



SCIENTIFIC AND
PRACTICAL JOURNAL

ECONOMICS AND TECHNICAL ENGINEERING

Vol. 2 No. 1 (2024)

ete.org.ua





Scientific and practical journal
"Economics and technical engineering"

Vol. 2 No. 1 (2024)

Available since: 2023

Published: 2 times a year

Founders: State University of Economics and Technology

ISSN: 3041-1246

UDC: 33+62]:001.891/.895](051.034)=161.2=111

E-mail: ete@duet.edu.ua Journal homepage: <https://ete.org.ua>

EDITORIAL TEAM

Editor-in-Chief:

Serhii HUSHKO, Prof. DSc, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Deputy Editor-in-Chief and Executive secretary:

Victoria SOLOVIEVA, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Technical editors:

Kira VYSHNEVSKA, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Olena HONCHARENKO, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Eduard MOKRIAK, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Editorial board:

Iluta ARBIDANE, Prof. Dr.oec., Rezekne Academy of Technologies (Latvia)

José Manuel Macedo BOTELHO, PhD, Universidade de Évora (Portugal)

Leonid DOLINSKYI, Prof. DSc, National University of Kyiv Mohyla Academy (Ukraine)

Liliana HORAL, Prof. DSc, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Ukraine)

Daria KASSIM, Prof. DSc, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Volodymyr KULISHOV, Prof. DSc, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Hanna KUCHEROVA, Prof. DSc, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Iryna MAKSIMOVA, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Dmytro POPOLOV, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Oleg PURSKY, Prof. DSc, Kyiv State University of Trade and Economics (Ukraine)

Michael RADIN, Assoc. Prof. PhD, Rochester Institute Of Technology (USA)

Rasa SUBAČIENĖ, Prof. PhD, Vilnius University (Lithuanian)

Oleksandr TEMCHENKO, Prof. DSc, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Oleksandr UCHYTEL, Prof. DSc, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Olena VASYLYEVA, Prof. DSc, Zaporizhzhya Polytechnic National University (Ukraine)

Iryna VASYLCHUK, Prof. DSc, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Volodymyr ZASELSKYI, Prof. DSc, State University of Economics and Technology (Ukraine)

Recommended for publication by Academic Council University of Economics and Technology (Protocol N12 dated April 25, 2024)

Mailing address: Vyzvolenyi Square, 2, Kryvyi Rih, Ukraine, 50005

Materials are published in the original language (Ukrainian or English).

Editorial office not always agrees with the authors.

Reprint of the publications is possible to carry out only for the agreement of editorial office



© Scientific and practical journal "Economics and technical engineering", 2023
The articles in journal are published under Creative Commons Attribution International BY.



ECONOMIC
AND TECHNICAL
ENGINEERING

Науково-практичний журнал
"Economics and technical engineering"

Том 2 № 1 (2024)

Видається з 2023 року
Періодичність: 2 рази на рік

Засновник: Державний університет економіки і технологій

ISSN: 3041-1246

УДК: 33+62]:001.891/.895](051.034)=161.2=111

E-mail: ete@duet.edu.ua Сторінка журналу: <https://ete.org.ua>

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор:

Сергій ГУШКО, професор, д.е.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Заступник головного редактора і відповідальний секретар:

Вікторія СОЛОВЙОВА, доцент, к.е.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Технічні редактори:

Кіра ВИШНЕВСЬКА, доцент, к.п.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Олена ГОНЧАРЕНКО, доцент, к.ф.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Едуард МОКРЯК, доцент, к.е.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Редакційна колегія:

Ілута АРБІДАНЕ, доктор філософії, Резекненська технологічна академія (Латвія)

Сергій БАРАН, доцент, к.е.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Жозе Мануель Маседо БОТЕЛЬЮ, доктор філософії, Університет Евори (Португалія)

Олена ВАСИЛЬСВА, професор, д.е.н., Національний університет «Запорізька політехніка» (Україна)

Ірина ВАСИЛЬЧУК, професор, д.е.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Ліліана ГОРАЛЬ, професор, д.е.н., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Україна)

Леонід ДОЛИНСЬКИЙ, професор, д.е.н., Національний університет «Києво-Могилянська Академія» (Україна)

Володимир ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, професор, д.т.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Дар'я КАССІМ, професор, д.т.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Володимир КУЛШОВ, професор, д.п.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Ганна КУЧЕРОВА, професор, д.е.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Ірина МАКСИМОВА, доцент, к.е.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Дмитро ПОПОЛОВ, доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Олег ПУРСЬКИЙ, професор, д.ф.-м.н., Державний торговельно-економічний університет (Україна)

Михайло РАДІН, доктор філософії, Рочестерський технологічний інститут (США)

Раса СУБАЧІСНЕ, професор, доктор філософії, Вільнюський університет (Литва)

Олександр ТЕМЧЕНКО, професор, д.т.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Олександр УЧИТЕЛЬ, професор, д.т.н., Державний університет економіки і технологій (Україна)

Рекомендовано до друку Вченою радою Державного університету економіки і технологій (Протокол N 12 від 25.04.2024)

Поштова адреса: площа Визволення, 2, м. Кривий Ріг, Україна, 50005

Матеріали публікуються мовою оригіналу (українською або англійською).

Редакція не завжди погоджується з авторами.

Передрук публікацій можливий лише за згодою редакції



© Науково-практичний журнал "Economics and technical engineering", 2023
Статті в журналі публікуються під Creative Commons Attribution International BY.

CONTENTS

Economics

- 9 - 21 Digital Currency Market Research: The Example of Ukraine**
Serhii Hushko, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Olena Burunova, Assoc. Prof. PhD, Jan Dlugosz University in. Czestochowa, Czestochowa, Poland
Iryna Maksimova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Hanna Purii, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Volodymyr Kulishov, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
- 22 - 30 Global challenges to modern international security system**
Yaroslav Izmailov, Prof. DSc, State Tax University, Irpin, Ukraine
Iryna Yegorova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
- 31 - 45 Training of future accountants in higher education institutions of Ukraine**
Yurii Kuzminskyi, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
- 46 - 54 Management peculiarities in the main areas of industrial enterprises strategic partnership in modern realities**
Hanna Andrushchenko, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Yevhen Chuprynov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Oleh Podkopaev, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Tetyana Petrishyna, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Viktoriya Hryhorieva, Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
- 55 - 63 Analysis of the domestic industrial enterprises logistics links and main directions of their revitalization**
Hanna Andrushchenko, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Yevhen Chuprynov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Oleh Podkopaev, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Serhiy Karpiuk, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Iryna Lyakhova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

- 64 - 78 **Technical engineering in the digitalization era: the role of artificial intelligence and cryptocurrency in tax systems optimizing and improving the financial efficiency of fintech businesses**
Maryna Sadovenko, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Olga Kondratyuk, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Nataliia Suprun, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Maxim Tarverdiev, Bachelor's degree, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
- Technical engineering**
- 79 - 92 **Development of an Android application for controlling a smart greenhouse on Arduino**
Dmytro Medvediev, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Valentyna Khotskina, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Mykola Khodukin, Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Svitlana Medvedieva, Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Illia Prykhodko, Student, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
- 93 - 106 **A method for reducing current ripples in traction motors for contact electric locomotives with pulse width modulation**
Andrii Pyrozhenko, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Yevhenii Modlo, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Vitalii Shupov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Mykola Zhukov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Ruslan Shaida, Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
- 107 - 118 **Increasing the efficiency of the furnace depending on the operating conditions of the furnaces. Part 2. The technology of joint loading of lumpy anthracite and fluxed local specs**
Yevhen Chuprynov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology Kryvyi Rih, Ukraine
Daria Kassim, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
Kateryna Shmeltser, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology Kryvyi Rih, Ukraine
Iryna Liakhova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology Kryvyi Rih, Ukraine
Olha Renkas, Student, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
- 119 - 132 **Treatment with chemical reagents for maintaining the flowability of the coal charge**
Kateryna Shmeltser, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Maryna Kormer, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Natalia Desna, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

133 -144 Dependence of metal shears consumption on technological parameters of the process of shearing flat rolled metal products

Maksym Seleznov, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Pavlo Borovik, Prof. DSc, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

145 - 157 Reducing the likelihood of material hanging when loading a coarse crusher

Ihor Zaselskiy, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Hennadii Zaitsev, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Volodymyr Shefer, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Eduard Havrylov, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

ЗМІСТ

Економіка

9 - 21 Digital Currency Market Research: The Example of Ukraine

Serhii Hushko, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Olena Burunova, Assoc. Prof. PhD, Jan Dlugosz University in. Czestochowa, Czestochowa, Poland

Iryna Maksimova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Hanna Purii, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Volodymyr Kulishov, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

22 - 30 Global challenges to modern international security system

Yaroslav Izmailov, Prof. DSc, State Tax University, Irpin, Ukraine

Iryna Yegorova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

31 - 45 Training of future accountants in higher education institutions of Ukraine

Yurii Kuzminskyi, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

46 - 54 Особливості управління основними напрямками стратегічного партнерства промислових підприємств в сучасних реаліях

Hanna Andrushchenko, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Yevhen Chuprynov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Oleh Podkopaev, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Tetyana Petrishina, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Viktoriya Hryhorieva, Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

55 - 63 Аналіз стану логістичних ланок вітчизняних промислових підприємств та головні напрями їх ревіталізації

Hanna Andrushchenko, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Yevhen Chuprynov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Oleh Podkopaev, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Serhiy Karpiuk, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Iryna Lyakhova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

64 - 78 Технічна інженерія в епоху цифровізації: роль штучного інтелекту та криптовалют в оптимізації податкових систем і поліпшення фінансової ефективності фінтех-бізнесу

Maryna Sadovenko, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Olga Kondratyuk, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Nataliia Suprun, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Maxim Tarverdiev, Bachelor's degree, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Технічна інженерія

79 - 92 Розробка Android -додатка для керування розумною теплицею на Arduino

Dmytro Medvediev, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Valentyna Khotskina, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Mykola Khodukin, Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Svitlana Medvedieva, Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Illia Prykhodko, Student, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

93 - 106 Метод зниження пульсацій струму тягових двигунів шахтних контактних електровозів з широтно-імпульсним регулюванням

Andrii Pyrozhenko, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Yevhenii Modlo, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Vitalii Shupov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Mykola Zhukov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Ruslan Shaida, Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

107 - 118 Підвищення ефективності доменної плавки в залежності від умов роботи доменних печей. Частина 2. Технологія спільного завантаження кускового антрациту і офлюсованих локальних спеків

Yevhen Chuprynov, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology Kryvyi Rih, Ukraine

Daria Kassim, Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Kateryna Shmeltser, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology Kryvyi Rih, Ukraine

Iryna Liakhova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology Kryvyi Rih, Ukraine

Olha Renkas, Student, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

119 - 132 Обробка хімічними реагентами для збереження сипкості вугільної шихти

Kateryna Shmeltser, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Maryna Kormer, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Iryna Liakhova, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

133 - 144 Залежність металоємності ножиць від технологічних параметрів процесу розрізання плоского металопрокату

Maksym Seleznov. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Pavlo Borovik, Prof. DSc, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

145 - 157 Зменшення ймовірності зависання матеріалу при завантаженні дробарки крупного дроблення

Ihor Zaselskiy, Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Hennadii Zaitsev, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Volodymyr Shefer, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

Eduard Havrylov, Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine



JEL: E44, F20

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.01


Digital Currency Market Research: The Example of Ukraine

Citation:

Hushko, S., Burunova, O., Maksimova, I., Purii, H., & Kulishov, V. (2024). Digital currency market research: the example of Ukraine. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 9-21. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.01>

Serhii Hushko

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: vice-rector@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-4833-3694

Olena Burunova

Assoc. Prof. PhD, Jan Dlugosz University in Czestochowa, Czestochowa, Poland
e-mail: o.burunova@ujd.edu.pl

 ORCID ID: 0000-0003-0502-0644


Iryna Maksimova

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: maksimova_ii@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-9754-0414


Hanna Purii

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: puriy_av@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0003-4226-4445

Volodymyr Kulishov

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: kulishov_vv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-8527-9746

Received: 11/03/2024

Accepted: 08/04/2024

Abstract: The article examines the theory and mechanisms of the functioning of the digital currency (cryptocurrency) market, reviews the latest publications of international scientists and experts, analyzes the digital currency market and its impact on both global and Ukrainian economy and financial system, the formation of trends and perceptions of circulation currencies, separation and connection with the real economy, defines methods of evaluating the effectiveness of investing in cryptocurrency assets on the global financial market, as well as opportunities and risks related to the use of cryptocurrency in the digital economy. Outlines of the Ukrainian digital currency market development, overcoming problems, ways of their solving, and certain conclusions are made. The article uses informational, comparative, institutional, complex approaches, and also adheres to the principles of objectivity, specificity, and systematicity, which give opportunity for a detailed and comprehensive study of the digital currency market. In the long term, the global digital economic development of each country may depend to a large extent on how well it adapts to the digital currency market. The analysis of the global cryptocurrency market reveals that the growing need for transparency and operational efficiency of financial payment systems, growing demand for remittances in developing countries, increasing market capitalization and strengthening data security are the main factors contributing to the development of the digital currency market. It was investigated that digital currencies as a means of payment are not yet sufficiently widespread in Ukraine due to the uncertain position of state authorities. The development of digital currencies in the country is mainly related to the investment activity of representatives of the IT sector in this financial instrument. It is assumed that by increasing consumer confidence, promoting it with the help of marketing techniques and tools, strengthening the security of this entire system and clarifying its legal status, it will gradually be integrated into the overall national and global financial system.

Keywords: digital currency, cryptocurrency, volatility, virtual currency, investment, benefits, risks, real economy.




JEL: E44, F20

Digital currency market research: The example of Ukraine

Serhii Hushko

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: vice-rector@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-4833-3694

Olena Burunova

Assoc. Prof. PhD, Jan Dlugosz University in. Czestochowa, Czestochowa, Poland


e-mail: o.burunova@ujd.edu.pl

 ORCID ID: 0000-0003-0502-0644

Iryna Maksimova

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: maksimova_ii@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-9754-0414

Hanna Purii

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: puriy_av@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0003-4226-4445

Volodymyr Kulishov

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: kulishov_vv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-8527-9746

Abstract: The article examines the theory and mechanisms of the functioning of the digital currency (cryptocurrency) market, reviews the latest publications of international scientists and experts, analyzes the digital currency market and its impact on both global and Ukrainian economy and financial system, the formation of trends and perceptions of circulation currencies, separation and connection with the real economy, defines methods of evaluating the effectiveness of investing in cryptocurrency assets on the global financial market, as well as opportunities and risks related to the use of cryptocurrency in the digital economy. Outlines of the Ukrainian digital currency market development, overcoming problems, ways of their solving, and certain conclusions are made. The article uses informational, comparative, institutional, complex approaches, and also adheres to the principles of objectivity, specificity, and systematicity, which give opportunity for a detailed and comprehensive study of the digital currency market. In the long term, the global digital economic development of each country may depend to a large extent on how well it adapts to the digital currency market. The analysis of the global cryptocurrency market reveals that the growing need for transparency and operational efficiency of financial payment systems, growing demand for remittances in developing countries, increasing market capitalization and strengthening data security are the main factors contributing to the development of the digital currency market. It was investigated that digital currencies as a means of payment are not yet sufficiently widespread in Ukraine due to the uncertain position of state authorities. The development of digital currencies in the country is mainly related to the investment activity of representatives of the IT sector in this financial instrument. It is assumed that by increasing consumer confidence, promoting it with the help of marketing techniques and tools, strengthening the security of this entire system and clarifying its legal status, it will gradually be integrated into the overall national and global financial system.

Keywords: digital currency, cryptocurrency, volatility, virtual currency, investment, benefits, risks, real economy.

Introduction

Virtual economy based on the circulation of digital currencies is extensively developing in the context of global digital technologies development and innovations, along with real economy. The maturing of financial relations in the process of digitization contributed to the evolution of cryptology, its synthesis with economic research and the formation of new forms of financial instruments, namely financial exchanges - cryptocurrencies.

Currently, digital currencies do not have a significant impact on the functioning of traditional currencies, this situation is expected to change in the future. Banks and private companies have great interest in their use, and the number of legal entities which accept digital currencies as a means of payment for services is constantly increasing, as well as the number of transactions. At the same time, it should be pointed out that digital currencies are unique and special in terms of their potential as financial investments, i.e. assets. According to Bobby Lee, the founder of Litecoin, "cryptocurrency can completely change the world of money. It can make money more accessible to everyone and reduce the influence of centralized banks on businesses and people in general" (*Sergeenkov, 2023*). John Carney, former chairman of the US Federal Reserve System adds: "cryptocurrency has the potential to significantly affect the world economy, both positively and negatively. On the one hand, it can decentralize the financial system, make financial services more accessible and transparent, lead to the growth of international trade, economic growth, and greater competition. On the other hand, cryptocurrency can be used to finance the shadow economy and circumvent government sanctions. It could have serious implications for international security and the economy" (*Brown, 2018*). Regarding international security, Christine Lagarde noted: "many cryptocurrencies are too opaque for regulators, some are vulnerable to hacker attacks, but much of this is due to technical issues that can be resolved over time" (*Lagarde, 2017*).

However, unlike fiat currencies, cryptocurrencies do not have stable purchasing power in the long term. In an interview with The New York Times in 2018, Bill Gates said: "Cryptocurrency is a very interesting technology, but it's still at an early stage of development. I don't think it's ready to replace traditional currencies right now, but it has the potential to change the way we make payments" (*Gates, 2018*).

Besides the abovementioned, the holders cryptocurrencies cannot carry out a series of payouts to their, unlike other investment instruments such as real estate, stocks and bonds. On the other hand, digital currency can provide investors with income through changes in market value. This factor is one of the main drivers of market demand for certain digital currencies, but there are also certain risks associated with its use in the digital currency market.

The current geopolitical situation (the war between Russia and Ukraine), according to Larry Fink (the head of Black Rock, one of the largest investment companies in the world in terms of manageable assets (more than \$10 trillion), can have a positive effect on digital currencies, as it "forces countries to reassess its currency dependence, namely: a thoughtfully designed global digital payment system can improve the settlement of international transactions, reducing the risks of money laundering, corruption and the costs of cross-border payments" (*Kulishov et al., 2023*).

Regarding the development and legalization of cryptocurrency in Ukraine, according to Mykhailo Fedorov, Minister of Digital Transformation of Ukraine: "we want to create the most favorable conditions for the development of crypto-business in Ukraine, so that global crypto companies could enter Ukraine legally and conduct business using the banking system, and Ukrainians - declare and protect their income in virtual assets" (*Chainalysis Team, 2022*).

The introduction of the cryptocurrency market in Ukraine opens a completely new stage in the development of fintech innovations in the country and secures its status as one of the key European drivers of the latest financial technologies and services, is on the threshold of the transformation of the global financial system into "Money 3.0", and cryptocurrencies CBDC, NFT and other digital

assets will become a new stage in the evolution of finance, replacing fiat (*Kulishov et al., 2023*).

The review of scientific publications shows the relevance of the digital currency market research in the conditions of the digital economy.

Materials and Methods

The principle of systematicity is crucial in the research. Besides, the following general scientific methods were used during the research: content analysis, induction and deduction, descriptive, retrospective, comparative, generalization and grouping. The classification method was applied in the analysis of sources and literature, as well as for theoretical and methodological analysis in determining the essential characteristics of the key concepts of digital currency research. The method of content analysis was applied to the analysis of official documents, and the method of analysis and synthesis was used during the processing of existing literature. The complex use of various methods and approaches in the work contributed to a more objective study of the topic.

Research information base: data from international statistics, official resources of Knoema, Statista, scientific publications and materials of international congresses and conferences on the subject under study, reference and information publications, official websites about cryptocurrencies and other materials.

