоти виробки опосередковано характеризує зони опорного тиску. Отримані параметри результатів деформування можливо використовувати в чисельному моделюванні деформації бічних порід і в подальшому прогнозуванні небезпечних станів, зумовлених проявами опорного тиску у зоні впливу очисних робіт.

Ключові слова: підготовча виробка, методика виміру параметрів, деформація аrochenого кріплення, швидкість деформування, перетин виробки.

O.P. Kohtieva, O.I. Serhiienko, N.B. Mitina, A.S. Belikov. Methodology of observations during work in conditions of deformation of arch support to improve the safety of workers. Safety of works is always a priority. In the conditions of mining operations at present in difficult mining and geological conditions, when the depth of development increases, this issue is not easy to solve. Protective structures and supports, which guard the safety of mining operations, should be under close control. This will reduce the amount of repair work and warn workers about the danger in advance. On the basis of full-scale mine observations of the deformation of the arch support of the preparatory workings located in the area of cleaning works, using the method of linear interpolation of the obtained data, a method of full-scale observations was proposed. To solve this problem, field studies were carried out in the conditions of the Yubileynaya mine of the Pavlogradugol State Enterprise. The obtained data were processed, deformation graphs,

¹ аспірант, інженер I кат., Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро, ORCID: 0000-0001-7282-8243, 200483leo@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Донецький національний технічний університет, м. Луцьк, ORCID: 0000-0002-3786-342X, kirova142@ukr.net

³ канд. техн. наук, доцент, Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-5384-7040, natalimitina0000@gmail.com

⁴ д-р техн. наук, професор, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро, ORCID: 0000-0001-5822-9682, belikov@pdaba.edu.ua

graphs of changes in the parameters of the workings over time were built, the necessary analysis of the data obtained was performed and the methodology of mine observations was developed. The scientific novelty consists in providing a new representation of the dependence of the bearing pressure on the rate of deformation processes, which affects the change in the cross-section of the workings, the change in the initial data of the dimensions of the height and width of the workings. Practical significance lies in obtaining the results of the impact of cleaning works on the change of the working cross-section of the workings. The change in the deformation rate of the values of the height of the workings indirectly characterizes the bearing pressure zones. The obtained parameters of the deformation results can be used in the numerical modeling of the deformation of the side rocks, and in the further prediction of dangerous conditions caused by the manifestations of the bearing pressure in the zone of influence of the cleaning works.

Key words: preparatory workings, method of measuring parameters, deformation of arch support, deformation rate, cross-section of the workings.

Постановка проблеми. В складних гірничо-геологічних умовах питання безпеки для працівників залишається актуальним, як і завжди. Обґрунтування параметрів штучних охоронних споруд, з точки зору геомеханіки, дозволить зменшити терміни і заощадити кошти на підготовку нових виїмкових дільниць, зменшити собівартість вугілля, підвищити рентабельність видобувного підприємства.

Проведення гірничих виробок є одним із проблемних питань всієї вугільної промисловості України. Питання своєчасної підготовки нової лінії очисних вибоїв на шахтах займають перше місце. Очисні вибої в даний час обладнані сучасною технікою, що дозволяє їм посуватися зі швидкістю 100-150 метрів на місяць при довжині лави 275-310 метрів. Тому існує відома проблема по підготовці нових лав, що може приводити до скорочення діючої лінії очисних вибоїв, втратам видобутку вугілля і, як наслідок, до зниження прибутку від реалізації вугілля. Втрачаються кошти не тільки на заробітну плату, але й, що саме головне, на технічне переозброєння шахти, капітальне будівництво, соціальні програми.

Під стійкістю шахтної виробки мається на увазі її здатність перебувати протягом певного проміжку часу в нормальному експлуатаційному стані [1]. Основні функції охоронних споруд полягають у наступному: зменшити вплив гірського тиску на кріплення виробок, значно скоротити обсяги ремонтних робіт, а також забезпечити безпечне ведення гірничих робіт. Існує безліч способів і засобів охорони виробок. Проте не в усіх способах враховуються особливості геомеханічних процесів, які протікають у вуглепородному масиві. Тому це питання є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У натурних (шахтних) умовах за допомогою різних приладів визначають величини зсуву гірських порід, напруження у гірському масиві та навантажень на кріплення та інші природні та штучні споруди. До натурних відносяться також візуальний та непрямий методи.

Метод фотофіксації дає якісну оцінку зсувів на контурі виробки. Спроби застосування цього методу для отримання кількісної оцінки зсувів як у нашій країні, так і за кордоном, не дали позитивних результатів через складність відшукування нерухої точки в перерізі виробки для наведення на неї видошукача фотоапарата [2].

Автори цих досліджень [3] для випробування замків підвищеної несучої здібності на певних ділянках виробки встановлювали наглядні станції, на яких виконували моніторинг зсувів порід покрівлі, підшви та боків. Щоб виміряти конвергенцію за контуром виїмкової виробки, використовували схему вимірів за допомогою контурних реперів та спеціального транспортера. Процес досліджень складався з інструментальних спостережень за вертикальними та горизонтальними розмірами виробки, а також вимірювання кутів поздовжнього скручування деформованих елементів кріплення.

Авторами цих досліджень [4] запропоновано методику інструментальних та фотометричних вимірювань для ведення робіт у складних гірничо-геологічних умовах та спрощено розрахунки з використанням фотометричних даних.

Зарубіжними авторами [5] проведені натурні дослідження методом, що базується на швидких вимірюваннях LiDAR/Terrestrial Laser Scanner для отримання хмари точок, що дозволяє генерувати просторову модель геометрії шахти.

Метою дослідження є виконання натурних спостережень за деформацією аркового кріплення підготовчих виробок, з послідуочим аналізом даних і розробки методики шахтних інструментальних спостережень.

Виклад основного матеріалу. Розроблена методика шахтних інструментальних спостережень за деформацією арочного кріплення і перетином виробки, яка полягає у тому, що на контурі арочного кріплення кожної замірної станції фіксують п'ять реперів. Дві розташовані на ніжках кріплення з відстанню 1 м від підшви виробки, для виміру ширини виробки. Схема розміщення реперів для зняття показників наведена на рис. 1(а).

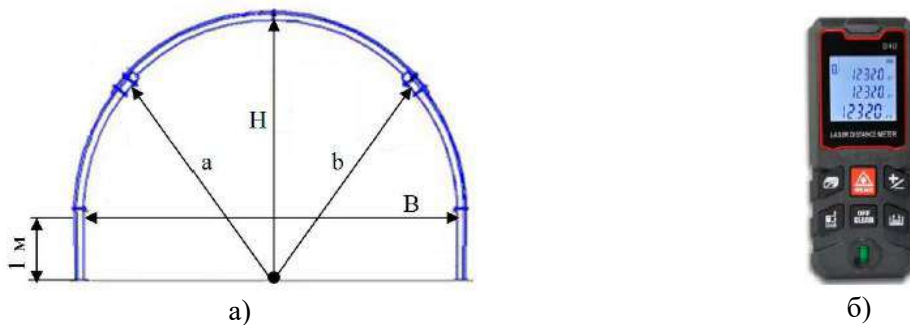
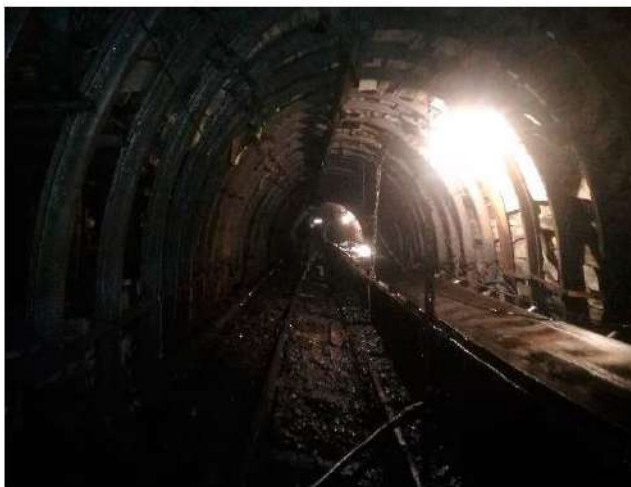


Рис. 1 – Схема вимірювання реперних параметрів розташованих на арчному кріпленні (а), та зовнішній вигляд лазерного далекоміру (б)

Ще дві розташовані на замках і остання на вершині арочного кріплення для виміру висоти виробки та встановлення деформації її перетину. Три виміри відбуваються від реперу на підшви виробки (це може бути рейковий шлях або інша позначка). Виміри здійснюються за допомогою лазерного далекоміру SW-G4S для вимірів до 40м, з похибкою ± 1 мм (рис. 1, б).

Методом лінійної інтерполяції за вихідними даними встановлена геометрія поточного перетину виробки, що досліджувалась. Таким чином були отримані дані про початковий стан виробки. Окрім використання інструментального вимірювального методу, застосовувався метод спостереження і фотофіксації стану виробки (рис. 2, а,б).



а)



б)

Рис. 2 – Стан виробки в масиві до підходу очисного вибою та під впливом виробленого простору: а – конвеєрна виробка у масиві; б – стан арчного кріплення підготовчої виробки у зоні впливу виробленого простору

Отримані дані, згідно запропонованого методу інструментальних досліджень, можливо перетворити на відображення стану перетину кріплення виробки, завдяки лінійної апроксимації даних. Таким чином отримаємо зміну стану перетину виробки на кожному етапі відробки лави та її існування (рис. 3). Найбільші зміни стану виробки відбуваються у зоні впливу очисних робіт та виробленого простору.

Зміна висоти та ширини виробки по її довжині під впливом очисних робіт змінюється нерівномірно та хвилюподібно (рис. 4). Це можливо опосередковано пояснити впливом породних шарів на формування гірського тиску. Отже при зависанні породного шару, гірський тиск на бічні породи виробки збільшується, а при їх обваленні відбувається перерозподіл напруження і гірський тиск на бічні породи виробки зменшується.