Results

Analysis of the global and Ukrainian cryptocurrency markets

The growth of the number of different digital currencies in the world shows the natural interest and relevance of the cryptocurrency market as a whole. By the beginning of 2022, there were more than 10,000 cryptocurrencies in the world, while nine years ago this number had been about 150 times smaller. At the same time, not all cryptocurrencies can be called successful projects, since only 20 cryptocurrencies provide 90% of the market capitalization of all cryptocurrencies (*Statista, 2023*). It should also be emphasized that the index is not cumulative, but reflects the number of active market offers traded on exchanges. In April 2022, the total market capitalization of all cryptocurrencies amounted approximately to 2 trillion USD, of which 700 billion USD accounted for Bitcoin (*Morris, 2022*).

Great Britain (18%), the United States (12%), Canada and Japan (6% each) account for the largest share of cryptocurrency exchange operations. The United States (34%), Great Britain (15%), Germany, Switzerland and China (6% each) are ahead of the number of cryptocurrency wallets. In China, the development of the cryptocurrency market does not depend on the activities of financial institutions, which are prohibited from conducting transactions with such instruments. The USA and Great Britain lead the ranking by the number of payment transactions (15% each), followed by South Korea (10%), China, Australia, Mexico and Argentina (4% each) (*Scheifler, Gostrik, 2020*).

In developing countries, a relatively large share of the population owns cryptocurrencies, which is shown in table 1.

Regarding the development of the Ukrainian cryptocurrency market as an integral part of the international cryptocurrency market, it is worth mentioning that the use of digital currencies in Ukraine has almost reached the level of the USA, Western Europe and Southeast Asia. According to experts, more than 5.5 million people, or 12.7% of the Ukrainian population currently own cryptocurrencies, and we are among the top three in terms of the number of users of various electronic wallets. For example, the Ukrainian cryptocurrency exchange Kuna reported that SMEs can rotate up to USD 5 million worth of cryptocurrency per week, while the volume of retail cryptocurrency trading is about USD 800,000 per day (*TripleA Global Digital, 2022*), and according to the Office of Effective Regulation (Better Regulation Delivery Office) research, Ukraine has entered the top ten countries in terms of the number of cryptocurrency users, the amount of funds raised through the ICO has reached 100 million US dollars (*Plachevskiy, 2018*).

Table 1. Cryptocurrency Ownership Data

Country	Number of people owning cryptocurrency	Percentage of population owning cryptocurrency, %
1	2	3
Ukraine	5 565 881	12,73
Venezuela	2 941 502	10,34
Singapore	549 903	9,40
Kenya	4 580 760	8,52
USA	27 491 810	8,31
India	100 740 320	7,30
South Africa	4 215 944	7,11
Nigeria	13 016 341	6,31
Colombia	3 122 449	6,14
Vietnam	5 961 684	6,12
Thailand	3 629 713	5,20
United Kingdom	3 360 591	4,95
Brazil	10 373 187	4,88
Pakistan	9 051 827	4,10
Philippines	4 360 579	3,98
South Korea	1 942 933	3,79
Peru	1 233 892	3,74
Australia	857 553	3,36

Note: Source was developed using (*TripleA Global Digital, 2023*).

The importance of the cryptocurrency market for Ukraine is also reflected in the assessment of the company Chainanalysis, which is engaged in blockchain analysis. According to the estimates, Ukraine is among the 10 countries where miners were able to earn more than 400 million US dollars and 10 billion hryvnias from the sale of bitcoin coins (*Cherkashyn, 2021*). In the US, miners earned \$4 billion from the sale of Bitcoin coins, while in China - only \$1.1 billion (*Sereda, 2021*). As a percentage of GDP, the share of profit from the sale of Bitcoin in Ukraine is significant and amount to about a quarter. In the US, this figure is about 0.02% ($4 / 20937 \times 100\% = 0.019\%$), and in China, the share of profits from the sale of Bitcoin in GDP is less than one hundredth ($1.1 / 14723 \times 100\% = 0.007\%$). However, Chinese miners account for approximately 65.08% of the global production of the Bitcoin cryptocurrency (*Kaloudis, 2021*). Thus, in Ukraine, the share of profit to GDP from the sale of Bitcoin is high, more than 10 times as high as the absolute and relative indicators of the main economically developed countries, which indicates the effectiveness of mining in our country.

The volume of bitcoin cryptocurrency in the cryptocurrency market as of the end of 2021 was 43.63% (*Bitcoin Rich List, 2023*), therefore, we are considering the characteristics of crypto wallets for this cryptocurrency and the distribution of Bitcoin cryptocurrency owners addresses and coins in Ukraine in table 2.

Table 2. Distribution of Bitcoin owners addresses and coins in Ukraine

Balance, BTC	Addresses	Percentage of addresses (total), %	Coins	USD	Percentage of coins (total), %
(0 - 0,001)	21003672	51,81 % (100 %)	4309 Bitcoin	174 949 994	0,02% (100 %)
[0,001 - 0,01)	10071550	24,84 % (48,19 %)	38 069 Bitcoin	1 545 580 196	0,2 % (99,98 %)
[0,01 - 0,1)	6156834	15,19 % (23,34 %)	198 946 Bitcoin	8 077 197 876	1,05 % (99,78 %)
[0,1 - 1)	2495548	6,16 % (8,16 %)	774 197 Bitcoin	31 432 284 174	4,09 % (98,73 %)

[1 - 10)	664793	1,64 % (2 %)	1 692 011 Bitcoin	68 695 427 628	8,93 % (94,64 %)
[10 - 100)	130122	0,32 % (0,36 %)	4 253 529 Bitcoin	172 692 755 511	22,45 % (85,71 %)
[100 - 1000)	13567	0,03 % (0,04 %)	3 892 931 Bitcoin	158 052 530 721	20,55 % (63,26 %)
[1 000 - 10 000)	2039	0,01 % (0,01 %)	5 259 606 Bitcoin	213 539 361 602	27,76 % (42,71 %)
[10 000 - 100 000)	81	0 % (0 %)	2 168 178 Bitcoin	88 027 747 037	11,44 % (14,95 %)
[100 000 - 1 000 000)	4	0 % (0 %)	664 320 Bitcoin	26 971 307 678	3,51 % (3,51 %)

Note: Source was developed using (*Bitcoin Rich List, 2023*)

Table 2 reveals that 2% of addresses control 94.6% of all Bitcoin coins. Taking into consideration that Bitcoin addresses are not "accounts" and that a single user can own multiple addresses, the concentration of Bitcoin cryptocurrency in the hands of a limited number of people could even be higher.

Traditional stock prices and total asset value reflect the overall health of a company is quite well. In the case of cryptocurrencies, this relationship is more ambiguous. Cryptocurrencies have no liquid and tangible assets. Besides, very limited intangible assets that can support and justify their current share price and market capitalization (Figure 1).

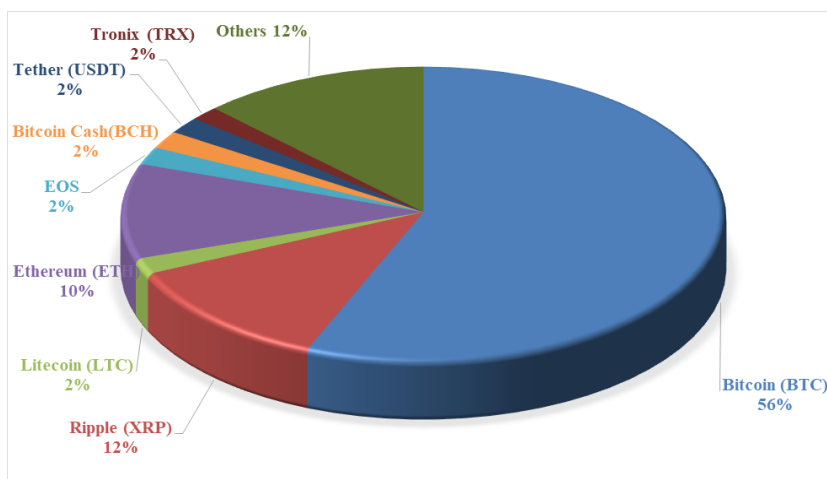


Figure 1. The global cryptocurrency market structure by capitalization as of 2021

Note: Source was developed using (*Review 2023 from Binance Academy, 2023*).

Therefore, in the conditions of digitalization in the financial markets, a wide range of digital currencies is offered, which are of great interest both to the general public and to investors who wish to invest in the rapidly developing market segment.

Methods of evaluating the effectiveness of investing in cryptocurrency assets in the global financial market

Digital currency is a new and unusual asset class with unique characteristics which requires a special approach when investing in it. However, in addition to the risks described below, the high volatility of this asset class and the excessive use of cryptocurrencies for speculative purposes immediately attracted attention, which became the main driver of the aforementioned volatility. Due to the weak regulation, trust was also low in this market (*Sheets, Wang, 2019*).

The price of cryptocurrencies on exchanges depends on supply and demand and can increase or decrease at any time due to a decrease or increase in demand. It can also change dynamically due to social or political factors. Indicators of different levels of profitability and risk in certain investment

time horizons are analyzed in the table. 3.

Table 3. The maximum, minimum and average monthly returns of Bitcoin at each point in time, as well as an indicator of the risk degree

Investment horizon	Maximum monthly yield, %	Minimum monthly yield, %	Average monthly yield, %	Risk, %
1 month	591,79	-88,46	31,55	95,39
3 months	634,24	-28,33	38,96	92,75
6 months	1022,22	-11,33	60,04	169,26
9 months	737,34	-7,52	48,63	104,73
1 year	1021,40	-4,67	69,09	158,94
1 year 3. months	1114,46	-2,42	87,02	179,23
1 year 6 months	1089,13	-2,37	114,88	205,96
1 year 9 months	1001,01	-1,92	141,37	232,99
2 years	1410,26	-0,79	171,84	260,83
2 years 3. months	4030,59	-0,90	286,18	591,43
2 years 6 months	9317,06	1,85	394,85	1286,98
2 years 9 months	3442,24	1,93	375,09	706,22
3 years	12624,85	2,83	744,84	2152,05
3 years 3 months	9003,42	3,54	687,33	1652,71
3 years 6 months	10157,74	8,58	790,81	1960,82
3 years 9 months	7849,77	8,10	689,78	1436,61
4 years	6464,36	18,88	760,96	1243,50
4 years 3 months	8088,96	32,42	943,28	1551,37
4 years 6 months	4825,64	154,66	1038,70	1044,72
4 years 9 months	4762,06	154,51	1413,12	1105,72
5 years	7541,36	181,45	1803,38	1758,20

Note: Source was developed using (*Performance of Bitcoin, 2023*).

The maximum monthly return is 12624.85%, which is extremely high. In their turn, the risk indicators of Bitcoin are also hundreds of times as high as those of other investment assets. At the same time, the uncommon behavior is that, unlike other assets, the risk increases significantly during longer investment periods (*Zakharkin et al., 2017*).

The dangers of cryptocurrency markets are mainly related to threats to financial markets, namely:

- lack of any regulation of the cryptocurrency market by financial regulators, as they are deprived of a real opportunity to influence the virtual sources of cryptocurrency formation effectively;

- complex nature of cryptocurrencies makes it impossible to recognize them as money, currency or monetary value, electronic money, securities or monetary surrogates, which is the basis for claims by financial regulators in a number of countries, including Ukraine;

- extremely large number of various cryptocurrencies (over 2,500) with very different technical and financial characteristics; unpredictability, extreme dynamism and high volatility of cryptocurrency rates (especially those which are in the greatest demand);

- the fact that cryptocurrencies are not considered to be bank deposits guaranteed by the state deposit guarantee fund, and therefore, the return of funds invested in cryptocurrencies cannot be guaranteed;

- the need for technical prerequisites for organizing the circulation of cryptocurrencies and, accordingly, related technical risks;

- the possibility of using cryptocurrencies to finance criminal or terrorist activities, money laundering or financial pyramids (*Zymovets, 2017*).

However, there are other types of investments related to cryptocurrencies. For example, many modern exchanges such as Binance also offer cryptocurrency deposits. These types of investments provide investors with income in the form of interest on invested funds. exchanges and corresponding ratios of cryptocurrency assets available to investors are listed in the table 4.

Table 4. Deposit rates on international exchanges

Exchange name	Interest rate, %
1	2
Aqu.io	7%
Crypto.com	14.5% - on ordinary cryptocurrencies 10% - on stablecoins
Nexo.io	16%
Binance.com	5-20% - depending on the cryptocurrency

Note: Source was developed using (*Performance of Bitcoin, 2023*).

Exchanges guarantee the payment of interest when concluding a deposit agreement, this does not mean that cryptocurrency deposits are risk-free. The main risk is that investors open deposits in cryptocurrencies, which are highly volatile currencies. Interest payments are guaranteed by the exchange, but there is no guarantee that the value of the cryptocurrency in which the investor opens a deposit will not change.

Therefore, according to the level of risk that the investor is ready to take, cryptocurrency exchanges offer various deposits, and depending on the possibility of early termination of the deposit agreement, they distinguish between flexible and closed deposits:

- flexible deposits offer investors a lower interest rate, which allows them to withdraw their funds earlier;
- closed deposits offer higher interest rates, but do not allow early withdrawal.

Some cryptocurrencies are divided into high-risk and low-risk deposits. Cryptocurrencies with high volatility, new or low trading volumes have higher interest rates and shorter minimum holding periods, but are considered riskier because they are more prone to price fluctuations. Cryptocurrencies with low volatility and high trading volume, which are tied to fiat money or more stable cryptocurrencies, also have their own deposits, which offer investors lower interest rates and longer minimum deposit terms, and are compensated by being more protected from price fluctuations (*Grechany, 2022*).

Many Ukrainian experts advise to consider cryptocurrencies as part of the investment portfolio (5-10%) and to assume that this asset is a high-risk one, being very unpredictable. One more tip is to invest in any high-risk asset only that amount that investors which you are ready to lose. That is why experts are still cautious about this investment tool.

The best strategy for investors is to stop looking at traditional investments as "the only option worth considering" and build a portfolio of alternative investments. Alternative investments are investments in products and markets created by decentralized financial protocols, as well as in digital currencies themselves.

Advantages and issues of using digital currency in Ukraine

The undoubted advantage of digital currencies is the flexibility of payments, since transactions can be made anywhere in the world at any time. Transactions in cryptocurrencies do not require the opening or maintenance of a bank account and are characterized by low maintenance costs. The advantages and disadvantages of using cryptocurrencies in the world are listed in the table. 5

Table 5. Advantages and disadvantages of using cryptocurrencies in the world

№	Advantages	Disadvantages
1	High level of security - cryptocurrencies cannot be forged due to the blockchain security system. Technical difficulty of mining - the currency can be used only if it is acceptable and technically adequate.	Technical difficulty of mining- the currency can be used only if it is acceptable and technically adequate.
2	Decentralization - it is affected by the absence of an emission center. Exchange rates are not influenced by anyone and are determined by the conditions of supply and demand. Investments are unreliable due to large and rapid exchange rate fluctuations.	Unreliable investments due to large and rapid exchange rate fluctuations.
3	Transparency - all transactions with electronic money are stored in the database for an indefinite period, so all network users have the opportunity to check the balance of their cryptowallet. Cryptocurrencies are new opportunities and tools for tax evasion, new money laundering schemes.	New opportunities and tools for tax evasion, new money laundering schemes.
4	Speed and convenience - opening a bank account is much more difficult than an electronic wallet. On the other hand, the speed of transactions with cryptocurrencies is much higher and the fees are lower. There is no way to suspend or cancel transactions.	There is no way to suspend or cancel transactions.
5	BTC is used to buy and sell goods and services, as well as to pay dividends. The risk of high volatility turns Bitcoin into a highly volatile asset from an economic point of view	The risk of high volatility turns Bitcoin into a highly volatile asset from an economic point of view.

Note: Source was developed using (*Molchanova, 2014*)

It should be emphasised that as far as digital currencies in Ukraine are there is an imbalance between the economic realities of the market and the legislation, which complicates the creation of formal institutional rules that regulate the procedures of issuance and circulation of cryptocurrencies, and increases possible risks at the macro and micro levels (*Ludvig, 2023*). The National Bank of Ukraine initially equated cryptocurrencies with monetary surrogates that have no real value and prohibited their use by individuals and legal entities. However, after extensive consultations with the Bitcoin community, in 2016 Ukraine signed a memorandum of understanding to launch a system of decentralized online auctions in public institutions at the municipal and local levels for the privatization, leasing and licensing of state property. The concept of the E-Ukraine e-governance portal aimed at interaction between citizens, business and the state was also presented (*Memorandum on the implementation of the "E-Auction 3.0" system, 2016*), and the Ukrainian Stock Exchange became the world's first platform for trading cryptocurrency futures (*Bitcoin futures trading started at the Ukrainian Stock Exchange, 2016*).

Currently, there are also a number of real estate sellers in Ukraine who offer to pay in cryptocurrency. However, due to the low level of regulation of cryptocurrency transactions at the legislative level, both sellers and buyers have valid concerns about the risks. Some law firms believe that exchange agreements where cryptocurrency is the currency can be easily challenged in court (*Zavalniuk, 2021*).

The emergence of cryptocurrencies in the economy of Ukraine and their use by market participants has its own characteristics, which are displayed in table 6.

Table 6. Advantages and disadvantages of using cryptocurrency in Ukraine

Advantages of using cryptocurrency	Disadvantages of using cryptocurrency
Freedom from government interference	Absence of legislative restrictions on the status or cryptocurrencies circulation
Anonymity	The risk of being involved in illegal activity at the cryptocurrency

	market.
Protection of personal data	Uncertainty as for the possibility of legal rights protection regarding cryptocurrencies
Freedom in payment	Non-recognition of validity of smart contracts executed in electronic form.
Investment tool	Hacker attacks
Low maintenance cost	Loss of passwords and access to electronic wallets can result in complete loss of cryptocurrency
Reduction of corruption risks	No opportunity to contribute cryptocurrency to the authorized capital of legal entities
Speed	Risk of emission decentralization
Reliability	Issues in using for some non-professional users
No necessity to open or maintain a bank account for transactions.	High volatility of the exchange rate
Portability	Opportunities for financing of illegal activities

Note. Source was developed using (*Vasylchak, 2017; Samokhodskyyi, Shelest, 2018*)

The only means of exchanging cryptocurrency into other values should be cryptocurrency exchanges, which procedure should be determined by the National Bank of Ukraine. Before the adoption of this draft law, any activity using cryptocurrencies in Ukraine is considered illegal. The bill also requires cryptocurrency exchanges to identify each entity that conducts transactions with cryptocurrency through its intermediaries (*Andrushchenko, 2021*).

The issue of cryptocurrencies taxation in Ukraine is a crucial one. On the one hand, the cryptocurrency tax has the right to exist, but on the other hand, it is unclear what it can be. You can, definitely, take 20% for the benefit of the state from each transaction related to cryptocurrency, but under such conditions, no one will use it. The introduction of a clear and transparent regulatory mechanism solves many difficulties, but it also creates new ones.

Another problem with the legal regulation of cryptocurrencies in Ukraine is its ambiguity in the whole world. Countries with strong economies and currencies are adopting cryptocurrencies as a means of payment and a financial asset. Countries with weak economies and unstable currencies seek to support their currencies by restricting cryptocurrencies as a means of payment and allowing them only as a medium of exchange.

For example, in some US states, cryptocurrencies are recognized as money transfers in payment systems. In Germany, bitcoin is acknowledged as a unit of account, while in Japan it is accepted as legal tender. In Europe, cryptocurrencies are mostly equated with electronic money, but are considered to be a means of exchange not a legal tender. In China, Bitcoin transactions are prohibited for banks, but allowed for private individuals. Bitcoin is a form of payment in Canada. In Spain, the Bitcoin system is recognized as an official payment system. Bolivia, Ecuador, Thailand and Vietnam have banned the use of cryptocurrencies directly.

Such ambiguity in the approach to cryptocurrencies in different world countries creates additional problems in determining their legal status. It means necessity for Ukraine to develop its own approach to the legal regulation of cryptocurrencies and give them a special legal status based on the current state of the country's legislative and economic development (*Nakonechny, 2017*).

As for the political, economic, humanitarian and legal advantages, it becomes clear that cryptocurrencies and blockchain technology are turning into a breakthrough innovation that can fundamentally change most aspects in life of Ukrainian communities. And if that happens, we'll have full control over our finances and be free to choose who we send money to for minimal fees.

Digital currencies are showing a steady increase in investment, capital and interest in the industry in general. The best way for any country, including Ukraine, to become part of such relations, regardless of the political situation, is to create the following:

- an arbitration body, to be regulated at a fairly liberal level;
- a fair tax system not subjected to pressure;
- a monetary system which is practically impossible to manipulate and introduction of a free

market.

The use of digital currencies in online payments is becoming more and more popular both in the world and in Ukraine. Despite this fact, there are still a number of obstacles that delay the integration of digital currencies into existing payment systems.

Conclusions

In addition, characterizing Ukraine as a country where the digital currencies are spreading broadly, it should be emphasized that Ukraine has the potential to become a global cryptocurrency "hub" for startups and international technology companies. Such a scenario would definitely be a great driver for the growth of the country's economy and the digital sector development. However, it is of paramount importance for national regulators in this sector to provide analytical infrastructure for protecting consumer rights and preventing fraud.

To sum up, digital currencies and assets play an important role in the era of digitization and the development of Internet technologies, as more and more transactions go digital, opening up new opportunities and advantages in the global financial system, the real digital economy and society in general. They could form the backbone of a highly efficient new digital payment system by enabling broad access, and they may also help to provide strong data governance and privacy standards.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

Funding

This research received no external funding.

Authors contribution

Conceptualization, H. S. and B.O.; methodology, M. I.; analis data, P H.; project administration, K. V. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

References

- Andrushchenko, D. (2021). Blockchain and fintech: how the sphere of finance is changing. *Economic truth*. <https://www.epravda.com.ua/columns/2021/04/14/672973/>
- Bitcoin futures trading started at the Ukrainian Stock Exchange. (2016). *FORKLOG*. <https://forklog.com/na-ukrainskoj-birzhe-startovalitorgi-fyuchersami-na-bitkoin/>
- Bitcoin Rich List. (2023). Bitcoin distribution. *BitInfoCharts*. [Data file]. Retrieved from <https://bitinfocharts.com/top-100-richest-bitcoin-addresses.html>
- Brown, A. (2018). Cryptocurrency Universe Expands Far Beyond Bitcoin. *Bloomberg*. <https://www.bloomberg.com/view/articles/2018-06-27/cryptocurrency-universe-expands-far-beyond-bitcoin>
- Chainalysis Team. (2022). *The 2022 Global Crypto Adoption Index: Emerging Markets Lead in Grassroots Adoption, China Remains Active Despite Ban, and Crypto Fundamentals Appear Healthy*. [Data file]. Retrieved from <https://www.chainalysis.com/blog/2022-global-crypto-adoption-index/>
- Cherkashyn, V. (2021). Ukraine in 2020 ranked tenth in the list of countries that received the most profit from the sale of bitcoins. *Sf.Wunu*. <http://sf.wunu.edu.ua/index.php/wof/article/view/1522/1530#>.

- Gates, B. (2018). What Are the Biggest Problems Facing Us in the 21st Century? *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2018/09/04/books/review/21-lessons-for-the-21st-century-yuval-noah-harari.html>
- Grechany, P.O. (2022). The development of the cryptocurrency market in conditions of global instability. <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8db6c003-2af1-4372-b9e0-657ea768a79e/content>
- Kaloudis, G. (2021). Does Bitcoin Have an Energy Problem? *CoinDesk research*. <http://inneco.org/index.php/innecoua/article/view/960>
- Kulishov, V. (Ed.). (2023). *The global economy: development, transformations, challenges*. Prague: OKTAN PRINT. DOI number: 10.46489/GE23UA-01
- Lagarde, C. (2017). Central Banking and Fintech - A Brave New World? *International Monetary Fund: Bank of England conference*, London. <https://www.imf.org/en/News/Articles/2017/09/28/sp092917-central-banking-and-fintech-a-brave-new-world>
- Ludvig, M. (2023). Bitcoin mining on AWS in 2023 — the complete guide. *MEDIUM*. <https://medium.com/coinmonks/bitcoin-mining-on-aws-in-2023-the-complete-guide-89a399881eda>
- Memorandum on the implementation of the "E-Auction 3.0" system. (2016). *Committee of the Verkhovna Rada of Ukraine on Digital Transformation*. <https://komit.rada.gov.ua/print/72885.html>
- Molchanova, E., Solodkovskiy, Yu. (2014). Global service nature of modern cryptocurrencies. *International economic policy*, No. 1, P. 60 - 65.
- Morris, C. (2022). Crypto market cap is once again above \$2 trillion. *Yahoo Finance*. <https://finance.yahoo.com/news/crypto-market-cap-once-again-160104874.html>
- Nakonechny, S. (2017). Cryptocurrency in Ukraine. Problems and prospects of legal regulation. *Legal Gazette online*, No. 46 (596). <https://yur-ptelekomunikaciyi/kriptovalyuti-v-ukrayini-.html>
- Plachevskiy, I. (2018). How the cryptocurrency market works in Ukraine. *Finclub*. <https://finclub.net/ua/analytics/yak-pratsiuie-rynok-kriptovaliut-v-ukraini.html>
- Review 2023 from Binance Academy. (2023). *Binance Academy*. [Data file]. Retrieved from <https://academy.binance.com/uk>
- Samokhodskiy, I., Shelest, O. (2018). Green book of crypto currency market regulation. *Office of effective regulation*. <https://regulation.gov.ua/book/91-zelena-kniga-reguluvanna-rinku-kriptovalut>
- Scheifler, V.S., Gostrik, O.M. (2020). Development and introduction of information technologies in the tourist sector companies. Information technologies in economy and management. *Collection of scientific papers Odesa*. Issue 2. <https://core.ac.uk/download/pdf/323918263.pdf>
- Sereda, O. (2021). Ukraine became the tenth among the countries-leaders in terms of income from Bitcoin. *Zn.ua*. <https://zn.ua/ukr/ECONOMICS/ukrajina-stala-desjatoju-sered-krajin-lideriv-po-pributku-vid-bitkoini.html>
- Sergeenkov, A. (2023). What Is Cryptocurrency? *CoinDesk*. <https://www.coindesk.com/learn/what-is-cryptocurrency/>
- Sheets, B., and Wang, X. (2019). Are Cryptocurrencies Good Investments? *Studies in Business and Economics*, Vol.14, No.2, pp. 181-192. <https://doi.org/10.2478/sbe-2019-0033>
- Statista. (2023). *Number of cryptocurrencies in the world from 2013 to February 2023*. [Data file]. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/863917/number-crypto-coins-tokens/>
- TripleA Global Digital. (2022). *Digital currency Adoption and trends in Ukraine in 2022*. [Data file]. Retrieved from <https://triplea.io/crypto-ownership-ukraine/>
- TripleA Global Digital. (2023). *Cryptocurrency across the world*. [Data file]. Retrieved from <https://triple-a.io/crypto-ownership-data/>
- Vasylchak, S.V. (2017). The use of cryptocurrencies in modern economic systems of Ukraine. *Scientific Bulletin of S.Z. Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. Gzhitskyi*, No. 76, P. 19-25.

- Zakharkin, O. O., Zakharkina, L. S., Moskalyova, O. O. (2017). Evaluation of the volatility of the cryptocurrency market in comparison with other investment instruments in Ukraine. *Problems of the systemic approach in economics*, No. 6 (62), P. 85-92.
- Zavalniuk, I. (2021). How the Ukrainian cryptocurrency market works and what you can buy it for. *UA News*. <https://ua.news/ua/fintech-in-ukraine-30/kak-rabotaet-ukraynskyj-rynok-kryptovalyuty-cho-za-nee-mozhno-kupyt>
- Zymovets, V.V. (2017). Cryptocurrency market capitalization and investment potential of the corporate sector of the economy. *New forms of money and financial assets: formation, prospects, risks: Mat. between. born science and practice conf. Scientific works of NDFI*, No. 4 (81).
- Performance of Bitcoin. (2023). *Curvo.Eu*. <https://curvo.eu/backtest/en/portfolio/bitcoin>




JEL: D80, L98


DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.02

Global challenges to modern international security system

Citation:

Izmailov, Y., & Yegorova, I. (2024). Global challenges to modern international security system. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 22–30. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.02>

Yaroslav Izmailov
Prof. DSc, State Tax University, Irpin,
Ukraine
e-mail: izmyar@ukr.net
 ORCID ID: 0000-0003-4853-205X

Iryna Yegorova
Assoc. Prof. PhD, State University of
Economics and Technology, Kryvyi Rih,
Ukraine
e-mail: yegorova_ig@duet.edu.ua
 ORCID ID: 0000-0002-7800-2810

Abstract: Ensuring global international security requires a thorough study of threats that negatively affect processes in countries around the world. Given the nature of threats, the goal of security research is to timely identify, overcome an existing or prevent a potential threat by partially or completely neutralizing the impact of threats. In connection with global challenges to the modern system of international security, the concept of individual and collective security in the world is being revised. This is forcing the countries of the world and military-economic blocs to reconsider their defense policies, focus on increasing military budgets and developing new defense strategies. Identification, analysis and forecast of global challenges in the modern system of international security are very important and relevant. The purpose of the article is to identify the problems and prospects for countering the global challenges of the modern international security system. The development of geopolitical relations in the modern world is determined by current global security problems that directly or indirectly affect all countries of the world. The modern world is faced with many challenges that require not only a defensive response, but also countermeasures aimed at eliminating not only the problems themselves, but also the risk factors caused by these problems. The main attention should be focused not only on countering threats, but also on developing preventive measures to overcome the possible consequences of an increase in new global and regional risks to national security. It has been proven that the main global challenges to international security are: military actions between countries and frozen conflicts, economic globalization, competition for resources, climate change and environmental problems, mass uncontrolled migration, technological changes and cybersecurity, international terrorism and extremism. The result of overcoming existing or preventing potential global threats is the protection of national and international interests and ensuring the sovereignty of states.

Keywords: security, globalization, environmental security, global security, energy security, demographic aspect of security, social security

Received: 12/03/2024


Accepted: 08/04/2024



JEL: D80, L98

Global challenges to modern international security system

Yaroslav Izmailov
Prof. DSc, State Tax University, Irpin, Ukraine
e-mail: izmyar@ukr.net
 ORCID ID: 0000-0003-4853-205X

Iryna Yegorova
Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: yegorova_ig@duet.edu.ua
 ORCID ID: 0000-0002-7800-2810

Abstract: Due to global challenges to the modern system of international security, the concept of individual and collective security in the world is being reconsidered. It forces the countries of the world, military-economic blocs to review their defense policy, to focus on increasing military budgets and developing new defense strategies. The definition, analysis and forecast of global challenges in the modern system of international security is very important and relevant. The purpose of the article is to determine the problems and prospects of countering the global challenges of the modern international security system. The development of geopolitical relations in the modern world is determined by urgent global security problems that directly or indirectly affect all world countries. The modern world is faced with many challenges that require not only a defensive reaction, but also countermeasures in order to eliminate not only the problems themselves, but risk factors caused by these problems. The main attention should be focused not only on countering threats, but also on the development of preventive measures to overcome the possible consequences of increasing new global and regional risks to national security. It has been proven that the main global challenges to international security are as follows: hostilities between countries and frozen conflicts, economic globalization, competition for resources, climate change and environmental problems, mass uncontrolled migration, technological changes and cyber security, international terrorism and extremism.

Keywords: security, globalization, environmental security, global security, energy security, demographic aspect of security, social security

Introduction

The current geopolitical situation in the world is characterized by a number of complex challenges affecting stability and security at the global level. The international balance of power is changing due to the active military aggression of the Russian Federation against Ukraine, Israel's war against the Gaza Strip, and the tense atmosphere of relations between the Democratic People's Republic of Korea and South Korea, China, and Taiwan. The civilized world condemned the Russian Federation's aggression against Ukraine, imposed sanctions, and is helping Ukraine with weapons and finances. Sanctions also had a reverse negative economic effect on the countries that imposed them. China's influence on world processes is growing rapidly, at the same time, due to active political processes, the role of the United States on the world stage is being reconsidered and the positions of regional states such as India, Brazil, and Iran are being strengthened. The traditional unipolarity of the world is changing and gradually giving way to a more dispersed and multipolar system of world politics which leads to a change in international alliances, an increase in regional conflicts and unpredictability in international relations among the world countries. Tense relations among the countries of the world and military actions have become a catalyst for changes in international relations, security policy and geopolitical strategies.

Due to global challenges to the modern system of international security, the concept of

individual and collective security in the world is being rethought. It forced NATO countries to review their defense policies, focusing on increasing military budgets and developing new defense strategies. The definition, analysis and forecast of global challenges in the modern system of international security is very important and relevant.

Materials and Methods

In the course of the research, the following methods were used: dialectical, generalization, comparison, system analysis, observation of economic activity, graphic, etc.

Results

Theoretical and methodological aspects of ensuring the economic security of the state are studied by the science of economic security - ecostate (from the English ecostate, economic security of state). The object of ecostate research is the security of the state, society, regions, enterprises and individual citizens, which is determined by the state of the economy. The subject of the study is the conceptual basis of the formation of economic security, general laws of its development, principles and main directions of provision (*Andruseac, 2016*).

The most large-scale armed conflicts that arose on the planet after the Second World War have not stopped until now, and the more local ones have entered the phase of frozen conflict, some have been localized or even stopped completely. Fig. 1 shows the countries and the duration of armed conflicts on their territories after the Second World War.

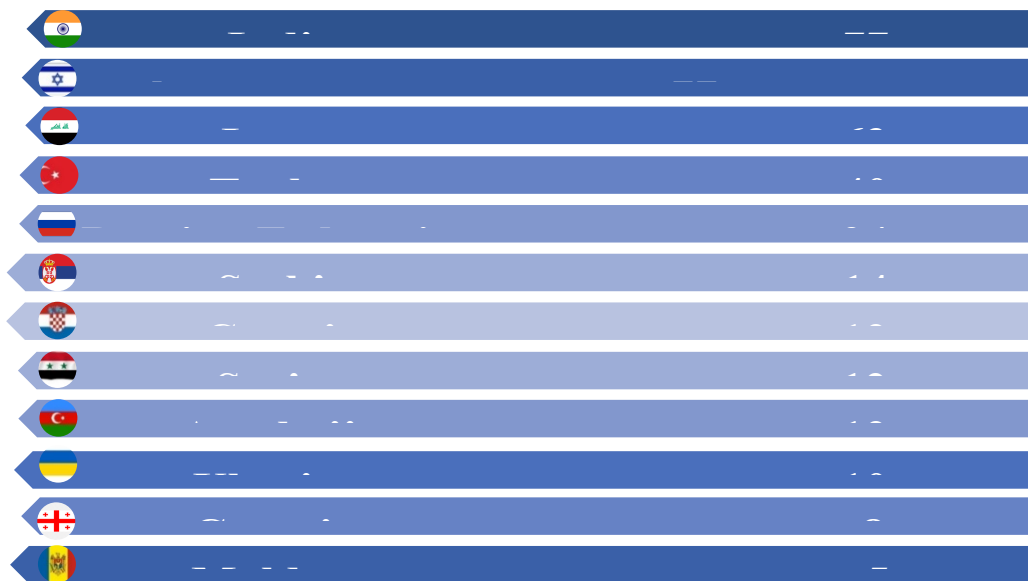


Figure 1. Countries and the duration of armed conflicts on their territories after the Second World War (as of February 2024), years (Imperial War Museums, 2024)

From fig. 1 it is obvious that India and Israel have been operating in armed conflict for the longest time (75 years).

The modern geopolitical landscape is characterized by a number of complex challenges affecting stability and security at the global level.

1. Military actions between countries and frozen conflicts

2. Economic globalization, on the one hand, promotes economic growth and development, but on the other hand, it increases inequality and creates new tensions. Competition for resources, including energy and water, is becoming more intense, which may lead to new conflicts and the strengthening of nationalist and protectionist sentiments.

3. Climate changes and environmental problems. Climate change threatens the stability of the entire planet, causing extreme weather conditions, rising sea levels, and affecting food security. These changes can lead to mass migrations, regional conflicts and increased social tensions.

4. Technological changes and cyber security. The rapid development of technology creates new opportunities for development, but also leads to new threats, such as cyber attacks on critical infrastructure, the spread of disinformation, and the influence of electoral processes. This creates new challenges for national and international security.

5. International terrorism and extremism. Terrorist groups such as Islamic State and Al-Qaeda continue to pose a significant threat. Radicalization through the Internet and global migration flows complicate the fight against terrorism and contribute to the spread of extremist ideologies.

6. Growth of international migration. Conflicts, economic crises, and climate change cause massive population displacements. This causes tensions in host countries, promotes the growth of xenophobia and nationalism, and threatens international stability.

Economic sanctions often include measures such as trade restrictions, financial embargoes, bans on the export or import of certain goods, and freezing of foreign assets. They can be aimed at individual companies, sectors of the economy, government bodies or even entire countries. The purpose of such sanctions is to influence the economic situation and political decisions of the target country, demanding a change in its behavior.

The hostilities in Ukraine and the Middle East have had a negative impact on the world's energy security. Gas and oil prices have risen significantly due to concerns about potential supply disruptions and sanctions imposed on the Russian Federation.

Developed countries which implemented sanctions began to look for alternative sources of energy resources in order to reduce dependence on Russian supplies. This has led to increased demand for oil and gas from other regions, such as the Middle East and North America. This diversification of supplies is one of the key areas of market adaptation to new realities. This actualized measures to ensure the developed countries of the world energy security and the transition to renewable energy sources. Many countries have begun to invest more actively in wind, solar and other alternative energy sources in an effort to reduce their energy dependence.

At the same time, rising energy prices have led to rising inflation in many countries, affecting the cost of living and economic stability, which, in its turn, necessitated government interventions and regulation aimed at protecting consumers and supporting the economy.

Consequently, changes in energy prices, the search for alternative energy sources and reconsidering energy security policy is to affect the global economy and international relations for many years to come.

Sanctions also hit hard not only on the aggressor, but also brought negative consequences for the countries that impose them, due to interdependence and globalization. Such consequences may include losses to own companies, loss of sales markets, rising prices and reduced global economic stability. The reaction of financial markets to similar geopolitical crises is often characterized by increased volatility, changes in investment priorities and reassessment of risks.

Today's international security situation in the world has actualized the issue of food security at the global level. She showed how important it is to have diverse sources of supply and promote the sustainability of agricultural supply chains. Some countries have already begun developing strategies to ensure greater independence from imported agricultural products by investing in their own agriculture and developing alternative sources of supply.

In addition to the direct humanitarian component, an important aspect of international security is the migration crisis and support for military refugees. Many countries have expanded their programs for refugees, providing them with shelter, medical care, education and social support.

The main components and indicators of a comprehensive approach to assessing the security indicators of the countries of the world are presented in fig. 2.