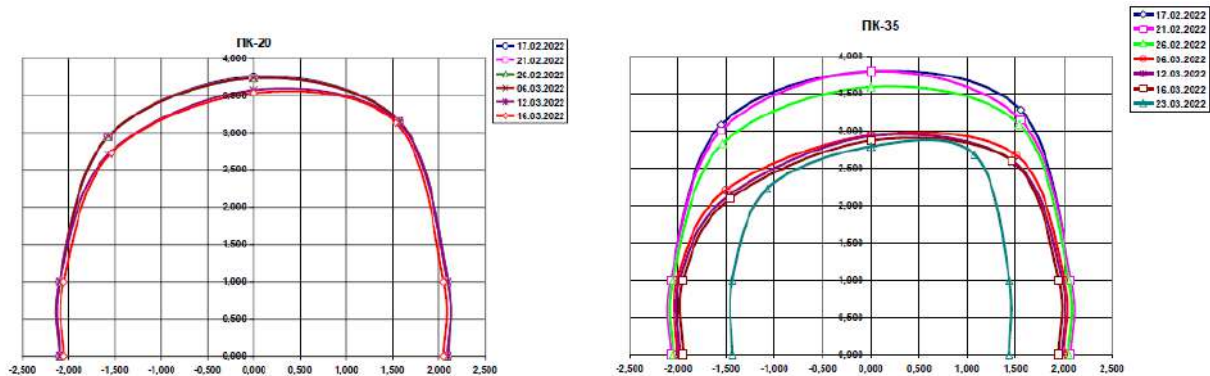


Рис. 3 – Відбудова перетину виробки згідно методики інструментального виміру параметрів по кожній замірній станції

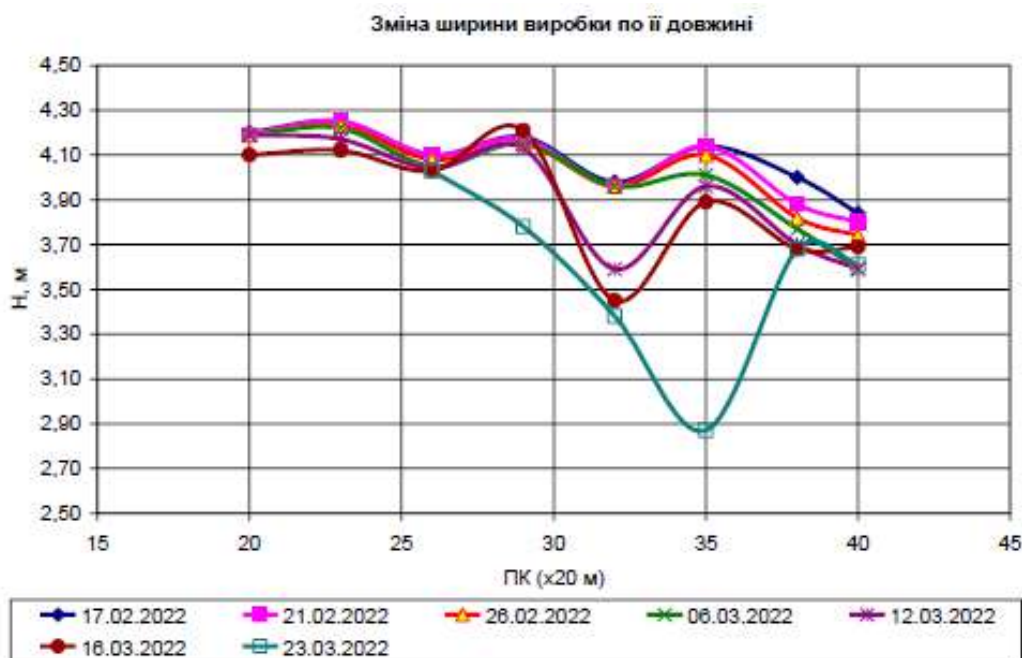


Рис. 4 – Зміна висоти та ширини підготовчої виробки під впливом очисних робіт

Графік зміни швидкості деформування висоти виробки від відстані до очисного вибою вказує на те, що відбувається збільшення швидкості деформування виробки при наближенні її до зони опорного тиску (рис. 5). Швидкість деформування починає зростати ще на відстані 150 м від лінії очисного вибою, але попереду очисного вибою на відстані 20-50 м вона зменшується і потім на відстані до 20 м різко зростає. Також швидкість деформування зростає за лінією

очисного вибою ще на відстані до 80 м. Після чого, у зоні розвантаження, швидкість деформування висоти зменшується.

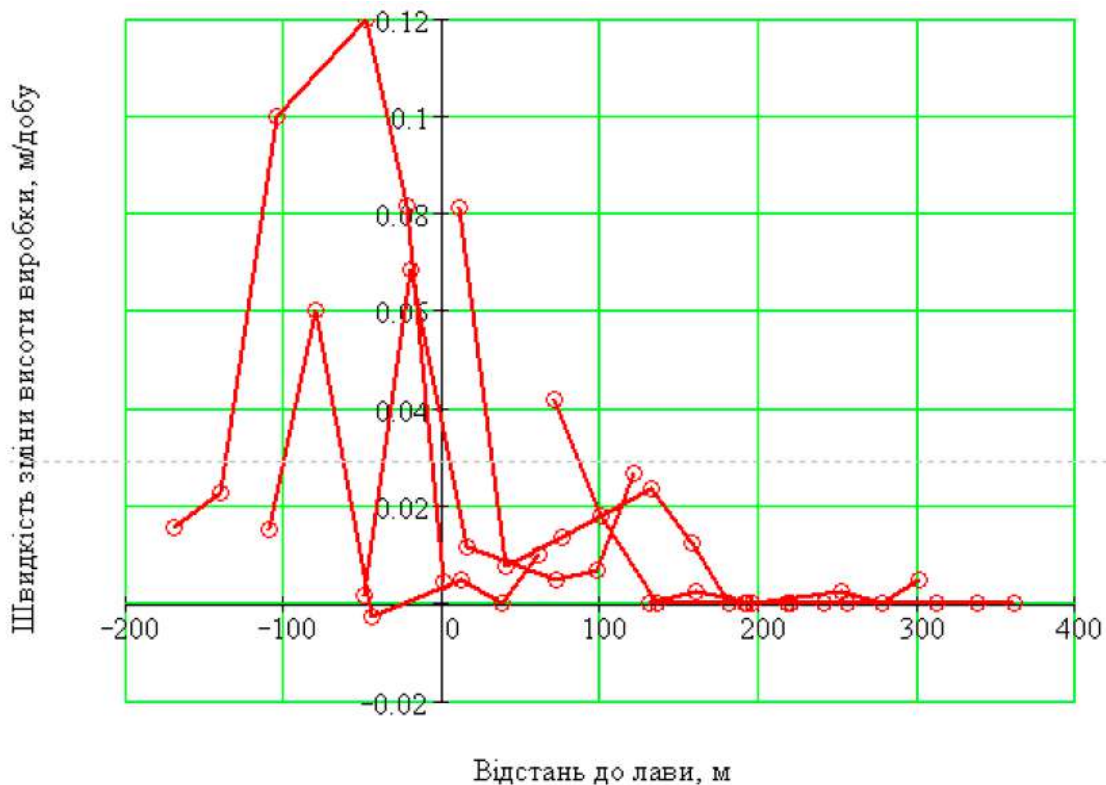


Рис. 5 – Графік зміни швидкості деформування висоти виробки від відстані до очисного вибою

Висновки

Розроблена методика шахтних інструментальних спостережень за деформацією арочного кріплення і перетином виробки. Для встановлення геометрії поточного перетину виробки використовуємо метод лінійної інтерполяції даних. Отримані дані, згідно запропонованого методу інструментальних досліджень, можливо перетворити на відображення стану перетину кріплення виробки, завдяки лінійній апроксимації даних. Таким чином отримаємо зміну стану перетину виробки на кожному етапі відробки лави та її існування. Найбільші зміни стану виробки відбуваються у зоні впливу очисних робіт та виробленого простору. Зміна висоти та ширини виробки на кожній замірній станції відбувається плавно, доки виробка не виявиться під впливом очисних робіт у зоні опорного тиску. Тоді відбувається різке зменшення її висоти, що доцільно потребує розглядання такого параметра як швидкість деформування розмірів виробки або параметрів її перетину.

Такий параметр, як швидкість деформування перетину виробки можливо опосередковано використовувати у якості критерію визначення зони впливу очисних робіт, а також зони опорного тиску.

Для розробки та удосконалення способів підтримки виробок необхідно розглядати напружено-деформований стан порід з властивостями великих в'язко-пружних деформацій.

Перелік використаних джерел:

1. Геомеханічні основи підвищення стійкості підготовчих виробок: навчальний посібник / В.І. Бондаренко, В.І. Бузило, М.М. Табаченко, В.Ю. Медяник. – Д. : ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2010. – 408 с.
2. Механіка гірських порід: навч. посібник / під загальн. ред. С.С. Гребьонкіна, М.М. Гавриша. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – 279 с.

3. Назимко В.В. Инструментальные наблюдения за сдвижением на контуре подготовительных выработок в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях / В.В. Назимко, А.А. Яйцов // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2010. – № 6. – С. 336-349.
4. Посохов Е.В. Измерения смещений боковых пород в выемочных выработках глубоких горизонтов / Е.В. Посохов // Уголь Украины. – 2016. – № 11-12. – С. 10-16.
5. A method for large underground structures geometry evaluation based on multivariate parameterization and multidimensional analysis of point cloud data / A. Wróblewski, J. Wodecki, P. Trybała, R. Zimroz // *Energies*. – 2022. – № 15(17). – Pp. 1-20. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/en15176302>.

References:

1. Bondarenko V.I., Buzilo V.I., Tabachenko M.M., Medianyuk V.Y. *Geomekhanichni osnovi pidvishchennia stiiikosti pidgotovchikh virobok: navchal'nii posibnik* [Geomechanical basics of increasing the stability of preparatory works: tutorial]. Dnipro, DVNZ «Natsionalnuy hirnuchuy universitet» Publ., 2010. 408 p. (Ukr.)
2. Grebienkin S.S., Gavrisch M.M. *Mekhanika girs'kikh porid: navch. posibnik* [Rock mechanics: tutorial]. Donetsk, DonNTU Publ., 2004. 279 p. (Ukr.)
3. Nazimko V.V., Yaitzov A.A. Instrumental'nye nabludeniia za sdvizheniem na konture podgotovitel'nykh vyrabotok v slozhnykh gorno-geologicheskikh i gornotekhnicheskikh usloviiakh [Instrumental observations of displacement on the contour of development workings in difficult mining and geological and mining conditions]. *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukraini – Transactions of UkrNDMI NAN Ukraine*, 2010, № 6, pp. 336-349. (Rus.)
4. Posokhov E.V. Izmereniia smeshchenii bokovykh porod v vyemochnykh vyrabotkakh glubokikh gorizontov [Measurements of side rock displacements in workings of deep horizons]. *Ugol' Ukrainy – Coal of Ukraine*, 2016, № 11-12, pp. 10-16. (Rus.)
5. Wróblewski A., Wodecki J., Trybała P., Zimroz R. A method for large underground structures geometry evaluation based on multivariate parameterization and multidimensional analysis of point cloud data. *Energies*, 2022, № 15(17), pp. 1-20. doi: 10.3390/en15176302.