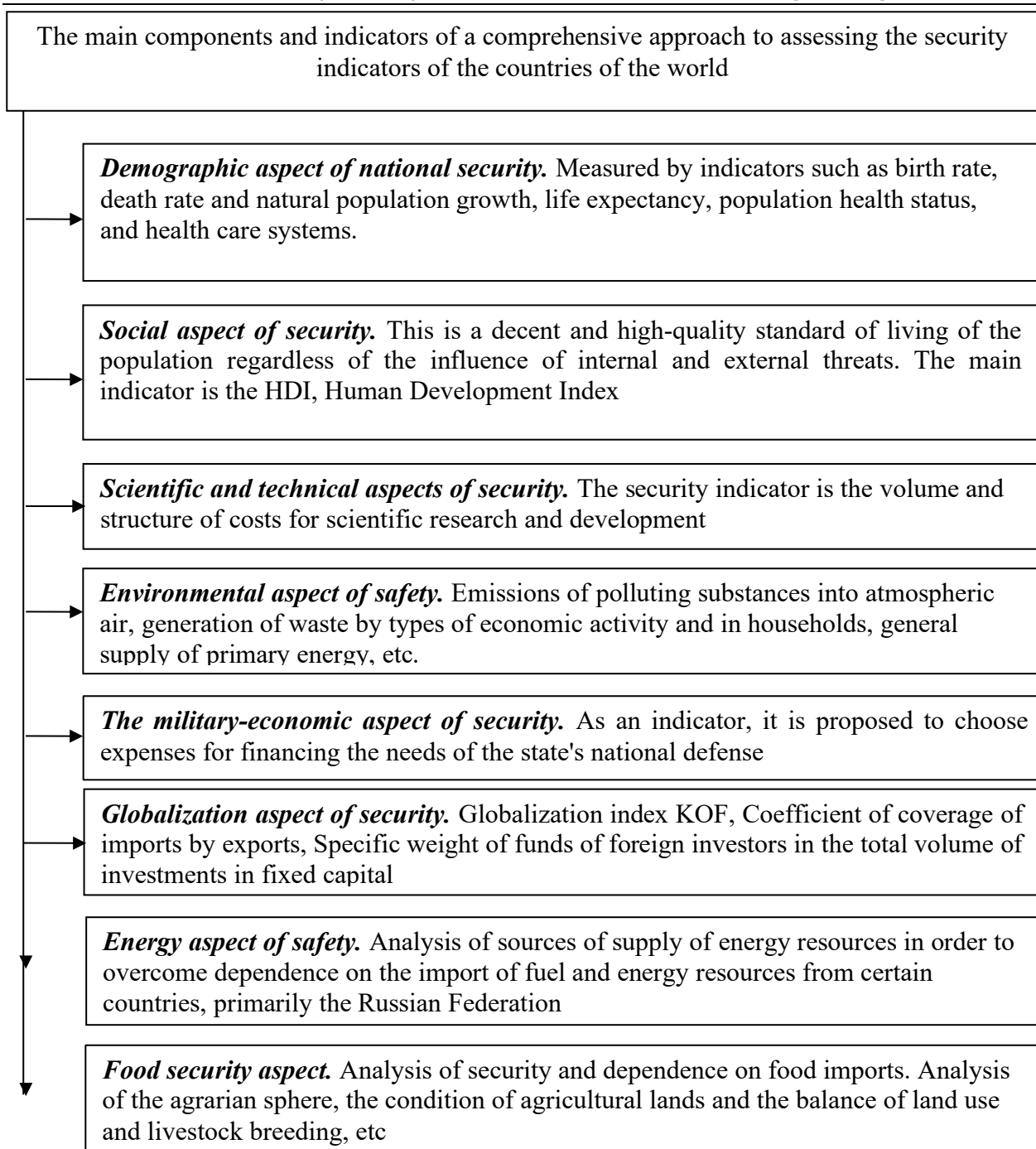


Figure 2. The main components and indicators of a comprehensive approach to assessing the security indicators of the countries of the world

Every country in the world needs to monitor and maintain the proposed indicators within certain parameters, which will allow managing these indicators to ensure the security of the countries of the world. It is proposed to take the following directions to ensure security, which will include clear parameters and indicators that will allow monitoring the security of the country in the conditions of global challenges of the modern international security system. Eight main aspects of ensuring the security of the countries of the world are proposed:

1. **Demographic aspects of national security.** It characterizes the state of protection of the state, society and the labor market from demographic threats, which characterizes the processes of reproduction of the population according to its main structural elements. Demographic security is usually measured by indicators such as fertility, mortality and natural population growth, life expectancy, population health and health systems. The demographic situation in the country is

sufficiently reflected by such an indicator as the depopulation ratio. It testifies to the size of the country's population decrease, in which the birth rate is insufficient to compensate for the death rate, which is an obvious threat to the economic security of the state in the demographic sphere from the point of view of reproduction of the state's human potential. The depopulation coefficient is calculated as the ratio of the number of births to the number of deaths for the same reporting period (year). The threats are the reduction of the birth rate, the increase in mortality and the aging of the population, depopulation, labor migration of the population.

2. Social aspect of security. Social security of the state is understood as such a state of development of the state, in which a decent and high-quality standard of living of the population is ensured regardless of the influence of internal and external threats. As an indicator of the social aspect of the economic security of the state, it is proposed to use the Human Development Index (HDI) (*Khodzhaian, 2017*). This indicator is published in the annual reports of the UN, is a comprehensive indicator of life expectancy, literacy, education and standard of living, and indicates that the state is lagging behind the optimal characteristics according to each of the specified criteria (average life expectancy, literacy of the population and continuous coverage of youth in education, average annual income per capita at purchasing power parity). The human development index provides a comprehensive picture of the effectiveness of government policy in the social sphere and can be considered as an adequate indicator of the level of compliance of the social aspect of the state's economic security with world standards.

Threats are a high level of poverty, social inequality and high differentiation of the population's incomes, deterioration of the physical, psychological and genetic health of the population, low educational and professional level of the population.

3. Scientific and technical aspects of state security. The level of scientific and technical development of the country plays an important role both in ensuring its international competitiveness and the level of welfare of society. At the same time, the more import-dependent and raw material-based the domestic economy is, the more important is proper funding of fundamental and applied research, which can help reduce its dependence on other subjects of the global economy and, accordingly, strengthen national security. Commonly used indicators of the effectiveness of scientific and technical research in the country are: the number of performers of scientific research and development, the dynamics and structure of scientific research and development by sectors of activity, the volume and structure of financing costs for the implementation of scientific research and development, the specific weight of costs for the implementation of R&D in the GDP of the country etc. Of course, from the point of view of evaluating the effectiveness of government policy in the scientific and technical sphere, the level of expenses for financing science is quite indicative, but since this indicator is defined as a share of GDP. Therefore, as an indicator of the state of safety of the scientific and technical sphere, it is proposed to choose such an indicator as the share of enterprises that implement innovations in the total number of industrial enterprises. The threats are the accumulation of technological backwardness, the reduction of budgetary support for science and innovative investments of enterprises, the disruption of relations between the real sector of the economy and scientific institutions, and the loss of personnel potential in the scientific and research sphere.

4. Environmental aspects of safety. Industry causes significant damage to the environment both globally and at the level of individual states. The security of countries in terms of the ecological sphere is the protection of the vital interests of man and citizen, society and the state, which ensures the sustainable development of society, the timely detection, prevention and neutralization of real and potential threats to national interests in the spheres of the functioning of natural monopolies, the use of subsoil, land and water resources, minerals, protection of ecology and natural environment. Environmental indicators recommended by the UN and produced by state statistics agencies include: emissions of pollutants into the air, application of mineral and organic fertilizers, generation of waste by types of economic activity and in households, general supply of primary energy, etc. In our opinion, the state of the natural environment of the state is sufficiently reflected by such an indicator as the volume of emissions of pollutants into the air from stationary and mobile sources, 1000 tons /

year. Threats are uncontrolled emissions of pollutants into the air, an increase in waste by types of economic activity.

5. The military-economic aspect of security. Military and economic security is an integral component of the national security of any state. At a time when military force continues to be a determining element of the state's ability to defend its national interests, ensuring the necessary level of military security guarantees the sovereignty, territorial integrity and inviolability of the state from encroachments with the use of military force (*Saganiuk, 2007*). It is under the condition of sustainable economic development that it is possible to solve all other tasks of ensuring national security. Military-economic security can be represented as the ability of the military economy to support the military power of the state and to realize the military-economic potential in the scope and terms stipulated by the governing documents of the state (*Abramova, 2015*). It is proposed to choose the costs of financing the state's national defense needs as an indicator for assessing the state of the military-economic aspect. The level of these costs should be sufficient to ensure the state's defense capability as its ability to defend itself in the event of armed aggression or armed conflict. The threats are the loss of financial independence in solving socio-economic issues, the limitation of the state's access to foreign markets, the budget imbalance in the conditions of the financial resources shortage of the state, the significant level of dollarization of the economy in the conditions of the growth of the external debt of the state, the increase in the total amount of the state debt.

6. Globalization aspect of security. Globalization processes are the basis for the emergence and escalation of certain external threats to the security of the national economic system, as well as a source of new opportunities for its development, which makes it expedient to consider aspects (manifestations) of globalization from the point of view of constructive and destructive influence. From the point of view of impact on the economic security of the state, the globalization of international economic relations has such manifestations as a new level of interdependence and interpenetration of economic systems and transnationalization of the world economy. According to the results of the assessment of the strength of the correlation between the sub-indices of the KOF-index of globalization and the indicators of the economic development of the countries of the statistical sample, the hypothesis was confirmed regarding the absence of a direct statistical relationship between the level of the state's involvement in the world economy and its economic growth, which allows us to consider the deepening of globalization processes as a source of additional threats for the economic security of the state. In order to develop the idea of the ambiguity of globalization role in ensuring the state economic security, scientists and specialized organizations are actively developing synthetic indices of globalization, which are designed to provide a comprehensive assessment of the multifaceted manifestations of this process - the Kearny index (The A.T. Kearny / Foreign Policy Magazine's Index), the KOF index of globalization (KOF Index of Globalization), Maastricht Globalization Index (The Maastricht Globalization Index), New Globalization index (The New Globalization index), CSGR globalization index (The Center for the Study of Globalization and Regionalization's Globalization Index) (KOF Globalization Index, 2024). With these indicators, it is possible to objectively measure the degree of involvement of the country in the system of the world economy. Transnationalization has a two-way impact on the development of the national economy, and can be both a source of threats and new opportunities for its development. With a sufficient degree of objectivity, the level of transnationalization of the national economy reflects the specific weight of foreign investors' funds in the total volume of investments in fixed capital, which was chosen as an indicator of the investment component of the state's economic security.

7. Energy aspect of safety. The state of the economy, which ensures the protection of national interests in the energy sector from existing and potential threats and makes it possible to meet the real needs of the population and the national economy in fuel and energy resources. Threats are energy dependence on oil and gas imports, ineffective use of fuel and energy resources, insufficient rates of diversification of their supply sources

8. Food security aspect. The level of food security of the population, which guarantees socio-economic and political stability in society, sustainable and high-quality development of the nation,

family, individual, as well as sustainable economic development of the state. The threats are the unsatisfactory quality of domestic agricultural products, the price inaccessibility of certain food products for certain segments of the population.

Conclusions

It was determined that security is a complex category that characterizes the ability of a national or international system to neutralize the negative impact of various threats in order to protect national or international interests and ensure the sovereignty of states.

It is proven that the main global challenges to international security are: hostilities between countries and frozen conflicts, economic globalization, competition for resources, climate change and environmental problems, mass uncontrolled migration, technological changes and cyber security, international terrorism and extremism.

Ensuring global international security requires a thorough study of threats that negatively affect processes in the countries of the world. Given the nature of the threats, the purpose of security research is to timely identify, overcome an existing or prevent a potential threat, through partial neutralization or complete neutralization of the impact of threats. The result of overcoming existing or preventing potentially possible global threats is the protection of national and international interests and ensuring the sovereignty of states.

The expediency of ensuring international security for every country in the world to analyze and monitor the main aspects of ensuring security and maintain indicators in certain parameters, which give opportunity to manage the level of security of the country in conditions of global challenges to the modern international security system, is justified. They are identified as follows: demographic aspect, social aspect, scientific and technical aspects, environmental aspect of safety, the military-economic aspect, globalization aspect, energy aspect, food security aspect.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

Funding

This research received no external funding.

Authors contribution

Conceptualization, Y.I. and I.Y.; methodology, Y.I.; software, Y.I.; check, Y.I., I.Y.; formal analysis, I.Y.; resources, I.Y.; analytical data, Y.I.; visualization, I.Y.; supervision, I.Y.; project administration, Y.I. All authors have read and approved the published version of the manuscript.

References

- Abramova, M. (2015). Theoretical aspects of the justification of the concept of military and economic security of the state. *Scientific Bulletin of the Kherson State University*. Issue 14. Ch. I. 23-27.
- Andruseac, G. (2016) Economic Security – New Approaches in the Context of Globalization. *CES Working Papers*. Vol. VII. Issue 2. PP. 232-240.
- Baron, I. (2019). Concept of providing Ukraine's national economic interests in terms of globalization. *Integration of business structures: strategies and technologies : Proceedings of the third International Scientific Conference*, February 22th. Tbilisi, Georgia: Baltija Publishing, 13-14.

- Kalyuzhna, N., Khodzhaian, A. & Baron, I. (2021). Identification of globalization threats to the economic sovereignty of countries with transition economies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. № 1(181). 154-164. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/154>
- Khodzhaian, A. (2017) Strategic partnership as a form of innerstate cooperation. *Scientific Bulletin Polissya of the Chernihiv National Technological University*. 3 (11). P.1. 48–53. [https://doi.org/10.25140/2410-9576-2017-1-3\(11\)-48-53](https://doi.org/10.25140/2410-9576-2017-1-3(11)-48-53)
- KOF Globalisation Index. (2024). <https://kof.ethz.ch/en/forecasts-and-indicators/indicators/kof-globalisation-index.html>
- Proposal for directive on measures for high common level of cybersecurity across the Union (2024). The Commission has adopted a proposal for a revised Directive on Security of Network and Information Systems (NIS 2 Directive). *Site European Comission*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-directive-measures-high-common-level-cybersecurity-across-union>
- Saganiuk, F. (2007). Military security and defense of Ukraine. Explanatory dictionary of regulatory and scientific terms and definitions. *National Research Center of Defense Technologies and Military Security of Ukraine*. 750 p.
- Imperial War Museums (2024). <https://www.iwm.org.uk/>
- Zakharenko, K. (2019). INTERNATIONAL EXPERIENCE IN INFORMATION SECURITY. *Modern Society: Political Sciences, Sociological Sciences, Cultural Sciences*. <https://doi.org/10.34142/24130060.2019.17.1.09>



Founders: State University of Economics and Technology

ISSN: 3041-1246

E-mail: ete@duet.edu.ua Journal homepage: <https://ete.org.ua>

JEL: A2

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.03

Training of future accountants in higher education institutions of Ukraine


Citation:

Kuzminskyi, Y.(2024). Training of future accountants in higher education institutions of Ukraine. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 31–45. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.03>

Yurii Kuzminskyi

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: kuzminskyi@duet.dp.ua

 *ORCID iD: 0009-0007-9902-991X*

Abstract: The article discusses some issues of teaching students the specialty "accounting". The disciplines that were taught to future accountants in the 50s, 70s, 80s and in independent Ukraine are considered. Thus, it is possible to study the genesis of education of accountants in relation to the requirements of the time and economic situation. The clearly demonstrated difference between compulsory (fundamental) disciplines and auxiliary (elective, credit) disciplines clearly shows at what time which disciplines were considered the most important and which were secondary. Accounting theory should be a set of postulates, methods, limitations/exceptions used in the study of accounting, its maintenance, as well as in the preparation of financial and management reporting. Moreover, the "embedded" basic knowledge should further contribute to individual professional development! The author emphasizes the need for a systematic study of the curricula of higher educational institutions (using a clear example of the curriculum of the specialty "Accounting and Analysis of Economic Activities" of the Kyiv Institute of National Economy named after D.S. Korotchenko, approved in 1982).) in order to rethink the number of disciplines, the definition of hours (active and passive) and the sequence of teaching disciplines. Some problems are identified regarding disciplines that can be excluded from curricula (second foreign language, physical education) and transferred to electives. Instead, the curriculum could be filled with individual disciplines (professional ethics of accountants and auditors, organization of accounting and reporting, etc.) to acquire professional competencies. Any revision of the current curriculum should be based on one thing - what new requirements for accounting and reporting, for an accountant, what changes have occurred in the country and in the world! And what kind of accountant is needed today, and most importantly for the future, with what knowledge and skills for practical work.

Received: 11/03/2024

Accepted: 09/04/2024



Keywords: accounting, education, higher education institutions, fundamental disciplines, auxiliary disciplines.


JEL: A2

Training of future accountants in higher education institutions of Ukraine

Yurii Kuzminskyi

Prof., DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: kuzminskyi@duet.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0007-9902-991X

Abstract: The article is devoted to the study of some issues of teaching students in the specialty "Accounting". The disciplines that were taught to future accountants in the 50s, 70s, 80s and in independent Ukraine are examined. The distinction between mandatory (fundamental) disciplines and auxiliary (elective, credit) disciplines is clearly demonstrated. The author compares the disciplines that have been taught and are taught to students, future accountants, from the 50s to the present. The author emphasizes the need for a systematic study of the curricula of higher education institutions (using the curriculum in the specialty "Accounting and Analysis of Economic Activity" of the Kyiv Institute of National Economy named after D.S. Korotchenko, approved in 1982) with a view to rethinking the number of disciplines, determining the hours (active and passive), and the sequence of teaching disciplines. Some issues are revealed regarding the disciplines that could be removed from the curriculum (second foreign language, physical education) and transferred to optional ones. Instead, the curriculum could be filled with separate disciplines (professional ethics of accountants and auditors, organization of accounting and reporting, etc.) to acquire professional competencies. Any revision of the current curriculum should be based on one thing - what new requirements to accounting and reporting, to the accountant, what changes have occurred in the country and in the world! And what kind of accountant is needed today, and most importantly for the future, with what knowledge and skills for practical work.

Keywords: accounting, education, higher education institutions, fundamental disciplines, auxiliary disciplines

Introduction

Accounting, namely its organization and regulation, is constantly changing. There are fundamental, unchanging postulates, and there are provisions, standards, and methods that are updated and changed. Therefore, the question arises as to what exactly students, future accountants, should be taught in higher education institutions today so that they can improve themselves throughout their professional lives and always be competent in their field.

The main thing, we believe, is to teach students to develop and have their own professional judgment on any accounting issues, not only during their studies, but also throughout their professional practice based on scientific and methodological knowledge and practical skills.

Historically, it is believed that there was once a practical activity in accounting. Everyone kept records as it was convenient for them. Then someone (Benedetto Cotrugli, Fra Luca Bartolomeo de Pacioli) hypothesized that it was possible to systematize practical activities, that is, to logically summarize the practical experience of the people involved, based on a deep insight into the essence of the phenomenon under study and to reveal its certain patterns. Over the years, this process has been improving. As a result, today accounting is a generalization of practical phenomena using scientific methods.

Results

If, at least, we proceed from the very definition of the term in the Law of Ukraine "On Accounting and Financial Reporting in Ukraine" (*On Accounting and Financial Reporting in Ukraine, 1999*) - "accounting is the process of identifying, measuring, registering, accumulating,

summarizing, storing and transmitting information about the activities of an enterprise to external and internal users for decision-making" - it is easy to determine what exactly a student needs to be taught.

So, accounting is:

- process - what process, why?
- detection - by whom, how, when?
- measurement - how, by whom, by what methods, ways, techniques?
- registration - how, where, when, by whom?
- accumulation - how, where, why?
- generalization - how, why?
- storage - where, how?
- transferring - how, in what form, to whom, where?
- information - what kind of information?
- about the company's activities - what kind?
- to external users - to whom?
- and internal users - to whom?
- to make decisions - what decisions, for what purpose?

And this is only the primary knowledge - the theory (basics) of accounting. Next, it is worth mentioning that accounting is systemic. And it is a system as a set of integral elements and interrelationships between them. Then further questions are added about the need to study and disclose many aspects!