Рецензент: О.Е. Кіпко
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ДонНТУ»

Стаття надійшла 28.09.2022

275 ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656.614.2

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276272

© Михайлова Ю.В.¹, Наврозова Ю.О.², Стеба А.А.³

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ КРУЇЗНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ НА ЯХТАХ

Метою статті є дослідження особливостей форм пасажирських перевезень на яхтах та, зокрема, процесу організації круїзних перевезень на яхтах. Морські та річкові перевезення пасажирів на яхтах є формою круїзу та класифікуються на дві самостійні групи: яхт-чартер та яхт-круїз. Близько 15% світового ринку належить оренді яхт з екіпажем та 85% – без екіпажу. При діапазоні від 1000 євро до більш 10000 євро середня вартість оренди яхти у 2022 році становила 4420 євро. Хорватія була найпопулярнішим напрямком для оренди яхт у 2022 році: понад 38% чартерних бронювань яхт було здійснено у країні. Організація обслуговування пасажирів на яхтах може бути різною в залежності від розміру та типу яхти, а також від вимог та очікувань клієнтів. Круїзи на яхті мають свої особливості організації та відрізняються від круїзів на лайнерах за розміром та кількістю пасажирів, маршрутами та портами, персоналом та обслуговуванням, вартістю, стилем та атмосферою. Яхт-круїзи організуються на невеликих суднах, які призначені для невеликої кількості пасажирів, більш індивідуалізовані та здійснюються в менш населених частинах світу, де доступність портів обмежена; мають меншу команду, що забезпечує більш індивідуальний підхід до обслуговування та персональні зв'язки з пасажиром вище через більш преміальний досвід та меншу кількість пасажирів; більш релаксовану атмосферу з фокусом на природні краєвиди та відпочинок на морі. Компанія Dream Yacht Charter є світовим лідером в галузі оренди яхт та круїзів, з флотом, що складається з більш ніж 1000 яхт. Компанія SeaDream Yacht Club є лідером у категорії «Luxury Small Ships за оцінкою Berlitz Complete Guide to Cruising and Cruise Ships у 2020 році.

Ключові слова: пасажир, туристи, круїз, яхти, яхт чартер, круїзна компанія.

Iu. Mykhailova, Yu. Navrozova, A. Steba. Features of the organization of cruise transportation of passengers on yachts. The purpose of the article is to study the peculiarities of the forms of passenger transportation on yachts and, in particular, the process of organizing cruise transportation on yachts. Sea and river transportation of passengers on yachts is a form of cruise and is classified into two independent groups: yacht charter and yacht cruise. About 15% of the global market belongs to the charter of yachts with a crew and 85% – without a crew. With a range from EUR 1,000 to more than EUR 10,000, the average cost of chartering a yacht in 2022 was EUR 4,420. Croatia was the most popular yacht charter destination in 2022, with more than 38% of yacht charter bookings made in the country. The organization of passenger service on yachts can be different depending on the size and type of yacht, as well as on the requirements and expectations of customers. Yacht

¹ канд. економ. наук, доцент, Одеський національний морський університет, м. Одеса, ORCID: 0000-0002-4882-7803, yuliya.mikhailova@i.ua

² канд. економ. наук, доцент, Одеський національний морський університет, м. Одеса, ORCID: 0000-0002-6106-2825, yuliana.docent@hotmail.com

³ ст. викладач, Одеський національний морський університет, м. Одеса, ORCID: 0009-0005-5777-9785, steba.anastasiya@gmail.com

cruises have their own organizational features and differ from liner cruises in terms of size and number of passengers, routes and ports, staff and service, cost, style and atmosphere. Yacht cruises are organized on smaller vessels that are designed for a small number of passengers, are more individualized and are carried out in less populated parts of the world where the availability of ports is limited; have a smaller team, which provides a more individual approach to service and personal connections with passengers are higher due to a more premium experience and a smaller number of passengers; a more relaxed atmosphere with a focus on natural landscapes and recreation at sea. Dream Yacht Charter is a world leader in yacht charter and cruises, with a fleet of over 1,000 yachts. SeaDream Yacht Club is the leader in the «Luxury Small Ships» category according to the Berlitz Complete Guide to Cruising and Cruise Ships in 2020.

Key words: *passengers, tourists, cruise, yachts, yacht charter, cruise company.*

Постановка проблеми. У круїзній індустрії відбуваються зміни, що пов'язані з новими вимогами пасажирів-туристів, які стають все більш індивідуальними. Пасажири потребують нових вражень та персоналізованого досвіду. Тому круїзні компанії високого класу поповнюють свій флот суднами менших розмірів, яхтами, щоб надавати першокласний сервіс та здійснювати круїзи в місця, які недоступні для лайнерів-гігантів. Окремо зростає попит на фрахтування яхти, щоб відкрити для себе нові можливості та отримати нові враження від круїзу.

Прикладом є круїзна компанія класу люкс Crystal Cruises, яка володіла двома елітними круїзними лайнерами та поповнила свій флот мега-яхтою Crystal Endeavor 2020 р. побудови. Довжина яхти – 183 м, пасажиромісткість – 100-200 осіб, екіпаж чисельністю – 200 осіб. Це найбільша круїзна яхта в світі [1].

Популярність сфери яхтових пасажирських перевезень підтверджується тенденцією зростання виробництва суден: 58% вітрильних суден у всьому світі мають вік менше 5 років.

Яхтовий туризм – це форма туризму, пов'язана з подорожами на яхтах. Яхтовий туризм може включати оренду яхти, проживання на яхті та плавання по водних шляхах для різних цілей: для відпочинку, розваг, спорту або відвідування туристичних об'єктів. До популярних місць для яхтового туризму належать Середземномор'я, Карибські острови, Мальдіви, Таїланд та інші. Також яхтовий туризм може бути частиною інших туристичних програм, наприклад, круїзів або подорожей на курортних місцях з доступом до яхтових клубів та інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретико-методичні аспекти розвитку круїзного туризму представлені в дослідженнях Н.А. Логунової [2], Ю.В. Михайлової [3], С.Г. Нездоймінова [4] та інших.

Практичні питання організації круїзного туризму знайшли своє відображення в роботах І.А. Голубкової [5], В.В. Жихаревої [6], Р.В. Чударева, С. П. Шпилько [7].

У роботі Селіванова В.В. освітлений туристичний аспект пасажирських перевезень. Залучення туристичних фірм в бізнес перевізників і використання існуючих напрацювань дозволило б розвинути ринок пасажирських перевізників, включаючи різні види перевезень, таких як перевезення поромним видом транспорту, прибережні перевезення, перевезення на малі відстані і ВІП сегмент – круїзне судноплавство [8]. У статтях розглянуто ринок перевезень пасажирів і його взаємодію з іншими ринками – ринком транспорту в цілому, ринком судноплавства, ринком індустрії розваг і рекреації, ринком туризму, ринком фрахтування круїзів (фрахтування круїзного тоннажу) [9-10]. Проблематика агентування круїзних суден та яхт досліджена в роботі [11].

Розгляд особливостей організації круїзних пасажирських перевезень на яхтах потребує додаткових досліджень.

Метою статті є дослідження особливостей форм пасажирських перевезень на яхтах та, зокрема, процесу організації круїзних перевезень на яхтах.

Виклад основного матеріалу. Яхти можуть бути різного розміру та типу, від невеликих вітрильних човнів до великих моторних яхт, що містять кімнати, кухні та інші зручності. Яхти можуть орендуватися з командою або без, залежно від досвіду та бажань орендарів.

На сьогоднішній день у світі існують тисячі типів яхт, які класифікують за різними критеріями: розміром, матеріалами, типом, призначенням, потужністю тощо [12-13].

Принциповим є поділ яхт за розміром. Яхти можуть бути класифіковані за їх розмірами: від малих різновидів, наприклад, каяків та каное, до великих суперяхт. Великі яхти, також відомі

як розкішні суперяхти, є найбільшою групою яхт. Велика яхта має довжину вантажної лінії, що дорівнює або перевищує 24 м. Майже всі адміністрації прапорів ухвалили правила безпеки для великих яхт. Отже, це єдине визначення яхти, що має універсальне значення у міжнародній нормативно-правовій базі яхт.

Яхти середнього розміру (довжиною 13-14 метрів) були найпопулярнішими розмірами яхт у 2022 році, на них припадало 20% бронювань. Більшість усіх яхт, заброньованих у 2022 році (72%), були довжиною від 11 до 15 метрів [14].

Яхти можуть бути класифіковані за їх типом. Наприклад, яхти можуть бути катамаранами, традиційними моногідними яхтами, моторними яхтами, вітрильними яхтами та іншими типами.

За призначенням яхти поділяються на спортивні, круїзні яхти, риболовні яхти, експедиційні яхти та інші.

Однокорпусні судна є найпопулярнішими суднами, а вітрильні яхти становлять 65% світових чартерних суден. Катамарани є другим за популярністю видом, становлячи 25% світових чартерних яхт [14].

Розмір яхти може впливати на її маневреність, потужність і швидкість. Більші яхти зазвичай мають більш комфортабельні умови проживання, але вимагають більшої кількості екіпажу і витрат на обслуговування. Менші яхти можуть бути більш маневреними та доступними для оренди або купівлі.

Моторна яхта є невеликим приватним круїзним судном, яке забезпечує мобільність і необхідні зручності, дозволяє організувати перебування на судні за бажанням його пасажирів, а екіпаж перевищує кількість гостей. Умови та сервіс на борту яхти дозволяють гостям почуватися персонами V.I.P.

Яхтові прогулянки та подорожі можуть бути тривалими – від 1 до 7 діб, від 7 та 14 діб, для сімейних круїзів характерні, в основному, короткочасні плавання, на weekend, під час шкільних канікул.

Країни, що спеціалізуються на яхтингу, повинні мати розвинену інфраструктуру стоянок та яхт-клубів, чітку нормативно-правову базу.

Яхтові стоянки (марини) надають послуги зі зберігання та ремонту яхт та катерів. У акваторіях, що замерзають, яхти прибирають на зберігання на берег, для цього марини мають спеціальні елінги і суднопідйомні пристрої, майстерні для ремонту суден, парусного озброєння, навігаційних приладів. Утримання стоянки в гаванях приморських та озерних центрів для яхт та моторних катерів – ціла індустрія. Це стоянки, що охороняються, в захищених молотом від хвиль просторах, з подачею електроенергії на борт, послугами дозаправки паливом, продовольством, послугами ремонту та іншими. Парковки зазвичай утримуються спеціальними фірмами – «marina operator». Вартість стоянки катера завдовжки 10-12 м коштує власнику 10-15 дол. США за добу. Не всім дістається місце біля причалу, деякі яхти та катери стоять у гавані на буї, з берега до них добираються на човні, наприклад, на широко поширеному надувному човні dinghy. Невеликий надувний човен або пліт використовується на суднах, що стоять на рейді або поблизу берега (якщо немає достатньо глибоководного та захищеного молотом причалу), для сполучення з берегом.

Марина Алімос в Афінах є найбільш популярною стоянкою для більшості яхт, вміщуючи 8% світового флоту чартерних яхт. Хорватські марини увійшли до 7 із 10 найпопулярніших пристаней у 2022 році [14].

Морські та річкові перевезення пасажирів на вітрильних суднах є формою круїзу та класифікуються на дві самостійні групи: яхт-чартер та яхт-круїз (рис. 1).

Яхт-чартер – це прокат невеликих (до 30-40 футів) суден на години, дні, тижні, місяці. Яхт-чартер зумовлює лише перевезення туристів до певного місця. Яхту можна взяти як з командою (шкіпером), так і без неї (за наявності орендаря сертифіката водіння). Близько 15% світового ринку належить оренді яхт з екіпажем та 85% – без екіпажу. Прийом та обслуговування яхт є надзвичайно прибутковим видом діяльності. У світовій практиці, крім портових зборів, туристи яхт, як правило, залишають у місті близько 100 дол. США за добу. Програми яхт-круїзів різноманітні. Здійснюють як короткі прогулянки від кількох днів, так і довгі – до кількох тижнів. Вартість фрахту в залежності від категорії яхти, її місткості коливається від 350 до 2500 дол. США з людини.

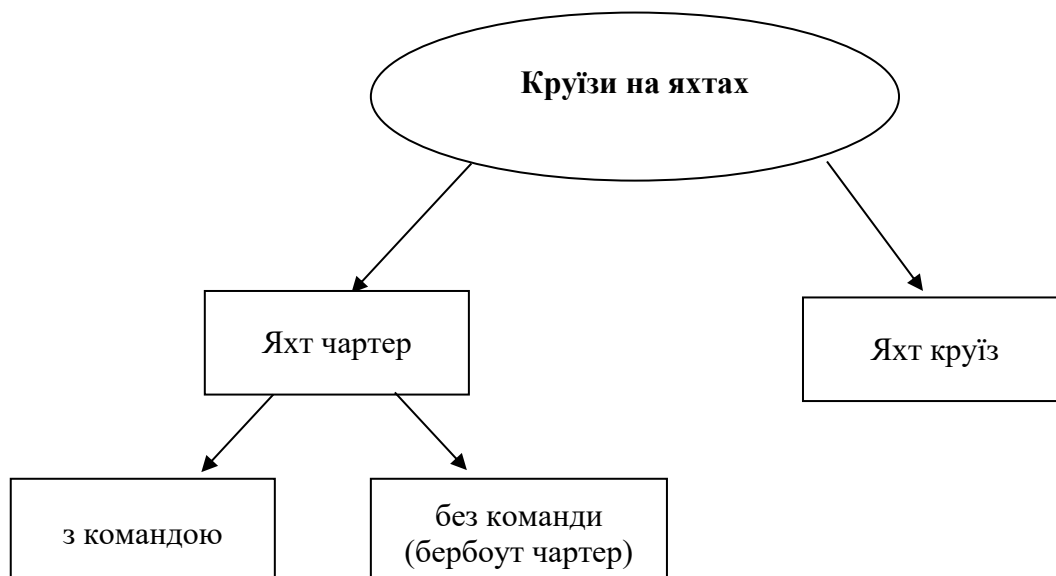


Рис. 1 – Організація круїзів на яхтах [3]

Переважна більшість приватних яхт належить сімейним власникам, це визначає специфіку яхтових подорожей. Значна частина яхт знаходиться у корпоративному володінні великих міжнародних компаній.

Зазвичай яхти пропонуються з повним екіпажем, який обов'язково включає висококласного шеф-кухаря та стюардів. Вона зазвичай представляється за схемою «все включено», хоча можливі інші варіанти, тоді вартість харчування, палива, оплати стоянок, зв'язку та інших послуг становить до 20 % від загальної вартості чартера.

Брокерські компанії оперують групою яхт у різних регіонах світу, які передані їй у менеджмент приватними власниками. Такі типи компаній особливо поширені у США, Великій Британії та Австралії.

Типові умови яхт чартеру, такі як Середземноморська Асоціація Брокерів Яхт (MYBA), Західно-Середземноморські Умови (WMT), Східно-Середземноморські Умови (EMT), Грецькі Правила (GT), Карибські Умови (CTI), представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Типові умови яхт чартеру [11]

Умови	Список витрат
MYBA	Фрахт (оренда яхти), страхування яхти, заробітна плата команди, харчування команди, користування судновою пральною.
WMT	Фрахт (оренда яхти), страхування яхти, заробітна плата команди.
EMT	Фрахт (оренда яхти), страхування яхти, заробітна плата команди, харчування команди, користування судновою пральною, а також всі поточні витрати (паливо для чотиригодинного круїзу, портовий збір, їжа на борту, витрати на зв'язок).
GT	Фрахт (оренда яхти), страхування яхти, заробітна плата команди, харчування команди, портовий збір в межах грецьких вод, вода та користування корабельної пральні.
CTI	Фрахт (оренда яхти), страхування яхти, заробітна плата команди, харчування команди, користування корабельною пральною, паливо на чотиригодинний круїз, триразове харчування, витрати місцевих податків, витрати на зв'язок і постановку в док.

Додаткові витрати оцінюються зазвичай від 20 до 40% від вартості чартеру (Advance Provisioning Allowance – АРА) і оплачуються орендарем у вигляді депозиту заздалегідь, в крайньому випадку – не пізніше, ніж перед початком чартеру.

Після закінчення чартеру з депозиту АРА віднімаються всі фактичні витрати згідно рахунку капітана. Невитрачені кошти повертаються, за перевитрату, в свою чергу, проводиться доплата на місці.

У додаткові витрати (АРА) зазвичай включається:

1. Паливо, згідно з фактичних витрат, з урахуванням доставки яхти до місця посадки і повернення в свій порт.
2. Харчування гостей (в деяких випадках і команди по типовим умовам), включаючи напої.
3. Оплата стоянок в портах.
4. Зв'язок.
5. Електроенергія і додаткове паливо, використане гостями – робота компресора для дайвінгу, моторні засоби для риболовлі та розваг тощо.
6. Додаткові послуги інструктора з дайвінгу, плавання, риболовлі, гіді і екскурсіводи тощо.
7. Інші витрати, що не увійшли у вартість, визначену типовими умовами.

Вартість чартеру може змінюватися в залежності від місця розташування яхти. У межах внутрішніх вод ЄС, відповідно ПДВ (VAT) не включений у вартість чартеру (ПДВ складає в середньому близько 20% в країнах Середземномор'я). Місцеві податки можуть також змінюватися поза внутрішніх вод ЄС. Деякі яхти мають комерційну реєстрацію і не обкладаються податком.

При діапазоні від 1000 євро до більш 10000 євро середня вартість оренди яхти у 2022 році становила 4420 євро. Більшість яхт (23%) коштували від 2000 до 2999 євро [14].

Хорватія була найпопулярнішим напрямком для оренди яхт у 2022 році: понад 38% чартерних бронювань яхт було здійснено у країні (рис. 2).

Греція була другим за популярністю місцем для оренди яхт у 2022 році, склавши 29% світових бронювань.

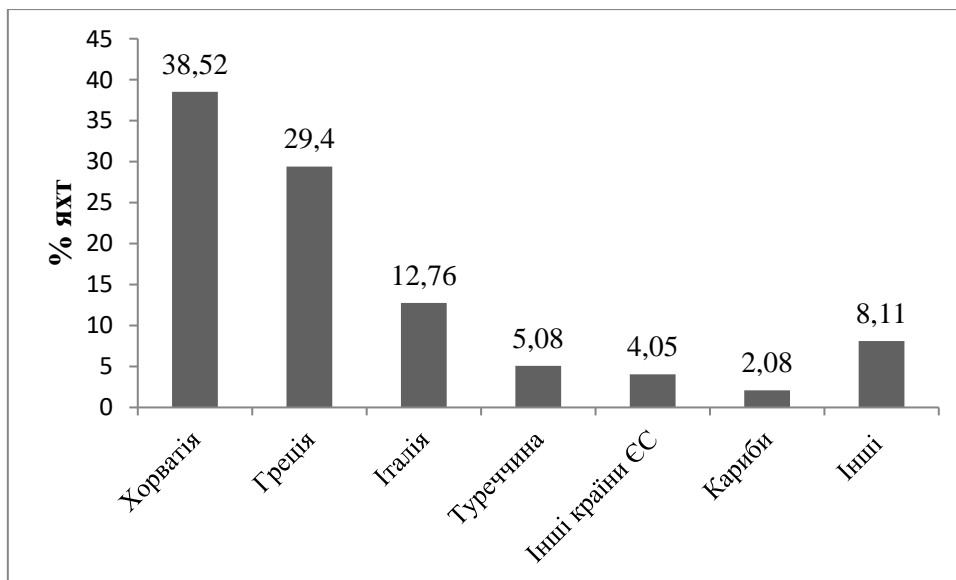


Рис. 2 – Рейтинг найпопулярніших напрямків для яхт чартеру у світі [14]

Організація обслуговування пасажирів на яхтах може бути різною в залежності від розміру та типу яхти, а також від вимог та очікувань клієнтів. Однак, основні аспекти організації обслуговування пасажирів на яхтах включають наступні:

1. Персонал: Команда яхти повинна бути досвідченою, професійною та доброзичливою, щоб забезпечити високий рівень обслуговування. Крім того, у більшості випадків на яхтах є окремий персонал для обслуговування гостей, такий як кухарі, офіціанти та персонал прибирання.

2. Їжа та напої: Багато яхт пропонують широкий вибір страв та напоїв, які можуть бути настроєні на потреби та вподобання пасажирів. Кухня може бути відкритою або закритою, в залежності від розміру та типу яхти.

3. Розваги та відпочинок: Яхти можуть мати різноманітні зони для відпочинку та розваг, такі як басейни, джакузі, салони з розважальними пристроями, кінотеатри та ігрові зони. Деякі яхти можуть також пропонувати водні види спорту, такі як дайвінг, сноркелінг та водний лижі.

4. Транспорт та екскурсії: Деякі яхти можуть пропонувати транспорт до берега та екскурсії в портах заходу. Наприклад, це може бути відвідування різних пляжів, міст та культурних пам'яток.

5. Комфорт та безпека: На яхтах повинен бути високий рівень комфорту та безпеки. Це включає у себе наявність кондиціонерів,

Круїзи на яхті мають свої особливості та відрізняються від круїзів на лайнерах (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльна характеристика круїзів на яхтах та лайнерах

Параметр	Круїзи на яхтах	Круїзи на лайнерах
Розмір та кількість пасажирів	невеликі судна, призначені для невеликої кількості пасажирів, від кількох до кількох десятків	великі плавучі готелі, які можуть вміщувати від кількох сотень до кількох тисяч пасажирів
Маршрути та порти	більш індивідуалізовані та здійснюються в менш населених частинах світу, де доступність портів обмежена	популярні маршрути, що охоплюють багато різних портів та країн
Персонал та обслуговування	меншу команду, що забезпечує більш індивідуальний підхід до обслуговування та персональні зв'язки з пасажирями	велика команда персоналу, що забезпечує пасажирів високоякісним сервісом та зручностями
Вартість	вища через більш преміальний досвід, меншу кількість пасажирів	нижча через більшу кількість пасажирів, меншу чисельність персоналу
Стиль та атмосфера	більш релаксована та інтимна атмосфера, з фокусом на природні краєвиди та відпочинок на морі	формальний та комерційний характер, з великою кількістю розважальних програм та ресторанів на борту

*Джерело: складено авторами

Існує багато круїзних компаній, які пропонують круїзи на яхтах по всьому світу (табл. 3).