Let's try to give honest answers to ourselves. After completing the practical courses for accountants (2-6 months of training), will a person be able to be an accountant? Yes! Will he be able to independently study financial reporting standards, accounting policies of the enterprise, the taxation system in the enterprise, etc. Yes! But! Will he/she be able to understand and quickly and easily rethink the application of certain financial reporting standards, application of principles, application of rules in accounting policy, concepts and basics of management accounting, changes in the taxation system? Will he/she be able to exercise his/her own professional judgment? Will he/she be able to fulfill the tasks of management and leadership, which will often change under the influence of economic phenomena? I think not. The reason is the lack of specific basic (fundamental) knowledge that enables further independent development. To be honest, you must admit that not all university graduates can do this right away! But the question here is different, deeper: who taught, what exactly was taught, and how/how long was it taught?

There were many creative, innovative and interesting things in the educational process, for example, at the Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman. For example, at one time, disciplines with an exam were called "sciences" and those with a test were called "academic disciplines." What has changed besides the names? Nothing! But the idea was so right! Because, for example, accounting can be divided into professional practice - "accounting" and scientific activity - "accounting". And, for example, if we call "Accounting Theory" a science, it will be quite fair!

And teaching can be viewed from several perspectives. 1. Accounting as a science. 2. Accounting as a practical professional activity. There are several scientific directions of development of accounting theories: legal, economic, analytical, balance sheet. The issues of development or genesis of directions and approaches can be taught to future scientists - graduate students and doctoral students. Accounting methods and their scientific and practical application - for teaching students.

For students - Accounting Theory should give a complete picture and understanding of what exactly is happening and why - to teach students to develop and have their own professional judgment not only during the period of study, but throughout their professional life. In other words, Accounting Theory should be a set of postulates, methods, limitations/exceptions used in the study of accounting, its maintenance, and in the preparation of financial and management reports. Moreover, the basic knowledge "laid down" should further contribute to individual professional development!

Scientific component. Any science has its own object, subject, and methods. Accounting methods include: documentation, inventory, valuation, calculation, accounts, double entry, balance

sheet, reporting. Other methods are also used, but they are general scientific methods for accounting, for example, modeling.

Having basic knowledge of accounting methods, in the future, an accountant will easily navigate the ways in which they are applied. If laws, instructions, rules in accounting policies, financial reporting standards, reporting itself (financial, operational/management, statistical) change..., he will not have any problems in rethinking the changes and further activities.

Professional practical activity. Its teaching can be considered based on functions. Accounting has only one function - informational! But an accountant has several functions: informational, controlling, analytical, making management decisions within his or her competence, preparing draft management decisions for management, and prognostic. By the way, the latter is little researched in science and is promising for practical professional activity!

Future accountants should be able to "see the whole picture" of the enterprise (model), all the main production and business processes. There is a very famous example: the planet Earth was seen only by astronauts, but the globe of the Earth was seen by almost everyone! Similarly, any large enterprise has been seen by a few, but everything that happens on a daily basis must be "seen" (as on the globe) and known by an accountant. And assuming that we, as teachers, never know where our students will work in 10 or 25 years, it is necessary to provide them with basic knowledge of professional activities for almost all major business processes.

For example, it is in the theory of accounting that one can study the main processes: accounting for the formation of an enterprise, accounting for the acquisition of means of production, accounting for production, accounting for sales, accounting for liquidation/reorganization/division/merger of an enterprise. This is practically studied now, but in Financial Accounting, where several processes are studied in parallel at once.

Let's take a look at a brief history of accounting education. What disciplines/subjects/science have accountants been taught in higher education institutions over the years?

For this purpose, we will take data from five real sources:

Supplement to the Diploma (higher education) of the Lviv Institute of Trade and Economics, specialty "Accounting", issued in 1957.

Supplement to the Diploma (higher education) of the Odesa Institute of People's Economy, specialty "Accounting", with specialization in industrial accounting, issued in 1975.

Supplement to the Diploma (higher education) of the Kyiv Institute of People's Economy named after D.S. Korotchenko, specialty "Accounting, control and analysis of economic activity", issued in 1990.

Supplement to the Bachelor's degree (higher education) of the State Higher Educational Institution "Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman", specialty "Accounting and Audit", issued in 2011.

Curriculum of the Educational and Professional Program "Digital Accounting" of the Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, specialty - Accounting and Taxation, specialization - Digital Accounting, approved in 2018.

It should be noted that the holders of the first three degrees later became Doctors of Economics and professors with specialized education. The holder of the fourth is a PhD in Economics with a specialized education.

The names of the disciplines in Tables 1 and 2 are given as in the documents on higher education or in the curriculum, and are compared horizontally as close in content.

Why two tables? The first one is disciplines, mostly with an exam or with a differentiated test. They were and are usually considered to be the main, basic, fundamental ones! The second one is credit courses - secondary, auxiliary, highly specialized... .

You, as well as I, will find it strange that some things used to be different when considering and analyzing the disciplines from the tables! For example, in the 1950s, future accountants were not taught mathematics! Instead, many legal subjects were taught! And so on. But there were different times and different requirements, and plus the Soviet party ideology!

Table 1. Disciplines with an exam or a differentiated test

Source 1	Source 2	Source 3	Source 4	Source 5
Fundamentals of Marxism-Leninism				
General history of state and law				
History of the State and Law of the USSR				
Theory of state and law				
Logic				
Organization of the USSR Court and Prosecutor's Office				
Latin language				
State criminal law				
Soviet judicial law				
Roman law				
Soviet civil law				
	History of the CPSU	History of the CPSU		
	Economic history	Economic history		
	ROM and programming	Mathematical programming		
		Social and economic statistics		
	Financing and lending to industry	Financing and lending to the industry		
		Medical training for girls and boys Civilian defense		
Fundamentals of technology and merchandising	Technology basics and the most important industries	Technologies of industries		
		Calculation of the cost of industrial production		
		Organization of accounting and analysis of economic		

		activity in industry		
			Informatics	
			History of the modern world	
			Psychology and pedagogy	Psychology and pedagogy
	Marxist-Leninist philosophy	Marxist-Leninist philosophy	Philosophy	Philosophy
	General course of higher mathematics	Higher mathematics	Higher mathematics for economists	Higher mathematics
Political economy	Political economy	Political economy	Political economy	
			Ukrainian literature	Ukrainian Studies
			Sociology	
	Probability theory and mathematical statistics	Probability theory and mathematical statistics	Probability theory and mathematical statistics	
	Economic geography of the USSR and foreign countries	Economic geography	Regional economy	
			Culturology	
Soviet state law	Soviet law	Soviet law	Jurisprudence	Law
			Political Science	
Economic statistics	General theory of statistics	General theory of statistics	Statistics	Statistics
Organization and planning of industrial enterprises	Organization and planning of industrial enterprises	Economics, organization and planning of an industrial enterprise	Enterprise economics	Entrepreneurship
			Microeconomics	Microeconomics
			Macroeconomics	Macroeconomics
		Economic and mathematical modeling	Applied modeling	Economic and mathematical modeling
	Accounting theory	Accounting theory	Accounting (theory)	General theory of accounting
			History of Economics and Economic Thought	
	Economics of people's economic branches			
			Marketing	Marketing

			Economics of labor and social and labor relations	Personnel management
The economics of socialist industry and agriculture and trade			National economy	
Accounting of the main branches of the national economy	Accounting in industry with the basics of accounting in other sectors of the economy	Accounting in industry	Financial accounting 1	Financial accounting of assets
People's economic planning				
			Life safety	
Finance and credit	Finance and credit		Money and credit	
			Finances	Finances
			International economy	International economy
			Financial accounting 2	Financial accounting of liabilities
			Management Accounting in banks	Management Digital accounting in banks
			Accounting in budgetary institutions	Digital accounting in budgetary institutions
			Accounting in foreign countries	
Organization of mechanized accounting	Mechanization of accounting and computing operations	Hardware and software of automated control systems	Information systems in accounting analysis and control	Programming of accounting and taxation systems
			Management accounting	Management accounting
			Audit	Audit
Analysis of economic activity	Analysis of economic activity	Analysis of economic activity	Analysis of economic activity	Business analysis
			Psychology psychological and pedagogical cycle	
				Applied computer science

Introduction to the specialty
 Corporate taxation system
 Integrated information systems in accounting and taxation
 Enterprise reporting in the digital economy
 Digital audit

Table 2. Courses with credit (including those chosen by the student from a larger number of electives or all available electives in the curriculum)

Source 1	Source 2	Source 3	Source 4	Source 5
<i>Selective - not available</i>	<i>Selective - not available</i>	<i>Selective - not available</i>	<i>Selected disciplines</i>	<i>All available selective disciplines</i>
Soviet administrative law				
State Law of People's Democracies				
Accounting equipment				
Revision and control	Revision and control	Control and revision		Fundamentals of economic control
	Scientific communism	Scientific communism		
	Economic statistics	Industry statistics		
		Theory of economic activity analysis		Theory of economic analysis
		Money circulation and credit in the USSR		
		Planning the economic and socialist development of the USSR		
		The economic mechanism of developed socialism		

		Organization of management of the national economy		
	Planning of the national economy			
		Economics and planning of the agro-industrial complex		
	Economics and organization of logistics			
		Automated industry management systems		
		Accounting in other sectors of the economy		Accounting by type of economic activity
		Fundamentals of scientific research		
		Methodology and organization of reporting		
	Fundamentals of scientific atheism	Fundamentals of scientific atheism		
		Office work and correspondence		
		Ethics and aesthetics		
	Physical training	Physical training	Physical training	Physical training
Foreign language	Foreign language	Foreign language	Foreign language	Foreign language
			Communication processes in education	
			Performance psychology and educational management	
			Methods of teaching economics	
			Political economy 2	
			Enterprise economics 2	
			Organization and management of production processes	

	Internet technologies in business	
Finances of the USSR	Enterprise finance	
	Stock market	
	Depository activities	
	Internal business control	Internal business control
	Forensic accounting expertise	Forensic accounting expertise
	Accounting policy of the enterprise	Accounting policy of the enterprise
	Trading in securities	
	Accounting and reporting of small businesses	
		Digital economy
		Information law
		Political Science
		History of Economics and Economic Thought
		Professional foreign language
		Infographics and info design in economic research
		Big data in economic research.
		Sociology
		Legal regulation of economic activity
		E-procurement
		Basics of information security and information protection
		Digital technologies in accounting

Tax accounting
and reporting

Internal audit

Professional
ethics and
communications
in digital
accounting and
auditing

Intelligent data
analytics

It is worth making some conclusions after reviewing these tables. First of all, we can say that it does not matter what disciplines are taught to accountants from those that are not related to accounting. 2. Of course, there are the most basic disciplines. These are the following: accounting theory, financial accounting, management accounting, financial reporting, organization of accounting, accounting policy, professional ethics, etc.

These are the disciplines that determine the basic competence of a future professional accountant. Many interesting works of both scientists and teachers are devoted to the issues of accountants' competence: *(Vyhivska, & Makarovych, 2018)*, *(Minister of Education and Science of Ukraine 2018)*, *(Pushkar, 2001)*, *(Chyzhevskaya, (2007)*.

However, in order for an accountant to comprehend the issue, even starting with the theory of accounting, it is necessary to provide him with the basic disciplines that will enable him to study the theory of accounting. These include, first of all, such disciplines as political economy and business economics. With regard to enterprise economics, this is an extremely important issue of studying this discipline because the student will be able to immediately "see" what processes are taking place at the enterprise physically, what is happening there, and then he will understand what is subject to accounting. For example, the processes of setting up an enterprise, the process of purchasing raw materials, the process of production, the process of selling finished products, or the sale of works and services.

This is not to say that such disciplines as finance, marketing, international economics, microeconomics, and macroeconomics should not be taught to accounting students. They should be taught, and they must be taught. Perhaps in some other form or more appropriate for practical application by accountants. But I believe that these are not the basic/fundamental ones for accountants.

We should also pay attention to the need to teach accountants mathematics and statistics. There have been attempts to create "Mathematics for Accountants"! Yes, there were. But for some reason they did not take root.

As for such disciplines as physical education and a foreign language, there are many questions. Yes, indeed, international practice shows that this is necessary. But this can be done in a very simple way. It is possible to exclude physical education and foreign languages (especially a second foreign language) from the curriculum, and thus use the hours that will be freed up to study professional disciplines. If students prefer to engage in physical education outside the curriculum, they have all the opportunities: there are gyms, swimming pools, tennis courts... let them do it. There is no need to abolish or liquidate the Department of Physical Education, it should exist.

As for foreign languages. Different universities have different approaches to learning foreign languages. For example, there are universities where everything is taught in the language of the country, and there are those where separate international groups have been created in parallel, and disciplines are taught, for example, in English. And there are some interesting nuances. For example, when a Ukrainian teacher teaches a discipline in English to a Ukrainian student in Ukraine!

That is, there are some questions about disciplines that could be removed from the curriculum (second foreign language, physical education) and transferred to optional courses. Instead, the

curriculum could be filled with individual disciplines (professional ethics of accountants and auditors, organization of accounting and reporting, etc.) in order to acquire real professional competencies.

I believe that it would be worthwhile to "rewind" the history of curriculum development in higher education institutions in accounting for 40 years and see what happened then, what it looked like, what were the hours, what was the sequence of teaching disciplines? See Figures 1 and 2.

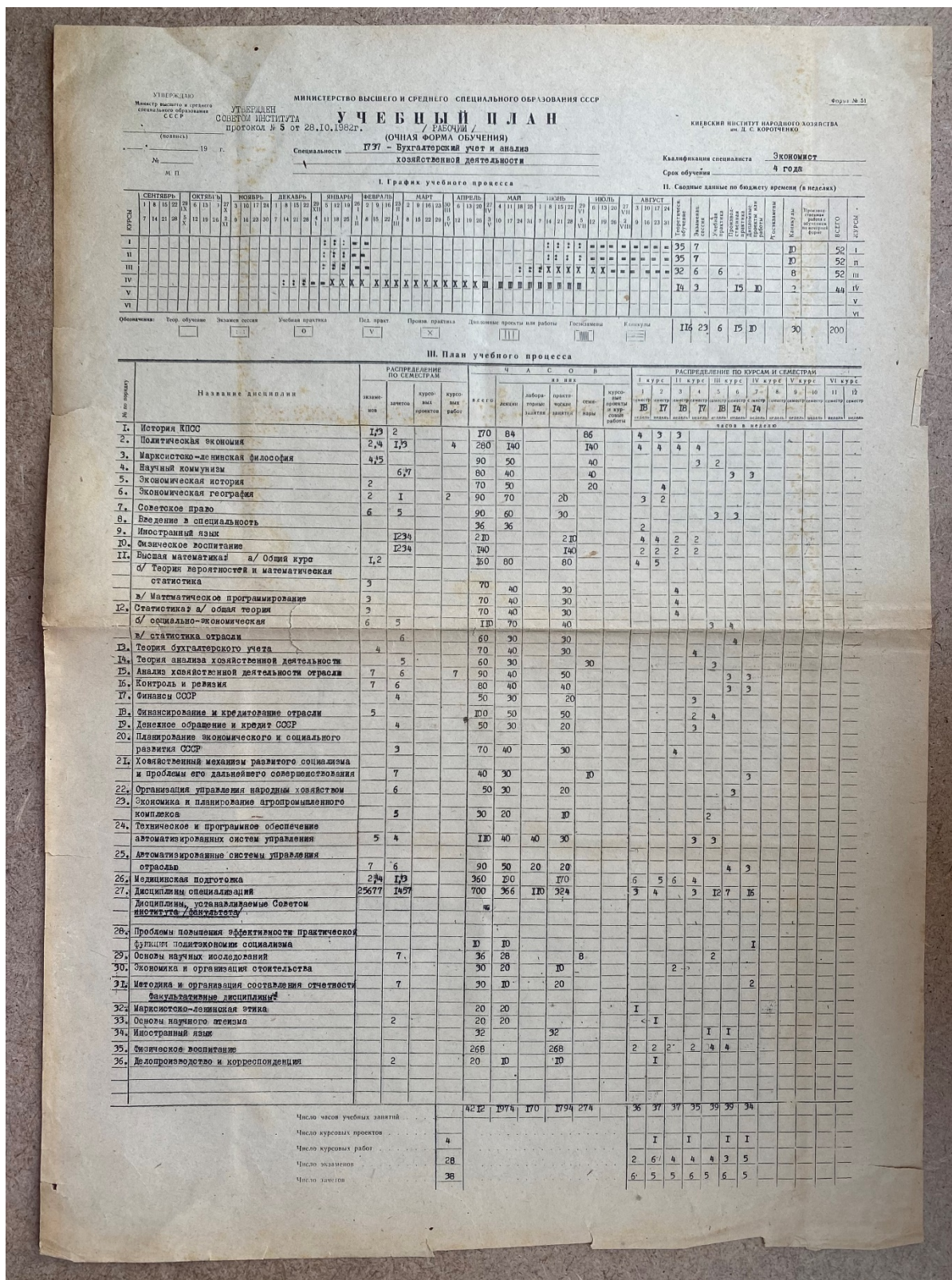


Figure 1. The curriculum for the specialty "Accounting and Analysis of Economic Activity" of the Kyiv Institute of National Economy named after D.S. Korotchenko, approved in 1982

were added, including those formally borrowed from foreign universities. But sometimes it even happened that yesterday's teacher of "Scientific Communism" was already teaching "Religious Studies."

First, we need to analyze the structure of the curriculum that existed before the collapse of the Soviet Union, and second, we need to analyze the sequence of teaching disciplines, as well as parallelism (in some curricula, the disciplines "Accounting in Banks" and "Accounting in Budgetary Institutions" were taught simultaneously, which was too difficult for students to understand), and then we need to see all the changes that have taken place to date. And most importantly - what was the number of disciplines and hours provided for their study! How many lectures and how many practical ones!

But all this should be done with one thing in mind - what new requirements for accounting, for the accountant himself, what changes have taken place in the country and in the world! And what kind of accountant is needed today, and most importantly for the future, with what knowledge and skills for practical work.

Another very interesting aspect of educational activities is who exactly gives lectures and conducts practical classes. Imagine if a person who has never crossed the threshold of an enterprise, who has never worked in accounting for at least a year, comes to students and teaches them how to keep accounting records, how is that? The question arises, can this person teach students accounting? Yes, but only from what he knows, and he knows it exclusively from textbooks or lecture materials from other teachers. And this is retransmission! As you can see, there are questions not only about disciplines.

Conclusions

The article examines some issues of teaching students majoring in accounting. The disciplines that were taught to future accountants in the 50s, 70s, 80s and in independent Ukraine are considered. Thus, it is possible to study the genesis of accountants' education in relation to the requirements of time and economic situation.

The clearly demonstrated distinction between compulsory (fundamental) disciplines and auxiliary (elective, credit) disciplines clearly shows at what time which disciplines were considered major and which were secondary.

The author emphasizes the need for a systematic study of the curricula of higher education institutions (using the illustrative example of the curriculum for the specialty "Accounting and Analysis of Economic Activity" of the Kyiv Institute of National Economy named after D.S. Korotchenko, approved in 1982) with a view to rethinking the number of disciplines, determining the hours (active and passive), and the sequence of teaching disciplines. Some issues are revealed regarding the disciplines that could be removed from the curriculum (second foreign language, physical education) and transferred to optional ones. Instead, the curriculum could be filled with separate disciplines (professional ethics of accountants and auditors, organization of accounting and reporting, etc.) to acquire professional competencies.

Any revision of the current curriculum should be based on one thing - what new requirements to accounting and reporting, to the accountant, what changes have occurred in the country and in the world! And what kind of accountant is needed today, and most importantly for the future, with what knowledge and skills for practical work.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

Funding

This research received no external funding.