Таблиця 3

Провідні яхтові компанії

Компанія	Кількість яхт	Клас компанії	Напрямок	Основні марини
Dream Yacht Charter	942	представлені в різних класах	Європа, Карибське море, Азія, Індійський та Тихоокеанський регіон	Британські Віргінські Острови - Hodge's Creek Marina, Хорватія – Marina Baotić, АСІ Marina Dubrovnik, Франція – Аяччо, Греція – Алімос Marina, Лефкас Марина у Карибському басейні – Мартініка, Гваделупа, Сен-Мартен

Продовження таблиці 3

Компанія	Кількість яхт	Клас компанії	Напрямок	Основні марини
The Moorings	628		Карибське море, Середземне море, Гаваї, Таїланд та Балі	Wickhams Cay II Marina, Род-Таун, Британські Віргінські острови Марина Агана, Хорватія Ароіті Марина, Французька Полінезія Пласенсія, Беліз
Sunsail	500	преміум	Карибське море, Середземне море, Таїланд та Тихоокеанський регіон	Італія – Марина Гувія, Хорватія – Марина Бетіна, Марина Далмація, Греція Марина Лефкас
SeaDream Yacht Club	3	люкс	Карибське море, Середземне море та Тихий океан	Порт Бриджтаун, Барбадос, Порт Монте-Карло, Монако
Windstar Cruises	6	преміум	Карибське море, Середземне море та Азія	Порт Майямі, США, порт Сан Хуан, Пуерто-Ріко, Порт Роме, Італія, Порт Лиссабон, Португалія
Ponant	12	люкс	Антарктика, Арктика, Південна Америка, Африка та Європа	Порт Ніцца, Франція, порт Ушуая, Аргентина, порт Лондон, Велика Британія
Star Clippers	3	люкс	Карибське море, Середземне море та Азія	Атенс, Греція, Барбадос, Бангкок, Таїланд

*Джерело: складено авторами з використанням [15-16]

Компанія Dream Yacht Charter є світовим лідером в галузі оренди яхт та круїзів, з флотом, що складається з більш ніж 1000 яхт. DYC є у 34 країнах і має 54 бази по всьому світу. З оборотом у 149 мільйонів євро у 2018 році, група постійно зростає в середньому на 20% на рік з моменту свого створення та щорічно приймає на своїх яхтах понад 130 000 клієнтів [15].

Компанія SeaDream Yacht Club є лідером у категорії «Luxury Small Ships» за оцінкою Berlitz Complete Guide to Cruising and Cruise Ships у 2020 році. У 2004 р. за оцінкою Berlitz для компанії було запроваджено додатковий клас «ультра-люкс». Також компанії вдалося отримати найвищий за круїзною статистикою коефіцієнт постійних гостей – 9,75 з 10 [16].

Висновки

Яхтовий туризм – це форма туризму, пов'язана з подорожами на яхтах. Яхтовий туризм може включати оренду яхти, проживання на яхті та плавання по водних шляхах для різних цілей – для відпочинку, розваг, спорту або відвідування туристичних об'єктів.

У світі існують тисячі типів яхт, які класифікують за різними критеріями: розміром, матеріалами, типом, призначенням, потужністю тощо

Країни, що спеціалізуються на яхтингу, повинні мати розвинену інфраструктуру стоянок та яхт-клубів. Марина Алімос в Афінах є найбільш популярною стоянкою для більшості яхт, вміщуючи 8% світового флоту чартерних яхт.

Морські та річкові перевезення пасажирів на яхтах є формою круїзу та класифікуються на дві самостійні групи: яхт-чартер та яхт-круїз.

Близько 15% світового ринку належить оренді яхт з екіпажем та 85% – без екіпажу. При діапазоні від 1000 євро до більш 10000 євро середня вартість оренди яхти у 2022 році становила

4420 євро. Хорватія була найпопулярнішим напрямком для оренди яхт у 2022 році: понад 38% чартерних бронювань яхт було здійснено у країні.

Організація обслуговування пасажирів на яхтах може бути різною в залежності від розміру та типу яхти, а також від вимог та очікувань клієнтів.

Круїзи на яхті мають свої особливості та відрізняються від круїзів на лайнерах за розміром та кількістю пасажирів, маршрутами та портами, персоналом та обслуговуванням, вартістю, стилем та атмосферою.

Компанія Dream Yacht Charter є світовим лідером в галузі оренди яхт та круїзів, з флотом, що складається з більш ніж 1000 яхт. Компанія SeaDream Yacht Club є лідером у категорії «Luxury Small Ships» за оцінкою Berlitz Complete Guide to Cruising and Cruise Ships у 2020 році.

Перелік використаних джерел:

1. Круїзний лайнер Crystal Endeavor. Інфлот Круїз [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inflatcruises.com/ua/liner/crystal-endeavor>.
2. Логунова Н.А. Результативність розвитку круїзної індустрії в контексті світових тенденцій / Н.А. Логунова // Науковий вісник Буковинського державного фінансово-економічного університету. – 2013. – № 1(24). – С. 304-312.
3. Михайлова Ю.В. Пассажи́рские перевозки: учебное пособие / Ю.В. Михайлова. – Одесса: ОНМУ, 2013. – 325 с.
4. Нездоймінов С.Г. Сучасний розвиток інфраструктури міжнародного круїзного ринку / С.Г. Нездоймінов // Науковий вісник Одеського національного економічного університету. – 2022. – № 3-4. – С. 107-112. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2022-3-4-292-293-107-113>.
5. Голубкова И.А. Факторы и закономерности структуризации глобального круизного рынка / И.А. Голубкова // Вісник економіки транспорту і промисловості: зб. наук. праць. – Х. : УкрДАЗТ, 2010. – № 31. – С. 75-78.
6. Жихарева В.В. Экономика и организация морских круизов: учебное пособие / В.В. Жихарева, О.С. Власенко, Н.В. Яровая. – Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2016. – 249 с.
7. Шпилько С.П. Морские круизы: теория и практика / С.П. Шпилько, Н.В. Андропова, Р.В. Чударев. – М. : ОАО «Издательство «Советский спорт», 2012. – 147 с.
8. Селиванов В.В. Агентирование круизных судов и яхт / В.В. Селиванов. – Одесса : Феникс, 2010. – 240 с.
9. Рылов С.И. Фрахтование морских судов: учебное издание / С.И. Рылов, Я.А. Горшков. – Одесса : ОГМУ, 1999. – 174 с.
10. Несімко О.Д. Особливості договору морського чартеру / О.Д. Несімко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2014. – № 807. – С. 180-186. – (Серія: Юридичні науки).
11. Селиванов В.В. Экономический механизм рынка аренды яхт: Применение международной практики при развитии туристской отрасли Крыма / В.В. Селиванов // Крымский научный вестник. – 2016. – № 7(1). – С. 1-8.
12. Виды яхт: 6 основных классификаций яхт и катеров [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://velvette-marine.com/blog/vidyi-yaxt-6-osnovnyix-klassifikaczij-yaxt-i-katerov.html>.
13. Paolo Moretti. Yacht classification definitions [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.boatinternational.com/yachts/luxury-yacht-advice/yacht-classification-definitions--587>.
14. Yacht Charter Statistics 2022. Sail Croatia [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.sail-croatia.com/resources/yacht-charter-statistics>.
15. Dream Yacht Charter [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.dreamyachtcharter.com/>.
16. SeaDream Yacht Club [Electronic resource]. – Mode of access: <https://seadream.com/>.

References:

1. Kruiznii lainer Crystal Endeavor. Inflat Kruiz (Cruise liner Crystal Endeavor. Inflat Cruise) Available at: www.inflatcruises.com/ua/liner/crystal-endeavor (accessed 15 June 2022). (Ukr.)

2. Logunova N.A. Rezultativnist' rozvritku kruiznoi industrii v konteksti svitovikh tendentsii [The effectiveness of the development of the cruise industry in the context of global trends]. *Naukovii visnik Bukovins'kogo derzhavnogo finansovo-ekonomichnogo universitetu – Scientific Bulletin of the Bukovyna State Financial and Economic University*, 2013, № 1(24), pp. 304-312. (Ukr.)
3. Mikhailova Iu.V. *Passazhirskie perevozki: uchebnoe posobie* [Passenger transportation: a textbook]. Odessa, ONMU Publ., 2013. 325 p. (Rus.)
4. Nezdoiminov S.G. Suchasni rozvitok infrastrukturi mizhnarodnogo kruiznogo rinku [Modern infrastructure development of the international cruise market]. *Naukovii visnik Odes'kogo natsional'nogo ekonomichnogo universitetu – Scientific Bulletin of the Odessa National Economic University*, 2022, № 3-4, pp. 107-112. doi: 10.32680/2409-9260-2022-3-4-292-293-107-113. (Ukr.)
5. Golubkova I.A. Faktory i zakonomernosti strukturizatsii global'nogo kruiznogo rynku [Factors and patterns of structuring the global cruise market]. *Visnik ekonomiki transportu i promislivosti – The bulletin of transport and industry economics*, 2010, № 31, pp. 75-78. (Rus.)
6. Zhikhareva V.V., Vlasenko O.S., Iarovaia N.V. *Ekonomika i organizatsiia morskikh kruizov: uchebnoe posobie* [Economics and organization of sea cruises: a textbook]. Odesa, KUPRIENKO SV Publ., 2016. 249 p. (Rus.)
7. Shpil'ko S.P., Andronova N.V., Chudarev R.V. *Morskie kruizy: teoriia i praktika* [Sea cruises: theory and practice]. Moscow, OAO «Izdatel'stvo «Sovetskii sport» Publ., 2012. 147 p. (Rus.)
8. Selivanov V.V. *Agentirovanie kruiznykh sudov i iakht* [Cruise ship and yacht agency]. Odessa, Feniks Publ., 2010. 240 p. (Rus.)
9. Rylov S.I., Gorshkov Ia.A. *Frakhtovanie morskikh sudov: uchebnoe izdanie* [Chartering of Sea Vessels: Educational Edition]. Odessa, OGMU Publ., 1999. 174 p. (Rus.)
10. Nesimko O.D. Osoblivosti dogovoru mors'kogo charteru [Peculiarities of the sea charter contract]. *Visnik Natsional'nogo universitetu «Lvivs'ka politekhnika». Serii: Iuridichni nauki – Series of Legal Sciences of Visnyk of Lviv Polytechnic National University*, 2014, № 807, pp. 180-186. – (Серія: Юридичні науки). (Ukr.)
11. Selivanov V.V. Ekonomicheskii mekhanizm rynku arendy iakht: Primenenie mezhdunarodnoi praktiki pri razvitii turistskoi otrasli Kryma [Economic Mechanism of the Yacht Rental Market: Application of International Practice in the Development of the Crimean Tourism Industry]. *Krymskii nauchnyi vestnik – Crimean Scientific Bulletin*, 2016, № 7(1), pp. 1-8. (Rus.)
12. Vidy iakht: 6 osnovnykh klassifikatsii iakht i katerov (Types of yachts: 6 main classifications of yachts and boats) Availabe at: www.velvette-marine.com/blog/vidyi-yaxt-6-osnovnyix-klasyfikacziy-yaxt-i-katerov.html (accessed 15 August 2022). (Rus.)
13. Paolo Moretti. Yacht classification definitions Availabe at: www.boatinternational.com/yachts/luxury-yacht-advice/yacht-classification-definitions--587 (accessed 28 August 2022).
14. Yacht Charter Statistics 2022. Sail Croatia Availabe at: www.sail-croatia.com/resources/yacht-charter-statistics (accessed 13 July 2022).
15. Dream Yacht Charter Availabe at: www.dreamyachtcharter.com/ (accessed 13 July 2022).
16. SeaDream Yacht Club Availabe at: www.seadream.com/ (accessed 13 July 2022).