References

- Chyzhevska, L.V. (2007). Accounting as a professional activity: theory, organization, development forecast : Monograph. Zhytomyr State Technical University, 528p.
- Minister of Education and Science of Ukraine (2018). On approval of the standard of higher education in the specialty 071 "Accounting and Taxation" for the first (bachelor's) level of higher education (Order N1260). <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/standarty/071.pdf>
- Pushkar M.S. (2001). Formation of the system of accounting disciplines in Ukraine. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv*, 53, 11-12
- Verkhovna Rada of Ukraine (1999). On Accounting and Financial Reporting in Ukraine [The Law of Ukraine]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/996-14#Text>
- Vyhivska, I. M., & Makarovich, V. K. (2018). Personal competencies of an accountant and their impact on the organization of accounting. *Bulletin of Uzhhorod University. Series: Economics*, 1, 401-406. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuec_2018_1_67

JEL: D20, D23, D24, E20

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.04


Peculiarities of management of the main areas of strategic partnership of industrial enterprises in modern realities

Citation:

Andrushchenko, H., Chuprynov, Y., Podkopaev, O., Petrishyna, T., & Hryhorieva, V. (2024). Peculiarities of management of the main areas of strategic partnership of industrial enterprises in modern realities. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 46–54. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.04>

Hanna Andrushchenko


Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: andrushchenko_gi@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7778-5622

Yevhen Chuprynov

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: chuprynov_yv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-8605-3434

Oleh Podkopaev

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: podkopaev@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0000-8104-1549

Tetyana Petrishyna

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: petrishyna_to@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7772-5793

Viktoriya Hryhorieva

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: kr_filial@ukr.net

 ORCID iD: 0000-0002-1397-0546

Received: 12/03/2024

Accepted: 08/04/2024



Abstract. The article examines the main areas of activity of industrial enterprises and the possibilities of their cooperation and association with higher educational institutions and the state in the case when they have common interests and development strategies. The role of strategic partnership as a result of these partnership relations is determined. The need for the development of domestic enterprises through the development of the economy of sustainable development in Ukraine is determined due to several prerequisites, among which, thanks to strategic partnership, the need for balanced development of the regions of Ukraine, the elimination of disparities in the standard of living and economic potential between them is satisfied. The necessity of ensuring sustainable development in the conditions of global environmental challenges and limited resources in order to take into account the needs of future generations is substantiated. The main aspects of increasing the competitiveness of domestic enterprises on the market have been studied, as consumers are becoming more aware and prefer products and services that meet the principles of sustainable development. The advantages of the development of enterprises through the establishment of strategic partnerships with higher educational institutions and the state, the main of which are access to the latest technologies and scientific achievements, have been established: as a way to improve their products and production processes; professional development of employees through various education and training programs; support from the state, its stimulation for the introduction of environmentally friendly technologies and practices. Organizational measures in the field of strategic partnership to improve the activities of enterprises are recommended, such as the creation by the state of a favorable environment for business, development of the regulatory and infrastructural base, creation of favorable conditions for entrepreneurship; activation of investments in higher education and scientific research in order to create an innovative environment and increase competitiveness; expansion and support of small and medium-sized enterprises by state programs to support small and medium-sized enterprises to ensure a more even distribution of financial resources between regions.

Keywords: enterprise, university, state, strategy, partnership, cooperation, association, sustainable development, strategic partnership


JEL: D20, D23, D24, E20

Peculiarities of management of the main areas of strategic partnership of industrial enterprises in modern realities

Hanna Andrushchenko

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: andrushchenko_gi@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-7778-5622

Yevhen Chuprynov

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: chuprynov_yv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8605-3434

Oleh Podkopaev

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: podkopaiev@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0000-8104-1549

Tetyana Petrishyna

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: petrishina_to@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-7772-5793

Viktoriya Hryhorieva

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: kr_filial@ukr.net

 ORCID ID: 0000-0002-1397-0546

Abstract. The article examines the main areas of activity of industrial enterprises and the possibilities of their cooperation and association with higher educational institutions and the state in the case when they have common interests and development strategies. The role of strategic partnership as a result of these partnership relations is determined. The need for the development of domestic enterprises through the development of the economy of sustainable development in Ukraine is determined due to several prerequisites, among which, thanks to strategic partnership, the need for balanced development of the regions of Ukraine, the elimination of disparities in the standard of living and economic potential between them is satisfied. The necessity of ensuring sustainable development in the conditions of global environmental challenges and limited resources in order to take into account the needs of future generations is substantiated. The main aspects of increasing the competitiveness of domestic enterprises on the market have been studied, as consumers are becoming more aware and prefer products and services that meet the principles of sustainable development. The advantages of the development of enterprises through the establishment of strategic partnerships with higher educational institutions and the state, the main of which are access to the latest technologies and scientific achievements, have been established: as a way to improve their products and production processes; professional development of employees through various education and training programs; support from the state, its stimulation for the introduction of environmentally friendly technologies and practices. Organizational measures in the field of strategic partnership to improve the activities of enterprises are recommended, such as the creation by the state of a favorable environment for business, development of the regulatory and infrastructural base, creation of favorable conditions for entrepreneurship; activation of investments in higher education and scientific research in order to create an innovative environment and increase competitiveness; expansion and support of small and

medium-sized enterprises by state programs to support small and medium-sized enterprises to ensure a more even distribution of financial resources between regions.


Keywords: enterprise, university, state, strategy, partnership, cooperation, association, sustainable development, strategic partnership

Особливості управління основними напрямками стратегічного партнерства промислових підприємств в сучасних реаліях

Ганна Андрущенко

професор, д.с.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: andrushchenko_gi@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-7778-5622

Євген Чупринов

доцент, к.е.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: chuprynov_yv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8605-3434

Олег Подкопаєв

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: podkopaiev@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0000-8104-1549

Тетяна Петрішина

доцент, к. е. н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: petrishina_to@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-7772-5793

Вікторія Григор'єва

доцент, к. т. н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: kr_filial@ukr.net

 ORCID ID: 0000-0002-1397-0546

Анотація. У статті досліджено основні напрями діяльності промислових підприємств та можливості їх кооперації та об'єднання з вищими навчальними закладами та державою у випадку, коли вони мають спільні інтереси та стратегії розвитку. Визначено роль стратегічного партнерства як результату цих партнерських відносин. Визначено необхідність розвитку вітчизняних підприємств шляхом розбудови економіки сталого розвитку в Україні завдяки кільком передумовам, серед яких завдяки стратегічному партнерству задовольняється потреба у збалансованому розвитку регіонів України, ліквідація диспропорцій у рівні життя та економічному потенціалі між ними. Обґрунтовано необхідність забезпечення сталого розвитку в умовах глобальних екологічних викликів і ресурсної обмеженості задля врахування потреб майбутніх поколінь. Вивчено основні аспекти підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств на ринку, оскільки споживачі стають все більш усвідомленими і віддають перевагу продукції та послугам, які відповідають принципам сталого розвитку. Встановлено переваги від розвитку підприємств шляхом установа стратегічних партнерств з вищими навчальними закладами і державою, головними з яких є доступ до новітніх технологій та наукових досягнень: як спосіб покращення їхньої продукції та процесів виробництва; підвищення кваліфікації працівників через різноманітні програми навчання та підготовки; підтримка з боку держави, її стимулювання для впровадження екологічно чистих технологій та практик. Рекомендовано організаційні заходи у сфері стратегічного партнерства для вдосконалення діяльності підприємств, такі як створення державою сприятливого

середовища для бізнесу, розвиток регуляторної та інфраструктурної бази, створення сприятливих умов для підприємництва; активізація інвестицій у вищу освіту та наукові дослідження задля створення інноваційного середовища та підвищення конкурентоспроможності; розширення та підтримка малих та середніх підприємств державними програмами підтримки малих та середніх підприємств для забезпечення більш рівномірного розподілу фінансових ресурсів між регіонами.

Ключові слова: підприємство, університет, держава, стратегія, партнерство, кооперація, об'єднання, сталий розвиток, стратегічне партнерство.

Вступ (Introduction)

Реалії сьогодення свідчать про невідповідність освітніх програм потребам ринку праці, через що багато випускників вищих навчальних закладів залишаються поза увагою роботодавців, або навіть, приступивши до своїх службових обов'язків, не мають розуміння змісту конкретного виробничого процесу на підприємстві, бо з цим не зіштовхувались ані у теорії, ані на практиці під час навчання. У зв'язку з цим, саме ефективне налагодження стратегічного партнерства між суб'єктами господарювання та вищими навчальними закладами за підтримки держави може стати способом вирішення цієї проблеми. Отже, тема статті є актуальною в контексті сучасного економічного розвитку України та необхідності для цього зростання кількості перспективних висококваліфікованих молодих фахівців.

Тож, головною метою статті є дослідження механізму стратегічного партнерства між вітчизняними суб'єктами господарювання, державою та вищими навчальними закладами з урахуванням особливостей економічного розвитку окремих регіонів України. Для досягнення цієї мети важливо виявити передумови появи та запропонувати організаційні заходи вдосконалення стратегічних партнерств підприємств; обґрунтувати доцільність, визначити переваги від створення цього «стратегічного партнерського трикутника».

Матеріали та методи (Materials and Methods)

У процесі вивчення стратегічного партнерства між суб'єктами господарювання, державою та вищими навчальними закладами нами було використано такі загальнонаукові методи, як: аналіз та синтез, дедукція та індукція, систематизація, узагальнення, хронологічний, порівняльний.

Результати (Results)

Конкурентоспроможність будь-якої держави на світовому ринку та якість життя її населення безпосередньо залежать від рівня професійної підготовки кадрів. Одним із сучасних світових трендів є низький рівень готовності студентів до роботи в реальному бізнесі та мотивації до загальноосвітнього та професійного розвитку, їх незнання сукупності якостей, які цінують роботодавці. Молоді люди часто переоцінюють важливість креативності й лідерських якостей, однак недооцінюють власну адаптивність та командні навички (Mykolaichuk, 2021).

Суттєвою проблемою більшості випускників вищих навчальних закладів є невідповідність освітніх програм потребам ринку праці, що спричиняє відірваність їх знань від практики. Тому в якості виходу із такої ситуації є доцільним впровадження дуальної освіти (Hryshyna, 2023), що передбачає поєднання навчання студентів з навчанням на робочих місцях та базується на відносинах стратегічного партнерства між підприємствами, вищими навчальними закладами.

Детальний аналіз існуючих освітніх програм та співвідношення їх змісту із запитамі роботодавців показав певну невідповідність освітніх програм потребам ринку праці, що проявляється у таких важливих аспектах:

1. Застарілі навчальні плани:

- програми не оновлюються вчасно, не враховуючи динамічні зміни на ринку праці;
- випускники володіють знаннями та навичками, які не відповідають актуальним потребам роботодавців;

- недостатня увага приділяється розвитку м'яких навичок (soft skills), таких як критичне мислення, комунікація, командна робота, креативність (*Guerrero, 2019*).

2. Нестача практичного досвіду:

- навчання базується на теоретичних знаннях з мінімальною практичною підготовкою;
- недосконала система стажування та практики;
- випускники не мають необхідних практичних навичок для виконання роботи.

3. Недосконала система профорієнтації:

- відсутність ефективною системи профорієнтації у школах та університетах;
- студенти не мають чіткого розуміння своїх інтересів та здібностей;
- неправильний вибір професії призводить до незадоволеності роботою та низької продуктивності.

4. Незбалансованість між кількістю випускників та потребами ринку:

- перевипуск фахівців у деяких галузях при нестачі кадрів в інших;
- недосконала система прогнозування потреб ринку праці;
- Випускники не можуть знайти роботу за спеціальністю.

5. Низький рівень співпраці між закладами освіти та роботодавцями:

- недостатня комунікація та співпраця між освітніми закладами та підприємствами;
- роботодавці не беруть участі у розробці освітніх програм;
- випускники не відповідають потребам та очікуванням роботодавців.

Усі вищенаведені аспекти невідповідності освітніх програм потребам ринку праці спричиняють до таких негативних наслідків у державі, як:

- високий рівень безробіття серед молоді;
- низька конкурентоспроможність української економіки;
- відтік кваліфікованих кадрів за кордон.

У зв'язку з цим, вважаємо, що головним способом вирішення проблеми невідповідності освітніх програм потребам ринку праці може стати стратегічне партнерство між суб'єктами господарювання, вищими навчальними закладами та державою. Це означає, що лише дуальної освіти недостатньо, принципово важливим вважаємо утворення саме «стратегічного партнерського трикутника», що передбачає участь третього учасника у цих відносинах - держави.

Сутність стратегічного партнерства вбачаємо у довгостроковій співпраці між підприємствами, державою та закладами вищої освіти; об'єднанні зусиль та ресурсів для досягнення спільних цілей; а головне - створення синергетичного ефекту, який дає більше, ніж сума зусиль кожного учасника.

Отже, головною метою стратегічного партнерства є підготовка кваліфікованих кадрів, які відповідають потребам ринку праці. Крім того, це створення можливості для розробки інноваційних продуктів та послуг та підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств та економіки України в цілому.

Серед основних форм стратегічного партнерства між підприємствами, державою та закладами вищої освіти варто виділити:

1. Спільні дослідницькі проекти.
2. Стажування та практика студентів на підприємствах.
3. Розробка та впровадження нових освітніх програм.
4. Створення спільних кафедр та лабораторій.
5. Фінансова підтримка з боку підприємств.

Інтеграція дуальних систем освіти в сучасні ринки праці все більше визнається як засіб підвищення продуктивності праці та подолання розриву між теоретичними знаннями та практичними навичками. Подвійна освіта поєднує академічне навчання з практичним

досвідом, часто через учнівство або стажування, щоб підготувати студентів до вимог сучасної робочої сили.

Дослідження науковців у цьому напрямі свідчать, що подвійні програми учнівства, які включають більше днів навчання на місцях, дають учасникам короткострокові переваги на ринку праці. Учні систем подвійної освіти повідомляють про високу задоволеність такими аспектами, як відносини з викладачами та безпечне робоче середовище, а експерти відзначають перевагу дуальної освіти у розвитку спеціальних компетенцій (Zhang, 2023).

Дуальна освіта є ефективною у вирішенні дисбалансу трудових ресурсів у різних секторах економіки, покращенні показників зайнятості та підвищенні рівня життя населення (Neyt, 2020). Тож, дуальна система освіти пов'язана з підвищенням рівня працевлаштування випускників і розглядається як фактор модернізації партнерства між навчальними закладами та роботодавцями (Grabowska, 2023). Дуальне навчання відповідає потребам ринку, поєднуючи академічні заняття з професійною роботою, що веде до розвитку підприємницького ставлення та професійних компетенцій у студентів (Synchak, 2020).

Ринок праці служить платформою для отримання навичок і знань, а подвійна освіта сприяє професійній мобільності та потенційно зменшує професійну дискримінацію (Anisimova, 2019).

Далі з'ясуємо, яким чином підприємства отримують доступ до кваліфікованих робітників завдяки такому стратегічному партнерству.

Серед головних способів доступу суб'єктів господарювання до кваліфікованих робітників через стратегічне партнерство, які, в свою чергу, передбачають низку ефективних дій усіх учасників, слід виділити наступні:

1. Співпраця з закладами освіти:

- Розробка освітніх програм: підприємства можуть співпрацювати з закладами освіти, щоб розробити освітні програми, які відповідають їхнім потребам. Це можуть бути спільні курси, стажування та практичні програми.

- Участь у навчальному процесі: підприємства можуть брати участь у навчальному процесі, надаючи експертів для читання лекцій, проведення майстер-класів та оцінювання знань студентів.

- Фінансова підтримка: підприємства можуть надавати фінансову підтримку закладам освіти для модернізації матеріально-технічної бази, стипендій для студентів та розвитку інноваційних програм (Kravchenko, 2023).

2. Створення спільних кафедр та лабораторій:

- Спільні кафедри: створення спільних кафедр з підприємствами дозволяє закладам освіти готувати фахівців з необхідними знаннями та навичками.

- Спільні лабораторії: створення спільних лабораторій дає можливість студентам отримувати практичний досвід роботи з новітнім обладнанням та технологіями.

3. Проведення конкурсів та олімпіад:

- Проведення конкурсів та олімпіад: проведення конкурсів та олімпіад дозволяє підприємствам знайти талановитих студентів та запропонувати їм роботу.

- Надання грантів: надання грантів студентам для проведення досліджень або розробки інноваційних проєктів.

4. Співпраця з кадровими агенціями:

співпраця з кадровими агенціями, які спеціалізуються на підборі персоналу для певних галузей, може допомогти підприємствам знайти кваліфікованих робітників.

5. Розвиток бренду роботодавця: підприємства, які мають сильний бренд роботодавця, є більш привабливими для кваліфікованих кадрів.

При цьому всіляка підтримка держави (як регулятивного, організаційного, так і фінансового характеру) цих відносин значно підвищить ефективність такого стратегічного партнерства.

Акцентуємо увагу на перевагах для суб'єктів господарювання та державних органів доступу до кваліфікованих робітників:

- підвищення продуктивності праці (кваліфіковані робітники більш продуктивні, що може призвести до збільшення прибутку підприємства і доходу держави у вигляді податків відповідно);
- підвищення конкурентоспроможності (підприємства, які мають доступ до кваліфікованих робітників, є більш конкурентоспроможними на ринку;
- зниження витрат (завдяки автоматизації та оптимізації процесів підприємства можуть знизити витрати);
- інновації (кваліфіковані робітники можуть генерувати нові ідеї та розробляти інноваційні продукти та послуги).

На сьогодні можна вже навести декілька успішних прикладів стратегічного партнерства в Україні, зокрема, це постійна співпраця ІТ-компаній з українськими університетами, проєкт «Дуальна освіта», створення кластерів та інноваційних центрів.

Щодо Кривого Рогу, то варто навести яскравий успішний приклад стратегічного партнерства - проєкт «Нова Фабрика» між публічним акціонерним товариством «АрселорМіттал Кривий Ріг» та Державним університетом економіки і технологій (партнер проєкту, який відповідає за розробку та реалізацію освітньої програми).

Мета проєкту: підготовка кваліфікованих кадрів для нового сучасного виробництва – фабрики огрудкування, яка будується «АрселорМіттал Кривий Ріг»; забезпечення підприємства компетентними та мотивованими працівниками з необхідними знаннями, навичками та досвідом.

Характеристики освітньої програми:

- Тривалість: 2 роки.
- Формат: дуальна освіта, що поєднує теоретичне навчання в університеті та практичне навчання на підприємстві.
- Спеціальності: «Галузеве машинобудування та прикладна механіка; «Металургія»; «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Гірництво».

Переваги для учасників:

- безкоштовне навчання: «АрселорМіттал Кривий Ріг» оплачує навчання студентів за програмою "Нова Фабрика";
- сучасне обладнання: практичне навчання буде проходити на новітньому обладнанні, яке використовується на фабриці огрудкування;
- гарантоване працевлаштування: після закінчення навчання випускники програми «Нова Фабрика» гарантовано отримують роботу на підприємствах «АрселорМіттал Кривий Ріг».
- стипендія: студенти програми отримують стипендію від «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Для участі в цьому проєкті бажаним необхідно зареєструватися (заповнити онлайн-форму на сайті «АрселорМіттал Кривий Ріг» або в приймальній комісії Державного університету економіки і технологій), а потім пройти конкурсний відбір (конкурс включає тестування з математики та української мови, а також співбесіду).

Отже, матеріалом цієї статті хочемо підкреслити переваги стратегічного партнерства саме у контексті формування не просто дуальної освіти, а створення «стратегічного партнерського трикутника» за участю держави, в якому всі учасники отримають свої вигоди. Так, для підприємств – це доступ до кваліфікованих кадрів; розробка інноваційних продуктів та послуг, підвищення конкурентоспроможності. Для держави: зниження безробіття; розвиток економіки; підвищення престижу освіти. Для закладів вищої освіти: модернізація навчальних програм; покращення матеріально-технічної бази; підвищення конкурентоспроможності на світовому ринку.