Рецензент: В.М. Пітерська
д-р техн. наук, проф., ОНМУ

Стаття надійшла 07.09.2022

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

В сучасному аграрному виробництві транспортування продукції є однією з найважливіших складових економічного ефекту, так як лівова частка витрат складає саме процес перевезення вантажу. Підвищення ефективності даного процесу значною мірою дозволяє зменшити собівартість виробленої продукції. Перевезення в аграрному секторі є досить складним процесом, в якому найчастіше задіяні різні види техніки як під час завантажувально-розвантажувальних робіт, так і під час самого процесу перевезення. У цій статті було проаналізовано та досліджено основні складові, які впливають на підвищення ефективності процесу перевезення вантажу з використанням як одного виду транспортних засобів, так і в змішаному варіанті. Сьогодні в аграрному виробництві транспортування продукції саме автомобільними транспортними засобами постійно зростає і в порівнянні з минулим роком досягло збільшення обсягів перевезення на 5,1%. Досить важливим фактором, що впливає на ефективність перевезення, є також дотримання вимог сервісного обслуговування, мінімізації часу простою рухомого складу, планування та використання оптимальних маршрутів руху. У кожному конкретному випадку, який розглядається, повинні бути встановлені основні критерії, які забезпечать оптимізацію ефективності використання рухомого складу. Як результат, ряд критеріїв, розглянутих у статті, впливають на економічну складову процесу перевезення вантажу. Для раціонального забезпечення процесу перевезення необхідне обґрунтоване планування складових рухомого складу, який задіяний у транспортуванні продукції та використанні відповідних заходів з підвищення ефективності його роботи. Для забезпечення економічно вигідного вибору рухомого складу для перевезення вантажу, необхідно застосовувати певні закономірності, характеристики експлуатаційних властивостей транспортних засобів, що є умовою цілеспрямованого управління реалізованими показниками ефективності.

Ключові слова: процес перевезення, транспортний склад, рухомий склад, автотранспортні засоби, експлуатаційні властивості, організація роботи, транспортування продукції аграрного виробництва, ефективність використання.

T.P. Voloshko, O.V. Tatsenko, O.O. Solarov. Increasing the efficiency of using vehicles for agricultural production. In modern agricultural production, the transportation of products is one of the most important components of the economic effect, since the lion's share of costs is the process of cargo transportation. Increasing the efficiency of this process to a large extent allows to reduce the cost of the grown products. Transportation in the agricultural sector is a rather complex process in which various types of equipment are most often involved, both during loading and unloading operations, and during the transportation process itself. In this article, we analyzed and researched the main components that affect the efficiency of the cargo transportation process using both one type of vehicle and a mixed version. Today, in agricultural production, the transportation of products by

¹ канд. техн. наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, ORCID: 0000-0003-2605-8836, lmcsan@i.ua

² ст. викладач, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, ORCID: 0000-0003-1762-8219, alexatzenko@ukr.net

³ ст. викладач, Сумський національний аграрний університет, м. Суми, ORCID: 0000-0003-1762-8219, taravol79@gmail.com

road vehicles is constantly growing and, compared to last year, the volume of transportation has increased by 5.1%. Compliance with service requirements, minimizing rolling stock downtime, planning and using optimal traffic routes is also a fairly important factor affecting transportation efficiency. In each specific case under consideration, basic criteria must be established that will ensure the optimization of the efficiency of the use of rolling stock. As a result, a number of criteria discussed in the article affect the economic component of the cargo transportation process. Rational planning of the components of the rolling stock involved in the transportation of products and the use of appropriate measures to increase the efficiency of its work are necessary for the rational support of the transportation process. To ensure an economically profitable choice of rolling stock for cargo transportation, it is necessary to apply certain laws and characteristics of operational properties of vehicles, which is a condition for purposeful management of realized performance indicators.

Key words: transportation process, transport stock, rolling stock, motor vehicles, operational properties, work organization, transportation of agricultural producer's products, efficiency of use.

Постановка проблеми. Ефективність використання рухомого складу – це виконання транспортного процесу з перевезення вантажів з найменшими матеріальними і трудовими витратами в транспортних технологіях для аграрного виробництва на його здійснення при дотриманні діючих норм і правил [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз сучасних тенденцій розвитку автотранспорту показує, що з кожним роком у всіх країнах розширюються області ефективного застосування спеціалізованих і спеціальних автомобілів і автопоїздів, також зростає частка їх участі в перевезеннях продукції агропромислового виробництва, особливо на далекій відстані (рис. 1) [2]. З рис. 1 бачимо, що у порівнянні з минулим роком перевезення автомобільним транспортом зросло на 5,1 %, це в першу чергу пов'язано з блокуванням портів та унеможливленням використання річкового транспорту у певних регіонах України.

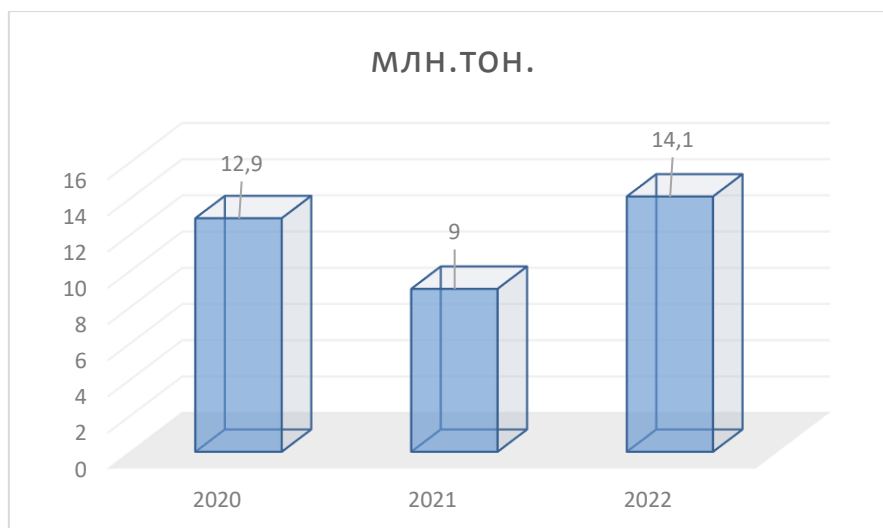


Рис. 1 – Кількість аграрної продукції експортованої автомобільним транспортом у 2020-2022 роках

Транспортні технології для аграрного виробництва вимагають застосування різноманітних типів вантажно-розвантажувальних машин і механізмів, що забезпечують їх ефективне функціонування. У зв'язку з цим вантажно-розвантажувальні засоби в даний час є складовою і невід'ємною частиною практично будь-якого виробничого і транспортного процесу, в тому числі і в транспортних технологіях для аграрного виробництва.

Мета статті. Пошук способів підвищення ефективності використання транспортних засобів шляхом визначення критеріїв оптимізації ефективності використання автомобільного парку для аграрного виробництва.

Виклад основного матеріалу. Ефективність використання рухомого складу в аграрному виробництві визначається його якістю та експлуатаційними властивостями. Під якістю рухомого складу розуміється сукупність його властивостей, що обумовлюють придатність автотранспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва задовольняти потреби відповідно до його призначення: паливна економічність, вантажопідйомність, динамічність, керуваність, енергоємність, безпечність, екологічність і т.п.

Показник ефективності транспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва виражається співвідношенням корисного ефекту, тобто виконаної роботи до витрат на досягнення кінцевого результату. Найбільш часто в якості узагальненого показника ефективності використання рухомого складу розглядається собівартість перевезень вантажів або пасажирів (тобто собівартість перевезень представляє співвідношення витрат до виконаної транспортної роботи), досконалість конструкції, рівень організації транспортного процесу в транспортних технологіях для аграрного виробництва, технічний стан автотранспортних засобів та інші фактори.

Перший напрямок оцінки ефективності. Ефективність використання рухомого складу в транспортних технологіях для аграрного виробництва залежить від особливостей їх конструкції та експлуатаційних властивостей. Вирішення виробничих завдань виконується за рахунок вибору раціонального типу автотранспортного засобу стосовно виду перевезень, вибору автомобіля або автопоїзда для використання у виробничих процесах агропромислового виробництва.

Для оцінки економічної ефективності автотранспортних засобів порівнюваних варіантів застосовуються такий критерій, як мінімум приведених витрат, що припадають на одиницю транспортної продукції.

Другий напрямок оцінки ефективності. Ефективність використання автотранспортних засобів залежить від організації технічного обслуговування (ТО) парку (раціональної організації ТО і ремонту автомобільних транспортних засобів (АТЗ)) і організації перевізного процесу (кількості робочих днів у тижні, простою автомобілів з вини служби організації перевезень, тривалості роботи автомобільних транспортних засобів на лінії протягом доби, технічної швидкості руху, відстані перевезень, оптимальності обраних маршрутів руху, рівня механізації вантажно-розвантажувальних робіт) продукції агропромислового виробництва.

Як підсумкові показники оцінки ефективності використання автотранспортних засобів в транспортних технологіях використовують продуктивність і собівартість (рис. 2).

Годинна продуктивність, як ключовий показник в розрахунках ефективності рухомого складу, є залежністю між загальною вагою вантажу та часом руху транспорт:

$$P_{\text{год}} = \frac{P_{\text{заг}}}{t_{\text{руху}}} \quad (1)$$

Підвищити продуктивність рухомого складу можна оптимальним вибором типу рухомого складу для виконання заданого обсягу транспортної роботи по перевезенню агропромислової продукції залежно від характеру вантажу, підбором оптимального маршруту руху, раціональної організації транспортного процесу, максимального зменшення часу на вантажно-розвантажувальні роботи та транспортної інфраструктури агропромислових підприємств [3-5].

Знизити собівартість перевезень агропромислової продукції можна в результаті економії палива на виконання транспортної роботи, зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт рухомого складу за рахунок підвищення якості цих робіт та ефективного підбору автотранспортних засобів на основі раціональних експлуатаційних характеристик. Підвищення продуктивності рухомого складу в першу чергу залежить від його вантажопідйомності і раціональності використання АТЗ.



Рис. 2 – Складові ефективності використання автотранспортних засобів в аграрному виробництві

Важливим фактором підвищення ефективності застосування автопоїздів в транспортних технологіях для аграрного виробництва є скорочення простою тягача автопоїзда до мінімуму в пунктах навантаження-розвантаження при човниковій організації перевезень.

Використання спеціалізованого і спеціального рухомого складу в транспортних технологіях для аграрного виробництва забезпечує поряд із збереженням вантажу найбільш повне використання вантажопідйомності, а також виконання нетранспортних робіт за допомогою різного технологічного обладнання, яке постійно змонтоване на АТЗ.

Досвід розвинених країн показує, що підвищити ефективність роботи автотранспортних засобів неможливо без вдосконалення технології та організації процесів доставки вантажів, які включають в себе правильний вибір найбільш досконалих моделей і типів рухомого складу і вантажно-розвантажувальних засобів, а також їх раціонального, узгодженого і економічно вигідного використання у виробничих процесах підприємств.

Процес перевезення вантажу, особливо в аграрному виробництві, часто пов'язує використання декількох видів транспорту. Тому існують певні технологічні схеми операцій під час транспортування вантажу (рис. 3). Технологічні схеми для перевезення вантажу одним транспортом та з використанням декількох транспортних засобів дещо відрізняються (рис. 4). Тому під час планування роботи з перевезення вантажу необхідно враховувати усі задіяні транспортні засоби [6].

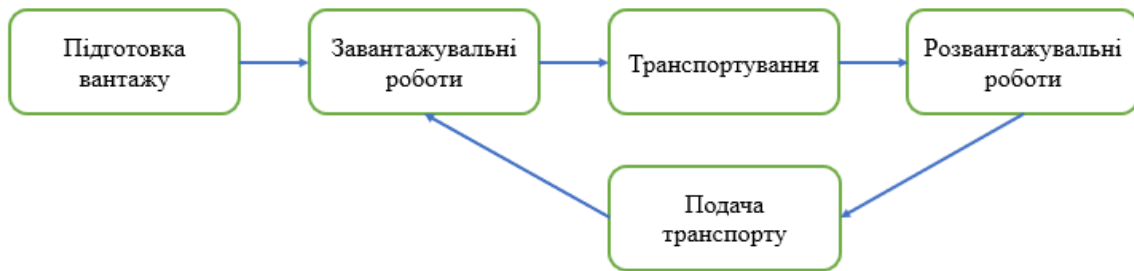


Рис. 3 – Схема перевезення з використанням одного виду транспортних засобів

Ефективність роботи автотранспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва суттєво залежить від конструкції, експлуатаційних властивостей, умов експлуатації і якості організації перевезень. В умовах експлуатації АТЗ порівняльна ефективність його роботи визначається величиною питомих приведених витрат на перевезення, їх трудомісткістю, енергоємністю і матеріаломісткістю.

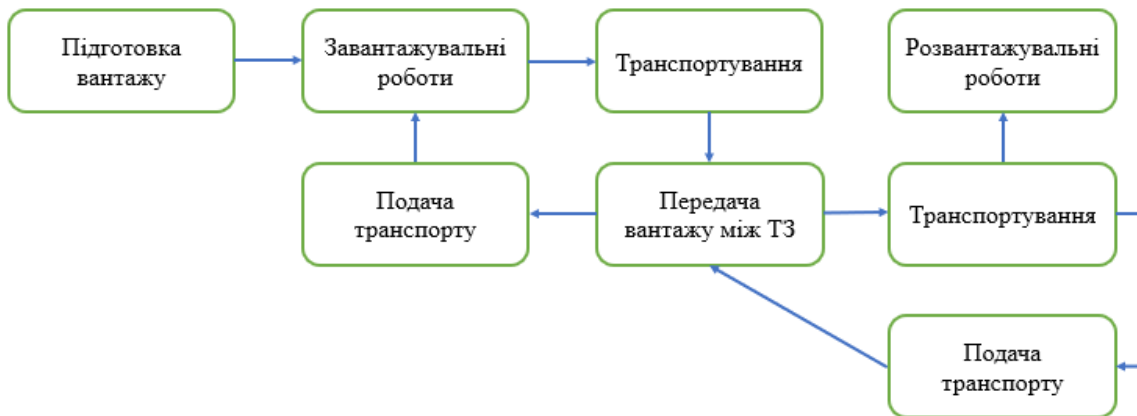


Рис. 4 – Схема перевезення вантажу з використанням декількох видів транспортних засобів

Досконалість конструкцій автотранспортних засобів оцінюється за допомогою визначення значень показників його основних експлуатаційних властивостей і техніко-економічних параметрів. Для оцінки використовується системний зв'язок між елементами конструкції автомобіля і елементами ефективності його використання. За допомогою цього системного зв'язку можна проводити порівняльну оцінку однотипних (по розмірності, призначенням і дорожніх умов, для яких він розроблений) автотранспортних засобів.

Визначення ефективності автотранспортного засобу проводиться на розрахунковому встановленні числових значень експлуатаційних властивостей окремих його складових (маса, компонування, кузов, кабіна, двигун, трансмісія, ходова частина). Цим самим передбачається визначення 5 основних елементів, які характеризують ефективність автотранспортного засобу: затрати на перевезення, продуктивність, трудомісткість, енергоємність та металоємність (матеріалоємність) [7, 8].

Важливим елементом підвищення ефективності транспортних процесів являється забезпечення конкурентоспроможності автотранспортних засобів на етапі розробки [9].

Для визначення продуктивності рухомого складу використовують вираз:

$$Q = \frac{g \cdot \gamma_{св} \cdot T_{н}}{l_{вн} \cdot t_{п}}; \quad (2)$$

де: g – вантажопідємність транспортного засобу, т; $u_{св}$ – коефіцієнт статичного використання вантажопідємності; T_n – час в наряді, год; $l_{вн}$ – пробіг рухомого складу з вантажем, км; $t_{п}$ – час простою, год.

В умовах ринку головним експертом в оцінці конкурентоздатності автотранспортних засобів є споживач. Боротьба за нього змушує автовиробників в усьому світі постійно вдосконалювати технічну експлуатацію автомобілів, технічні характеристики, експлуатаційні властивості і в цілому підвищувати якість автотранспортних засобів, які найбільш відповідають сучасному рівню техніки і транспортних технологій [6, 10].

Тому зараз стоїть актуальне питання відповідності автотранспортних засобів для ефективних транспортних технологій, в тому числі і для технологій аграрного виробництва. До виробників автотранспортних засобів на світовому ринку стоять вимоги:

- велика різноманітність моделей, що дозволяє найбільш повно задовольнити вимоги споживачів;
- висока якість виконання, наявність елементів новизни, добротність конструкції;
- надійність в експлуатації і економічність в роботі;
- відповідність національним і міжнародним правилам за габаритним розмірам, повній масі, осьовим навантаженням, токсичності, шуму та ін.;
- гарантоване і якісне сервісне обслуговування [11].

У відповідності до вище сказаного при розробці автотранспортних засобів з метою задоволення вимог сучасних транспортних технологій закладаються наступні принципи: забезпечення відповідності автотранспортного засобу умовам експлуатації, в тому числі і законодавчим обмеженням; дотримання вимог ергономіки; економічність на всіх етапах життєвого циклу; завоювання ринків збуту.

Найважливішим самостійним напрямком підвищення ефективності використання автомобільного транспорту в транспортних технологіях для аграрного виробництва з урахуванням змінного характеру зовнішнього середовища того чи іншого об'єкта (автомобіля, сукупності автомобілів, автомобіля в поєднанні з вантажно-розвантажувальними пристроями, транспортної інфраструктури і т.д.) є системний підхід [12]. На базі цього підходу істотно розширюються можливості використання експлуатаційних властивостей та кожного з попередніх шляхів за рахунок використання характерних функціональних залежностей між пристосованістю його елементів. Розглянуті шляхи підвищення ефективності використання автотранспортних засобів можуть використовуватися як при експлуатації автомобілів, так і при їх створенні. Кожен із шляхів може використовуватися окремо і в різному поєднанні з іншими шляхами.

Висновки

Очевидно, що в кожному конкретному випадку повинен бути встановлений критерій оптимізації ефективності використання автотранспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва і знайдено його оптимальне значення з урахуванням наявних обмежень і рівня управління.

Для обґрунтованого вибору автотранспортного засобу для транспортних технологій, а також використання того чи іншого шляху підвищення ефективності їх використання або їх поєднань і знаходження оптимального рішення, необхідно застосовувати відповідні закономірності та кількісні характеристики значень експлуатаційних властивостей АТЗ, що є необхідною умовою цілеспрямованого управління реалізованими показниками ефективності.

Найважливішим елементом такого управління є нормування показників експлуатаційних властивостей, надійності і пристосованості автотранспортних засобів, як відображення цих показників в нормативно-технічній та конструкторській документаціях. Показники експлуатаційних властивостей та надійності зараз широко використовуються, а показники пристосованості в достатній мірі поки не враховуються. Пристосованість конструкції АТЗ до умов експлуатації, зокрема до низьких температур повітря, за такими найважливішими показниками ефективності, як витрата палива, довговічність двигунів і інших основних агрегатів, часто залишається поза інтересами заводів-виготовлювачів, що тягне за собою великі втрати ресурсів при експлуатації автомобілів в різних кліматичних умовах.