Акцент на участі держави у системі дуальної освіти, яку поступово впроваджують на Україні, створення своєрідного «стратегічного партнерського трикутника» зумовлений тими гальмуючими викликами на шляху до розвитку стратегічного партнерства, що

спостерігаються в сучасних ринкових умовах. Серед них: недосконалість законодавства; бюрократія; недостатня фінансова підтримка; низька мотивація учасників партнерства.

Подолання вказаних викликів вбачаємо у впровадженні наступних головних шляхів розвитку стратегічного партнерства в Україні:

- вдосконалення законодавства (створення сприятливих умов для розвитку партнерства; забезпечення прозорості та підзвітності);
- підвищення мотивації учасників (розробка стимулів для участі у партнерстві; інформування про переваги та успішні приклади);
- розвиток інфраструктури (створення платформ для співпраці, організація спільних заходів);
- підвищення кваліфікації (навчання та тренінги для учасників партнерства);
- оновлення навчальних планів та програм з урахуванням потреб ринку праці;
- посилення практичної спрямованості освіти;
- розвиток системи профорієнтації;
- удосконалення системи прогнозування потреб ринку праці;
- посилення співпраці між закладами освіти та роботодавцями за участю держави.

Висновки (Conclusions)

Стратегічне партнерство між підприємством, державою і закладами вищої освіти є важливим фактором розвитку економіки та освіти України. Необхідно створити сприятливі умови для розвитку такого партнерства. Успішна реалізація стратегічного партнерства дозволить Україні стати конкурентоспроможною на світовому ринку.

Стратегічне партнерство між підприємствами, державою та закладами вищої освіти є ефективним способом вирішення проблеми невідповідності освітніх програм потребам ринку праці. Завдяки спільним зусиллям можна підготувати кваліфікованих кадрів, які відповідають потребам економіки, та стимулювати розвиток України.

Стратегічне партнерство між підприємствами, державою та закладами вищої освіти є ефективним способом отримати доступ до кваліфікованих робітників. Завдяки такому партнерству підприємства можуть підвищити свою конкурентоспроможність, збільшити прибуток та стимулювати розвиток економіки.

Впровадження дуальної освіти може сприяти інтеграції молоді на ринок праці, зниженню рівня безробіття, забезпеченню підготовки висококваліфікованих спеціалістів. Фінансова диверсифікація в дуальній освіті має вирішальне значення для покращення якості підготовки випускників і узгодження освітніх програм з графіками та потребами роботодавця.

Системи подвійної освіти пропонують надійне рішення для модернізації продуктивності праці, надаючи студентам поєднання теоретичних знань і практичного досвіду. Такий освітній підхід не тільки задовольняє студентів і роботодавців, але й вирішує ширші економічні проблеми, такі як безробіття та дисбаланс кваліфікації в різних секторах. Успіх дуальної освіти у формуванні компетентної та адаптивної робочої сили очевидний у різних галузях промисловості та країнах, що робить її цінною моделлю для освітнього та економічного розвитку.

Невідповідність освітніх програм потребам ринку праці – це серйозна проблема, яка потребує комплексного вирішення. Спільними зусиллями держави, закладів освіти та роботодавців можна привести освітню систему України у відповідність до сучасних викликів та потреб економіки. Тож, лише дуальної освіти недостатньо, принципово важливим вважаємо утворення саме «стратегічного партнерського трикутника», що передбачає участь третього учасника у цих відносинах - держави.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Конфлікт інтересів відсутній.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, А.Г.; формальний аналіз, Ч.Є.; методологія, П.Т. та Г.В.; візуалізація П.О.; оригінальна чернетка – А.Г. та Ч.Є.; перегляд і редагування – Г.В. та П.О.

Усі автори прочитали та погодились з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Anisimova, N., Maidanevich, P., & Belik, V. (2019). Dual education as a direction of staffing for agrarian and industrial complex. Selected Papers (part of ITEMA conference collection). <https://doi.org/10.31410/itema.s.p.2019.23>.
- Grabowska, J. (2023). Dual studies as a response for the needs of the contemporary market. Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2022.166.19>.
- Guerrero, M., Herrera, F., & Urbano, D. (2019). Strategic knowledge management within subsidised entrepreneurial university-industry partnerships. Management Decision. <https://doi.org/10.1108/md-10-2018-1126>.
- Hryshyna, N. (2023). Dual form of education is the basis of the integration of students into the modern labor market. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-3-17>.
- Kravchenko, O., Shpynta, H., Nikolaienko, O., Dovbenko, S., & Diachok, O. (2023). Dual Education Models in Modern Educational Institutions. *Journal of Technical Education and Training*. <https://doi.org/10.30880/jtet.2023.15.03.023>.
- Mykolaichuk, I., & Khmurova, V. (2021). Dual education in partnership modernization with employers. *Herald of Kyiv National University of Trade and Economics*. (139)10. <https://doi.org/10.31617/visnik.knute>.
- Neyt, B., Verhaest, D., & Baert, S. (2020). The Impact of Dual Apprenticeship Programs on Early Labour Market Outcomes: A Dynamic Approach. *Labor: Human Capital eJournal*. <https://doi.org/10.1016/J.ECONEDUREV.2020.102022>.
- Synchak, V., & Hrehova, O. (2020). Financial Aspects of the Dual Form of Education. *University Scientific Notes*. <https://doi.org/10.37491/unz.74.9>.
- Zhang, X. (2023). Exploration of the Practice of School-Enterprise Collaborative Nurturing Dual Creation Linkage Teaching Mode. *Contemporary Education and Teaching Research*. <https://doi.org/10.61360/bonicetr232014280804>.


JEL: D20, D23, D24, E20


DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.05

Analysis of the domestic industrial enterprises logistics links and main directions of their revitalization


Citation:


Andrushchenko, H., Chuprynov, Y., Podkopaev, O., Karpiuk, S., & Lyakhova, I. (2024). Analysis of domestic industrial enterprises logistics links and main directions of their revitalization. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 55–63. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.05>

Hanna Andrushchenko
Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: andrushchenko_gi@duet.edu.ua
 ORCID iD: 0000-0002-7778-5622

Yevhen Chuprynov
Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: chuprynov_yv@duet.edu.ua
 ORCID iD: 0000-0001-8605-3434

Oleh Podkopaev
Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: podkopaiev@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0009-0000-8104-1549

Serhiy Karpiuk
Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: karpiuk_sa_23848@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0009-0002-0526-8498

Iryna Lyakhova
Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: liakhova_ia@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0000-0001-7589-8351

Abstract. The content of the article reflects the importance of logistics development in the context of modern challenges for Ukrainian enterprises, in particular, in the conditions of geopolitical tensions and military operations. The authors consider the problem of availability and reliability of logistics routes for the import of raw materials, in particular bentonite clay, and single out the strategy of local extraction as a more sustainable option in such conditions. The article analyzes the difficulties associated with the importation of bentonite clay from distant countries due to restrictions in sea traffic through the Black Sea ports. The authors substantiate that local mining on the territory of Ukraine is a more reliable option in conditions of geopolitical uncertainty. It has been established that these factors lead to significant delays in deliveries and increased logistics costs, which can seriously affect the economic efficiency of pellet production. The article examines the aspects of revitalization of logistics chains aimed at providing Ukrainian producers of iron ore pellets with bentonite clay. This analysis includes economic efficiency, assessment of difficulties and risks associated with the blockade of Black Sea ports, research on alternative logistics routes and their reliability, stability of supply, continuity of production and contribution to the national economy. The strategy of local extraction of bentonite clays on the territory of Ukraine gives opportunity to Ukrainian enterprises to minimize the risks associated with logistics, ensuring the continuity of production and supporting the national metallurgical industry in the conditions of a changing geopolitical situation. A comprehensive analysis of the above-mentioned factors was carried out, which makes it possible to make a choice in favor of local extraction of bentonite clays. This choice provides Ukrainian metallurgical enterprises with optimal production conditions in the face of modern challenges and restrictions.

Keywords: industrial enterprise, mining and metallurgical complex, revitalization, management, logistics link, route, import, raw materials, production.

Received: 11/03/2024

Accepted: 10/04/2024




JEL: D20, D23, D24, E20

Analysis of domestic industrial enterprises logistics links and main directions of their revitalization. Part 1

Hanna Andrushchenko

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: andrushchenko_gi@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-7778-5622

Yevhen Chuprynov

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: chuprynov_yv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8605-3434

Oleh Podkopaev

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: podkopaiev@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0000-8104-1549

Serhiy Karpiuk

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: karpiuk_sa_23848@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0002-0526-8498

Iryna Lyakhova

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: liakhova_ia@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0000-0001-7589-8351

Abstract: The content of the article reflects the importance of logistics development in the context of modern challenges for Ukrainian enterprises, in particular, in the conditions of geopolitical tensions and military operations. The authors consider the problem of availability and reliability of logistics routes for the import of raw materials, in particular bentonite clay, and single out the strategy of local extraction as a more sustainable option in such conditions. The article analyzes the difficulties associated with the importation of bentonite clay from distant countries due to restrictions in sea traffic through the Black Sea ports. The authors substantiate that local mining on the territory of Ukraine is a more reliable option in conditions of geopolitical uncertainty. It has been established that these factors lead to significant delays in deliveries and increased logistics costs, which can seriously affect the economic efficiency of pellet production. The article examines the aspects of revitalization of logistics chains aimed at providing Ukrainian producers of iron ore pellets with bentonite clay. This analysis includes economic efficiency, assessment of difficulties and risks associated with the blockade of Black Sea ports, research on alternative logistics routes and their reliability, stability of supply, continuity of production and contribution to the national economy. The strategy of local extraction of bentonite clays on the territory of Ukraine gives opportunity to Ukrainian enterprises to minimize the risks associated with logistics, ensuring the continuity of production and supporting the national metallurgical industry in the conditions of a changing geopolitical situation. A comprehensive analysis of the above-mentioned factors was carried out, which makes it possible to make a choice in favor of local extraction of bentonite clays. This choice provides Ukrainian metallurgical enterprises with optimal production conditions in the face of modern challenges and restrictions.

Keywords: industrial enterprise, mining and metallurgical complex, revitalization, management,


logistics link, route, import, raw materials, production.

Аналіз стану логістичних ланок вітчизняних промислових підприємств та головні напрями їх ревіталізації. Частина 1.

Ганна Андрущенко

професор, д.с.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: andrushchenko_gi@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-7778-5622

Євген Чупринов

доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: chuprynov_yv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8605-3434

Олег Подкопась

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: podkoraiev@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0000-8104-1549

Сергій Карпюк

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: karpjuk_sa_23848@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0002-0526-8498

Ірина Ляхова

доцент, к. т. н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: liakhova_ia@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0000-0001-7589-8351

Анотація: Зміст статті відображає важливість розвитку логістики в контексті сучасних викликів для українських підприємств, зокрема, в умовах геополітичних напружень та військових дій. Автори розглядають проблему доступності та надійності логістичних маршрутів для імпорту сировинних матеріалів, зокрема бентонітових глин, та виокремлюють стратегію локального видобутку як більш стійкий варіант у таких умовах.

У статті проведено аналіз труднощів, пов'язаних із завозом бентонітових глин із далеких країн через обмеження в морському русі через чорноморські порти. Автори обґрунтовують, що локальний видобуток на території України є більш надійним варіантом в умовах геополітичної невизначеності. Встановлено, що ці чинники призводять до значних затримок у поставках та підвищення логістичних витрат, що може серйозно вплинути на економічну ефективність виробництва окатишів. У статті розглянуто аспекти ревіталізації логістичних ланцюжків, спрямованих на забезпечення українських виробників залізородних окатишів бентонітовими глинами. Цей аналіз включає економічну ефективність, оцінку труднощів та ризиків, пов'язаних з блокадою чорноморських портів, дослідження альтернативних логістичних маршрутів та їх надійності, стійкість поставок, безперервність виробництва та внесок у національну економіку. Стратегія локального видобутку бентонітових глин на території України дозволяє українським підприємствам мінімізувати ризики, пов'язані з логістикою, забезпечуючи безперервність виробництва та підтримуючи національну металургійну галузь в умовах мінливої геополітичної ситуації. Проведено комплексний аналіз вищезазначених факторів, що дозволяє зробити вибір на користь локального видобутку бентонітових глин. Цей вибір забезпечує українські підприємства металургійної галузі оптимальними умовами виробництва в умовах сучасних викликів та обмежень.

Ключові слова: промислове підприємство, гірничо-металургійний комплекс, ревіталізація,

управління, логістична ланка, маршрут, імпорт, сировина, виробництво

Вступ (Introduction)

Тема дослідження зосереджена на логістичному секторі в Україні, вивчаючи його поточний стан, виклики та перспективи розвитку. Зважаючи на визначальну значущість металургійної та гірничої галузей промисловості в економіці України, актуальним питанням є налагодження механізму ревіталізації вітчизняної логістичної системи задля ефективного функціонування та розвитку цих галузей в умовах впровадження технологічних інновацій та впливу геополітичних подій. У зв'язку з цим, існує необхідність стратегічного планування та вдосконалення інфраструктури для розвитку ринку логістичних послуг в Україні.

Логістична система в Україні стикається зі значними загрозами через триваючі військові дії, з необхідністю досліджень для мінімізації ризиків і встановлення пріоритетів для відновлення, включаючи людський фактор, безпеку інфраструктури, законодавчі зміни та ефективне партнерство. Зокрема, існують проблеми у сфері імпорту бентонітових глин з далеких країн, таких як Індія чи Греція, що зумовлено нестабільністю в регіоні та обмеженнями в морському русі через чорноморські порти.

Метою статті є вивчення механізму та розкриття особливостей функціонування логістичної системи в Україні для ефективного обслуговування гірничо-металургійного комплексу України, визначення можливостей та альтернатив її ревіталізації.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

У процесі вивчення можливостей ревіталізації логістичних ланок підприємств гірничо-металургійного комплексу України нами було використано методи систематизації та узагальнення, порівняльний метод, методи економічного і статистичного аналізу, експертного прогнозування.

Результати (Results)

Події останніх років (пандемія Covid-19, російсько-українська війна) диктують необхідність переорієнтації зовнішньоекономічних зв'язків у напрямі інтеграції національної економіки в європейське середовище. Через це вважаємо за доцільне приділити значну увагу питанню оцінки ефективності логістичного менеджменту як на рівні промислового підприємства, так і на рівні України в цілому. На процес формування механізму логістичної системи прямим чином впливає інтеграція світової економіки, розвиток транспортних мереж і світового ринку логістичних послуг, поглиблення міжнародного поділу праці.

Від рівня адаптації логістичної системи підприємств гірничо-металургійного комплексу України до нових умов, зокрема дистанційного режиму роботи (Kozlova, I., 2022) багатьох суб'єктів господарювання залежить їх прибутковість та рентабельність. Також варто говорити і про певне зміщення акцентів під час укладення договорів: пріоритетність можливості відправити продукцію вчасно та без пошкоджень навіть перед привабливою ціною. Цей факт свідчить про природно створений на ринку розвиток логістичного менеджменту.

Проте існує низка ключових перешкод для розвитку логістики в Україні, саме ці моменти потребують ревіталізації у першу чергу. Серед них слід виділити: зростання вартості паливних матеріалів, високі відсотки за кредитами, прогалини у законодавстві, а також невідповідність якості доріг (Yevtushenko, 2023). Все це істотно впливає на ефективність транспортно-логістичних процесів.

Щодо імпорту бентонітових глин з Індії та Греції також виникають серйозні труднощі:

1. Війна в Україні:

- блокування морських портів України значно ускладнює та здорожує імпорт бентонітових глин;

- затримки та додаткові витрати на перевезення через альтернативні маршрути (автомобільні, залізничні);

- необхідність пошуку нових постачальників та маршрутів постачання.

2. Зростання цін:

- зростання цін на паливо, транспортні послуги та страхування значно збільшують вартість імпорту;

- нестабільність курсів валют також негативно впливає на ціни;

- зменшення рентабельності використання бентонітових глин для українських підприємств;

3. Логістичні проблеми:

- затримки поставок через військові дії, обмеження пропускної здатності кордонів та черги на пропускних пунктах;

- нестача транспортних засобів та водіїв;

- ускладнення з оформленням документів та страхуванням вантажів.

4. Ризики зриву поставок:

- військові дії, форс-мажорні обставини, політична нестабільність в країнах-експортерах можуть призвести до зриву поставок;

- необхідність пошуку альтернативних постачальників та маршрутів постачання.

5. Зміна характеристик бентонітових глин:

- при транспортуванні на великі відстані характеристики бентонітових глин можуть змінюватися;

- необхідність ретельного контролю якості бентонітових глин при імпорті.

6. Необхідність адаптації до нових умов:

- українським підприємствам, які імпортують бентонітові глини, необхідно адаптуватися до нових умов ведення бізнесу;

- пошук нових партнерів, ринків збуту та методів роботи.

7. Бюрократичні перешкоди:

- ускладнення з оформленням дозволів, сертифікатів та інших документів;

- додаткові витрати часу та коштів.

8. Необхідність пошуку нових ринків збуту:

- війна в Україні призвела до скорочення внутрішнього ринку збуту бентонітових глин;

- необхідність пошуку нових ринків збуту для експорту.

Ці труднощі роблять імпорт бентонітових глин з Індії та Греції ризикованим та економічно не вигідним. Українським підприємствам рекомендується шукати альтернативні джерела постачання бентонітових глин, наприклад, в країнах ЄС. Важливо зазначити, що ситуація постійно змінюється, тому важливо оновлювати інформацію про труднощі та ризики, пов'язані з імпортом бентонітових глин.

У процесі ревіталізації логістичних ланок підприємств гірничо-металургійного комплексу України важливим є врахування такого інноваційного чинника, як технологічні досягнення, такі як 3D-візуалізація, блокчейн, безпілотні літальні апарати, безпілотний і електричний транспорт і 3D-друк, визнані важливими трендами в секторі логістики (Karpenko, 2017), які мають потенціал для оптимізації методів зберігання та доставки вантажів.

Логістична інфраструктура в Україні динамічно розвивається з концентрацією логістичних центрів (Kozlova, 2022) у ключових регіонах; однак російсько-українська війна завдала значної шкоди логістичній нерухомості, що зумовлює необхідність створення нових регіональних логістичних центрів. У логістичній системі України спостерігається зрушення в бік збільшення автомобільного транспорту та зменшення залізничного транспорту (Grygorak, 2017), причому ефективність управління логістикою має вирішальне значення для адаптації до змін у торговельних відносинах і таких викликів, як пандемія Covid-19 та російсько-українська війна.

Є очевидним, що структура та тенденції українського ринку логістики досліджуються для наукового розуміння та прийняття інвестиційних рішень, з акцентом на місткість ринку та

тенденції розвитку (Yevtushenko, 2023). Оскільки логістичний потенціал України використовується недостатньо, витрати на логістику в національному валовому внутрішньому продукті є вищими, ніж у європейських країнах, що вказує на можливості для зростання логістичного аутсорсингу (Kalyuzhna, 2022) та розвитку ринку.

Транспортно-логістична підтримка українських промислових підприємств має вирішальне значення для своєчасного та непошкодженого відвантаження продукції з акцентом на покращенні якості транспортних послуг та інтеграції сучасних інформаційних систем для кращого управління матеріальними потоками та транспортними процесами. Сектор логістики в Україні знаходиться на роздоріжжі, коли технологічні інновації пропонують можливості для прогресу, а геополітичні виклики та дефіцит інфраструктури створюють значні перешкоди. Дослідження підкреслює необхідність стратегічного розвитку, покращення управління та інвестицій в інфраструктуру для підвищення ефективності логістичної системи та інтеграції в глобальні ланцюги поставок. Запровадження нових технологій і створення потужних регіональних логістичних центрів є ключовими для відновлення та зростання сектора.