Перелік використаних джерел:

1. Родіонов Ю.В. Критерії оцінки ефективності рухомого складу автомобільного транспорту / Ю.В. Родіонов, М.Ю. Обшивалкін, В.А. Мигачов // Світ транспорту і технологічних машин. – 2011. – № 2. – С. 17-22.
2. Кулак О.В. Центрі досліджень залізничного транспорту пояснили причини переорієнтації перевезень зерна від Укрзалізниці [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://urm.media/v-czentr-doslidzhen-zaluznichnogo-transportu-poyasnili-prichini-pereoriyentacziyi-perevezen-zerna-vid-ukrzalizniczi/>.
3. Нестеренко Г.І. Удосконалення технології пропуску вантажопотоків через прикордонні передавальні станції / Г.І. Нестеренко, А.І. Кузьменко // Вісник Академії митної служби України. – 2011. – № 2. – С. 23-29. – (Серія: Технічні науки).
4. Сахно В.П. Продуктивність та економічність дво- та триланкових автопоїздів / В.П. Сахно, К.С. Жаров // Автомобильный транспорт. – 2011. – № 29. – С. 48-51.
5. До вибору типу автомобіля-тягача для автопоїзда великої вантажопідйомності / В.П. Сахно, В.М. Поляков, І.С. Мурований, С.М. Шарай // Вісник машинобудування та транспорту. – 2019. – № 2(10). – С. 120-125. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-10-2-120-125>.
6. Тюріна Н. М. Логістика: навч. посіб. / Н.М. Тюріна, І.В. Гой, І.В. Бабій. – К. : «Центр учбової літератури», 2015. – 392 с.
7. Підвищення ефективності діяльності транспортно-експедиційної компанії / О.С. Дубицький, В.М. Дембіцький, І.О. Павлова, П.В. Мазилук // Вісник машинобудування та транспорту. – 2020. – № 1(11). – С. 62-70. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-62-70>.
8. Логістика: Теорія та практика / В.М. Кислий, О.А. Біловодська, О.М. Олефіренко, О.М. Смоляник. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 360 с.
9. Костин И.М. Обеспечение конкурентоспособности грузовых автомобилей на этапе разработки / И.М. Костин, Х.А. Фасхиев. – Набережные Челны: Изд-во КамПИ, 2001. – 349 с.
10. Хасанов Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: учебное пособие / Р.Х. Хасанов. – Оренбург: ГОУ ОДУ, 2003. – 193 с.
11. Таценко О.В. Шляхи підвищення ефективності використання транспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва на основі їх експлуатаційних властивостей. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали III Міжн. науково-практ. інтернет-конф. (01-26 листопада 2021; м. Мелітополь) / О.В. Таценко. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 472-476. – Режим доступу: <https://bit.ly/3nXAei2>.
12. Мікуліна М.О. Роль складської інфраструктури в транспортних технологіях для аграрного виробництва / М.О. Мікуліна, О.О. Соларьов, О.В. Таценко // Інженерія природокористування. – Харків, 2020. – № 4(18). – С. 29-34. – Режим доступу: [https://doi.org/10.37700/enm.2020.4\(18\).29-34](https://doi.org/10.37700/enm.2020.4(18).29-34).

References:

1. Rodionov Yu.V., Obshivalkin M.Yu., Migachov V.A. Kriterii otsinki effektivnosti rukhomogo skladu avtomobil'nogo transportu [Criteria for evaluating the efficiency of rolling stock of road transport]. *Svit transportu i tekhnologichnikh mashin – The world of transport and technological machines*, 2011, № 2, pp. 17-22. (Ukr.)
2. Kulak O.V. *Tsentr doslidzhen' zaluznichnogo transportu poiasnili prichini pereorientatsii perevezen' zerna vid Ukrzaliznitsi* (The reasons for the reorientation of grain transportation from Ukrzaliznytsia were explained to the Railway Transport Research Center) Available at: www.urm.media/v-czentr-doslidzhen-zaluznichnogo-transportu-poyasnili-prichini-pereoriyentacziyi-perevezen-zerna-vid-ukrzalizniczi/ (accessed 15 July 2022). (Ukr.)
3. Nesterenko G.I., Kuz'menko A.I. Udoskonalennia tekhnologii propusku vantazhopotokiv cherez prikordonnii peredaval'ni stantsii [Improvement of the technology of passing cargo flows through border transfer stations]. *Visnik Akademii mitnoi sluzhbi Ukraini. Serii: Tekhnichni nauki* –

- Bulletin of the Academy of the Customs Service of Ukraine. Series: Technical sciences*, 2011, № 2, pp. 23-29. (Ukr.)
4. Sakhno V.P., Zharov K.S. Produktivnist' ta ekonomichnist' dvo- ta trilankovikh avtopoïzdiv [Productivity and economy of two- and three-lane road trains]. *Avtomobil'nyi transport – Automobile transport*, 2011, № 29, pp. 48-51. (Ukr.)
 5. Sakhno V.P., Poliakov V.M., Murovanii I.S., Sharai S.M. Do vboru tipu avtomobilia-tiagacha dlia avtopoïzda velikoi vantazhopidionnosti [Before choosing the type of tractor for a heavy-duty train]. *Visnik mashinobuduvannia ta transportu – Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 2019, № 2(10), pp. 120-125. doi: **10.31649/2413-4503-2019-10-2-120-125**.
 6. Tiurina N.M., Goi I.V., Babii I.V. *Logistika: Navchal'nii posibnik* [Logistics: Study guide]. Kyiv, Tsentр uchbovoi literaturi Publ., 2015. 392 p. (Ukr.)
 7. Dubits'kii O.S., Dembits'kii V.M., Pavlova I.O., Maziliuk P.V. Pidvishchennia efektnosti diial'nosti transportno-ekspeditsiinoi kompanii [Increasing the efficiency of the transport and forwarding company]. *Visnik mashinobuduvannia ta transportu – Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 2020, № 1(11), pp. 62-70. doi: **10.31649/2413-4503-2020-11-1-62-70**. (Ukr.)
 8. Kislui V.M., Bilovods'ka O.A., Olefirenko O.M., Smolianik O.M. *Logistika: Teoriia ta praktika* [Logistics: Theory and practice]. Kyiv, Tsentр uchbovoi literaturi Publ., 2010. 360 p. (Ukr.)
 9. Kostin I.M., Faskhiev Kh.A. *Obespechenie konkurentosposobnosti gruzovykh avtomobilei na etape razrabotki* [Ensuring the competitiveness of trucks during the development phase]. Naberezhnye Chelny, KamPI Publ., 2001. 349 p. (Rus.)
 10. Khasanov R.Kh. *Osnovy tekhnicheskoi ekspluatatsii avtomobilei: Uchebnoe posobie* [Fundamentals of the technical operation of cars: Tutorial]. Orenburg, GOU ODU Publ., 2003. 193 p. (Rus.)
 11. Tatsenko O.V. Shliakhi pidvishchennia efektnosti vikoristannia transportnikh zasobiv v transportnikh tekhnologiiakh dlia agrarnogo virobnitstva na osnovi ikh ekspluatatsiiniikh vlastivostei. *Materiali III Mizhn. nauk.-prakt. internet-konf. «Tekhnichne zabezpechennia innovatsiiniikh tekhnologii v agropromislovomu kompleksi»* [Shliakhi pidvishchennia efektnosti vikoristannia transportnikh zasobiv v transportnikh tekhnologiiakh dlia agrarnogo virobnitstva na osnovi ikh ekspluatatsiiniikh vlastivostei. Materials of the III Int. sci.-pract. Internet Conf. «Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex»]. Melitopol, 2021, pp. 472-476. Available at: <https://bit.ly/3nXAei2> (accessed 15 August 2022).
 12. Mikulina M.O., Solar'ov O.O., Tatsenko O.V. Rol' sklads'koï infrastrukturi v transportnikh tekhnologiiakh dlia agrarnogo virobnitstva [The role of warehouse infrastructure in transport technologies for agricultural production]. *Inzheneriia prirodokoristuvannia – Nature management engineering*, 2020, № 4(18), pp. 29-34. doi: **10.37700/enm.2020.4(18).29-34**.

Рецензент: В.Б. Тарельник
д-р техн. наук, проф., СНАУ

Стаття надійшла 07.10.2022

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

До публікації у збірнику приймаються тільки наукові статті, виконані відповідно до вимог Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003р. № 7-05/1, які мають наступні необхідні елементи: **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; **аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; **формулювання цілей статті** (постановка завдання); **виклад основного матеріалу** дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку та **перелік використаних джерел** (оформлений відповідно до стандартів – ГОСТ 7.1-84, ДСТУ 3582-97, ГОСТ 7.12-93). Список джерел повинен бути складений в порядку спогаду в тексті. Посилання на літературу поміщають у квадратні дужки. Після списку використаних джерел надається пристатейна бібліографія латиницею (**References**).

Стаття може бути представлена на українській або англійській мовах в макетному варіанті. Текст статті, **завізований авторами власноручним підписом**, подається в редакцію збірника в друкарському вигляді (**1 примірник**), з **вказаними робочими телефонами та електронними адресами авторів**.

Стаття приймається до розгляду тільки при наявності відповідних супровідних документів та електронного варіанту на електронному носії у вигляді текстового файлу у форматі редактора Microsoft Office Word.

Формат листа – А4. Розміри полів: верхнє, нижнє – по 20 мм; лівє, правє – по 25 мм Основний текст набирається шрифтом Times New Roman, розмір 11, міжрядковий інтервал – 1,0. Червоний рядок абзаців відповідає відступу – 1 см. Нумерація сторінок не проставляється. Вирівнювання тексту виконується по ширині. Для спеціальних символів і формул використовувати шрифт Symbol MT Extra, в редакторі формул слід використовувати математичний курсив. Графічний матеріал, представлений у вигляді малюнків і графіків, повинен бути вмонтований в текст статті.

Стаття повинна містити номер УДК (в лівому верхньому кутку). На наступному рядку по правому полю, жирним шрифтом, розмір 11 – прізвище, ім'я та по батькові (у називному відмінку) з нарядковими номерами; в нижній частині першої сторінки у вигляді зноски курсивом, розмір шрифту 10 – науковий ступінь, вчене звання (як що немає – посада), місце роботи (без скорочень), місто, ORCID при наявності, адреса електронної пошти; іноземні автори вказують назву країни. Далі, після міжрядкового інтервалу друкується назва статті (прописними літерами, по центру, без заключної крапки); анотації двома мовами (для статей не англійською мовою обсяг анотації англійською мовою – не менш як 1800 знаків, включаючи ключові слова; для статей не українською мовою обсяг анотації українською мовою – не менш як 1800 знаків, включаючи ключові слова), першою наводиться анотація на мові статті (відступ зліва і справа по 1 см, курсивом) та ключові слова (від трьох до восьми).

Наприкінці статті повинні бути приведені ініціали, прізвище, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи рецензента; дата подачі статті.

До статті надаються наступні супровідні матеріали (**по одному примірнику**):

- експертний висновок про можливість публікації статті у відкритому друці;
- рецензія фахівця за профілем статті, в якій повинні бути відображені наукова новизна результатів, їх цінність і значущість, зауваження по суті статті і по її оформленню;
- згода на обробку персональних даних (окрема для кожного з співавторів);
- ліцензійний договір (**у двох екземплярах**).

Форми необхідних документів та вимоги до оформлення статей представлені на сайті (http://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech/pages/view/requirements). Архів видань див.: http://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech/issue/archive.

Відповідальність за зміст статті несе автор. Статті, що не відповідають зазначеним вимогам, не розглядаються.

Повністю оформлені статті і необхідні документи передаються в редакцію збірника відповідальному секретарю Савенко Ользі Сергіївні, тел.: (098) 480-24-03.

Підписано до друку 30.12.2022 р.

Папір тип № 2. Умов. друк. ар. 16,63. Тираж 400.

Матеріали збірника друкуються мовою оригіналу. Ціна договірної