Отже, в умовах сучасних викликів, з якими стикаються українські металургійні підприємства, тема ревіталізації логістики стає надзвичайно актуальною. Цей процес має значний вплив на конкурентоспроможність галузі та її стійкість до зовнішніх факторів.

Основні виклики:

- збройна агресія Росії істотно ускладнила логістичні ланцюжки для українських металургів. Блокування морських портів, руйнування інфраструктури та залізничного сполучення змусили підприємства шукати альтернативні маршрути для експорту продукції;
- зростання цін на паливо, а також на транспортні послуги істотно подорожчало логістику;
- зміна попиту на металургійну продукцію та цінові коливання на світовому ринку потребують гнучкої логістики для адаптації до нових умов.

Серед основних напрямів ревіталізації логістики вбачаємо наступні:

1. Диверсифікація маршрутів:

- перехід на альтернативні маршрути експорту, такі як залізничні та автомобільні перевезення через країни ЄС;

- розвиток мультимодальних перевезень з використанням декількох видів транспорту;
- використання портів Дунайського регіону.

2. Оптимізація ланцюгів постачання:

- впровадження цифрових технологій для відстеження та моніторингу вантажів;
- автоматизація складських операцій;
- співпраця з логістичними операторами для оптимізації маршрутів та витрат.

3. Підвищення ефективності:

- впровадження систем lean-менеджменту для оптимізації логістичних процесів;
- зниження складських запасів;
- розвиток власної транспортної інфраструктури.

4. Інвестиції в інновації:

- впровадження нових технологій, таких як блокчейн, для підвищення прозорості та безпеки логістики;

- використання штучного інтелекту для прогнозування попиту та оптимізації маршрутів;
- розвиток досліджень та розробок в сфері логістики.

Отже, серед переваг ревіталізації логістики можна виділити наступні:

- зниження логістичних витрат;
- підвищення конкурентоспроможності;
- збільшення експортного потенціалу;
- стійкість до зовнішніх факторів;
- ефективне використання ресурсів.

Зауважимо, що ревіталізація логістики – це не просто тимчасовий захід, а й стратегічна необхідність для українських металургійних підприємств. Впровадження нових логістичних

рішень допоможе галузі подолати сучасні виклики та стати більш стійкою до майбутніх потрясінь.

Слід пам'ятати, що проблеми, пов'язані з транспортно-логістичною системою в Україні, впливають на ефективність внутрішньої та міжнародної торгівлі (Kovalyk, 2020). Важливою є розробка та впровадження стратегій, спрямованих на покращення інфраструктури та використання сучасних технологій у логістичних процесах. Нижче подано кілька можливих заходів для вирішення цих проблем:

1. Розвиток інфраструктури, що включає в себе будівництво та модернізацію доріг, залізниць, портів, аеропортів та інших транспортних об'єктів. Покращення інфраструктури дозволить зменшити час та витрати на транспортування товарів.

2. Використання інформаційних технологій, адже важливо стимулювати українські промислові підприємства використовувати інформаційні системи, такі як SRM, ERP (enterprise resource planning) тощо. Це допоможе збільшити ефективність управління логістичними процесами, оптимізувати запаси та знизити витрати.

3. Навчання та підтримка великих промислових підприємств: державна влада повинна забезпечити навчальні та консультаційні програми для управлінців та їх працівників щодо використання сучасних технологій.

У цій ситуації надзвичайно значущою є розробка і впровадження стратегічного плану розвитку логістики має включати широкий спектр заходів, таких як поліпшення інфраструктури, сприяння інноваціям у галузі технологій та управління, вирішення проблем з легіслятивними нормами, а також розвиток кадрового потенціалу. Тільки з введенням цих заходів можна забезпечити стійкий розвиток транспортно-логістичного сектору в Україні.

Виділимо декілька важливих аспектів (Vykliuk., 2023), що повинні бути в основі підходів державної політики для стимулювання інвестицій у транспортно-логістичну галузь в Україні:

1. Створення сприятливого інвестиційного клімату. Це включає в себе заходи зі спрощення адміністративних процедур, зниження бюрократичних бар'єрів, забезпечення прозорості та стабільності управління. Такі заходи залучають приватних інвесторів та створюють умови для їхнього успіху.

2. Формування законодавчих передумов для концесійних договорів. Концесійні договори можуть бути ефективним інструментом для приваблення інвестицій у розвиток транспортної інфраструктури. Вони дозволяють приватним інвесторам отримувати права на експлуатацію та розвиток інфраструктури на певний термін, що створює стимул для їхнього інвестування.

3. Просування проєктів спільного інтересу для ЄС та України. Участь у програмах, таких як Neighborhood Investment Facility (NIF) та Connecting Europe Facilities (CEF), може надати Україні доступ до фінансування для розвитку транспортної інфраструктури та підвищення її сумісності з європейськими стандартами.

4. Впровадження систем управління безпекою транспорту за європейськими стандартами. Це допоможе не лише підвищити безпеку на дорогах та інших видів транспорту, але й створить сприятливий клімат для інвестицій, оскільки інвестори зазвичай шукають безпечне середовище для своїх проєктів.

Загальний підхід полягає у поєднанні реформ в законодавстві, створенні умов для приватних інвестицій, залученні до програм міжнародної співпраці та підвищенні стандартів управління та безпеки. Ці заходи мають потенціал створити сприятливі умови для ревіталізації транспортно-логістичної галузі в Україні.

Конкретним прикладом можливої ревіталізації логістичних ланок вітчизняних промислових підприємств може бути перехід на використання українських бентонітових глин в металургійних процесах. На сьогодні, підприємства українського ГМК в більшій мірі закупають бентонітові глини грецького та індійського походження, що в умовах, проаналізованих вище, вимагає суттєвих додаткових витрат на логістику. В той же час, перехід на використання вітчизняної сировини не тільки дозволить скоротити логістичні витрати, але і дасть відповідний імпульс для розвитку суміжних галузей в металургії. Конкретні

розрахунки потенціального економічного ефекту планується навести в другій частині цього дослідження.

Висновки (Conclusions)

Отже, підвищення якості транспортних послуг в Україні, ревіталізація логістичної системи в цілому є критичним аспектом для покращення конкурентоспроможності підприємств гірничо-металургійного комплексу України на міжнародному ринку. Це може включати не лише покращення стану інфраструктури, а й впровадження сучасних технологій та стандартів управління.

Підвищення освіченості підприємців щодо інформаційних систем, таких як SRM, може допомогти їм краще розуміти переваги використання цих технологій для їхньої діяльності. Забезпечення доступу до навчальних ресурсів та консультацій з експертами у цій області може стимулювати підприємців впроваджувати нові підходи та технології у свою роботу.

Дослідження і вивчення кращих практик інших країн у галузі транспортно-логістичних систем може надати цінний досвід та ідеї для вдосконалення вітчизняних систем. Важливо також створити стимули для інвестицій у розвиток та модернізацію транспортно-логістичної інфраструктури України з метою забезпечення її високої ефективності та конкурентоспроможності.

Присутність стратегічного плану ревіталізації логістичних ланок підприємств гірничо-металургійного комплексу України на державному рівні є дуже важливим. Наявність чіткої стратегії розвитку логістики допомагає у прогнозуванні та адаптації до змін у сфері транспорту та логістики. Без такої стратегії країна може втратити можливості для ефективного використання ресурсів та просування вперед у конкурентному світі.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Конфлікт інтересів відсутній.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, А.Г.; формальний аналіз, Ч.Є.; методологія, Л. І.; візуалізація, П.О. та К.С.; оригінальна чернетка, А.Г. та Ч.Є.; перегляд і редагування, Л.І. та П.О. Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Dyczkowska, J., & Reshetnikova, O. (2022). Logistics Centers in Ukraine: Analysis of the Logistics Center in Lviv. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en15217975>.
- Grygorak, M. (2017). Comparison of economic indicators of using the Ukrainian logistics potential. *Technology audit and production reserves*. 3, 49-57. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.105515>.
- Kalyuzhna, N., & Sheremet, A. (2022). Logistics System of Ukraine: The Current Problems and Priorities of Recovery. *Business Inform*. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2022-4-90-96>.
- Karpenko, O., Horbenko, A., Vovk, Y., & Tson, O. (2017). Research of the structure and trends in the development of the logistics market in Ukraine. 2, 57-66. <https://doi.org/10.14254/JSDTL.2017.2-2.5>.
- Kovalyk, O., & Velieva, O. (2020). Characteristics of transport and logistics support of Ukrainian enterprises. 22-24. <https://doi.org/10.37634/efp.2020.6.5>.

- Kozlova, I. (2022). Analysis of the state of logistics system management in Ukraine. <https://doi.org/10.35774/econa2022.01.039>.
- Vykliuk, M. (2023). Analysis of investment activity in the field of development of transport and logistics infrastructure of Ukraine. *Market Infrastructure*. <https://doi.org/10.32782/infrastructure72-5>.
- Yevtushenko, V., Shuba, T., Tsviatko, L., & Popkova, D. (2023). The state and prospects for the development of the logistics services market in Ukraine. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences*. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-316-2-17>.



JEL: G20, G32, O16; O32; P34; P43

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.06

Technical engineering in the digitalization era: the role of artificial intelligence and cryptocurrency in tax systems optimizing and improving the financial efficiency of fintech businesses

Citation:

Sadovenko M., Kondratyuk O., Suprun, N. & Tarverdiev M. (2023). Technical engineering in the digitalization era: the role of artificial intelligence and cryptocurrency in tax systems optimizing and improving the financial efficiency of fintech businesses. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 64–78. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.06>

Maryna Sadovenko

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: sadovenko_mm@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-3599-8339

Olga Kondratyuk

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: kondratyuk_om@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-1000-0568

Nataliia Suprun

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: suprun_nv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-5805-6339

Maxim Tarverdiev

Bachelor's degree, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: maxim.tarverdiev@gmail.com

Received: 14/03/2024

Accepted: 10/04/2024



Abstract: In today's digital age, technical engineering plays an important role in using artificial intelligence and cryptocurrency to optimize tax systems and improve financial efficiency in fintech businesses. Artificial intelligence helps automate business processes, especially in taxation, which reduces the cost of tax administration. Cryptocurrencies open up new opportunities for optimizing tax systems, providing greater transparency and efficiency in financial transactions.. The use of AI in tax administration can streamline processes, reduce human error, and improve compliance. AI algorithms can analyze large amounts of data, identify patterns, and detect potential tax evasion or fraud, leading to more accurate tax assessments and improved revenue collection. Additionally, AI-powered chatbots and virtual assistants can provide taxpayers with personalized support and guidance, enhancing the overall experience. Cryptocurrencies, on the other hand, offer a transparent and secure way to conduct financial transactions. By leveraging blockchain technology, cryptocurrencies enable immutable and auditable records of transactions, which can facilitate tax reporting and compliance. Furthermore, the decentralized nature of cryptocurrencies eliminates the need for intermediaries, reducing transaction costs and increasing efficiency. However, the implementation of these technologies in tax systems requires significant investments in infrastructure, software, and personnel training. Tax authorities ought to allocate substantial budgets to modernize their systems and integrate AI and blockchain solutions seamlessly. Additionally, concerns over data privacy and the potential for cyber threats pose challenges in ensuring the confidentiality and security of taxpayer information.

Keywords: technical engineering, artificial intelligence, cryptocurrencies, fintech, optimization of tax systems, financial efficiency, digitalization.


JEL: G20, G32, O16; O32; P34; P43

Technical engineering in the digitalization era: the role of artificial intelligence and cryptocurrency in tax systems optimizing and improving the financial efficiency of fintech businesses

Maryna Sadovenko

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: sadovenko_mm@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-3599-8339

Olga Kondratyuk

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: kondratyuk_om@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-1000-0568

Nataliia Suprun

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: suprun_nv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-5805-6339

Maxim Tarverdiev

Bachelor's degree, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: maxim.tarverdiev@gmail.com

Abstract. In today's digital age, technical engineering plays an important role in using artificial intelligence and cryptocurrency to optimize tax systems and improve financial efficiency in fintech businesses. Artificial intelligence helps automate business processes, especially in taxation, which reduces the cost of tax administration. Cryptocurrencies open up new opportunities for optimizing tax systems, providing greater transparency and efficiency in financial transactions.. The use of AI in tax administration can streamline processes, reduce human error, and improve compliance. AI algorithms can analyze large amounts of data, identify patterns, and detect potential tax evasion or fraud, leading to more accurate tax assessments and improved revenue collection. Additionally, AI-powered chatbots and virtual assistants can provide taxpayers with personalized support and guidance, enhancing the overall experience. Cryptocurrencies, on the other hand, offer a transparent and secure way to conduct financial transactions. By leveraging blockchain technology, cryptocurrencies enable immutable and auditable records of transactions, which can facilitate tax reporting and compliance. Furthermore, the decentralized nature of cryptocurrencies eliminates the need for intermediaries, reducing transaction costs and increasing efficiency. However, the implementation of these technologies in tax systems requires significant investments in infrastructure, software, and personnel training. Tax authorities ought to allocate substantial budgets to modernize their systems and integrate AI and blockchain solutions seamlessly. Additionally, concerns over data privacy and the potential for cyber threats pose challenges in ensuring the confidentiality and security of taxpayer information.


Keywords: technical engineering, artificial intelligence, cryptocurrencies, fintech, optimization of tax systems, financial efficiency, digitalization.

Технічна інженерія в епоху цифровізації: роль штучного інтелекту та криптовалюти в оптимізації податкових систем і поліпшення фінансової ефективності фінтех-бізнесу

Марина Садовенко

доцент, к.е.н., Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, Україна


e-mail: sadovenko_mm@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-3599-8339

Ольга Кондратюк

доцент, к. е. н., Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, Україна


e-mail: kondratyuk_om@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-1000-0568

Наталія Супрун

к. е. н., Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, Україна

e-mail: suprun_nv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-5805-6339

Максим Тарвердієв

студент, Державний університет економіки і технологій, м. Кривий Ріг, Україна

e-mail: maxim.tarverdiev@gmail.com

Анотація. У цифрову епоху технічна інженерія важлива для використання ШІ та криптовалюти в оптимізації податкових систем і підвищенні ефективності фінтех-бізнесу. ШІ допомагає автоматизувати процеси оподаткування, знижуючи витрати й підвищуючи ефективність податкових органів. Криптовалюти відкривають можливості оптимізації податкових систем, забезпечуючи прозорість і ефективність фінансових транзакцій. Проте цифровізація стикається з викликами: значні витрати на модернізацію систем адміністрування податків і ризик витоку конфіденційних даних платників. ШІ може раціоналізувати процеси, зменшити помилки і підвищити дотримання вимог в оподаткуванні. Алгоритми ШІ аналізують великі дані, виявляють закономірності та потенційне ухилення від сплати, забезпечуючи точну оцінку податків і кращий збір доходів. Чат-боти на базі ШІ надають персоналізовану підтримку платникам. Криптовалюти пропонують прозорий спосіб фінансових операцій, забезпечуючи незмінні записи транзакцій завдяки блокчейну, що сприяє звітності й дотриманню вимог. Впровадження цих технологій у податкових системах вимагає інвестицій в інфраструктуру, програмне забезпечення та навчання персоналу. Податкові органи мають модернізувати системи й інтегрувати рішення ШІ та блокчейну. Занепокоєння з приводу конфіденційності даних і кібербезпеки створюють виклики в захисті інформації платників. Щоб пом'якшити ці виклики, необхідні заходи кібербезпеки, суворі протоколи захисту даних та ретельне навчання працівників, які мають доступ до конфіденційних відомостей. Незважаючи на труднощі, інтеграція ШІ та криптовалют може значно підвищити прозорість, ефективність і справедливість оподаткування в найближчому майбутньому і стати ключем до модернізації податкових систем усього світу.

Ключові слова: технічна інженерія, штучний інтелект, криптовалюта, фінтех, оптимізація податкових систем, фінансова ефективність, цифровізація.

Вступ (Introduction)

У сучасному цифровому світі, де технології невинно розвиваються, технічна інженерія відіграє важливу роль у використанні штучного інтелекту та криптовалют для оптимізації податкових систем і сприяє поліпшенню фінансової ефективності фінтех-бізнесу. Цифрові

інновації трансформують фінансовий сектор, відкриваючи нові можливості та формуючи нові виклики.

Штучний інтелект є потужним інструментом для автоматизації бізнес-процесів, зокрема у сфері оподаткування. Використання алгоритмів машинного навчання та аналізу великих даних дозволяє підвищити ефективність податкового адміністрування, зменшити витрати на обробку інформації та виявити потенційні випадки шахрайства. Крім того, штучний інтелект може допомогти у прогнозуванні податкових тенденцій, що сприятиме кращому плануванню та розробці стратегій у галузі оподаткування.

Поряд із штучним інтелектом, криптовалюти відкривають нові горизонти для фінансових технологій. Децентралізована природа криптовалют забезпечує більшу прозорість та ефективність фінансових операцій, дозволяючи проводити транзакції без посередників. Це створює нові можливості для оптимізації податкових систем, зменшуючи ризики шахрайства та спрощуючи процеси сплати податків.

Однак цифровізація також несе з собою виклики, такі як значні бюджетні витрати на модернізацію систем адміністрування податків та ризики витоку конфіденційної інформації про платників податків. Тому важливо розробити ефективні стратегії та механізми, які дозволять максимально використати переваги технологій, одночасно мінімізуючи можливі ризики та забезпечуючи безпеку даних.

У цьому контексті технічна інженерія відіграє ключову роль, оскільки саме інженери відповідають за розробку та впровадження цифрових рішень, які поєднують штучний інтелект, криптовалюти та інші інноваційні технології. Їхня робота є необхідною для створення надійних, безпечних та ефективних систем, здатних задовольнити потреби фінтех-бізнесу та податкових органів.

Таким чином, дослідження ролі технічної інженерії, штучного інтелекту та криптовалют в оптимізації податкових систем і поліпшенні фінансової ефективності фінтех-бізнесу є актуальним та важливим для розуміння майбутніх тенденцій цифрової трансформації у фінансовому секторі та сфері оподаткування.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Для проведення дослідження були використані такі матеріали:

- наукові статті та публікації у галузі фінансових технологій, цифрової інженерії, штучного інтелекту, криптовалют та оподаткування. Це дозволило провести ґрунтовний огляд існуючої літератури та виявити останні тенденції у досліджуваній сфері.

- звіти та дослідження провідних консалтингових компаній, таких як McKinsey, Gartner, IDC та інших. Ці матеріали забезпечили доступ до актуальної статистики, прогнозів та експертних оцінок щодо впливу цифрових технологій на різні галузі економіки.

- дані з офіційних вебресурсів державних органів, включаючи податкові служби та регулятори фінансового сектору. Ці дані дозволили оцінити поточний стан та виклики у сфері оподаткування та фінтех-бізнесу.

- інформація з вебсайтів та звітів фінтех-компаній, які впроваджують інноваційні рішення на основі штучного інтелекту та криптовалют. Це допомогло проаналізувати практичні приклади застосування цих технологій.

При проведенні дослідження використовувалися різноманітні методи:

- системний аналіз - для вивчення взаємозв'язків між технічною інженерією, штучним інтелектом, криптовалютами та їх впливом на податкові системи та фінансову ефективність фінтех-бізнесу.

- порівняльний аналіз - для порівняння різних підходів до використання цифрових технологій у сфері оподаткування та виявлення їх переваг і недоліків.

- кількісний аналіз - для обробки статистичних даних, пов'язаних з впровадженням штучного інтелекту, криптовалют та інших інновацій у галузі фінансів та оподаткування.

- методи моделювання та прогнозування - для оцінки майбутнього впливу цифрових технологій на податкові системи та фінтех-бізнес.

- експертні оцінки - для отримання думок фахівців та практиків у сфері фінансових технологій, цифрової інженерії та оподаткування.

Комбінація різноманітних матеріалів та методів дозволила провести ґрунтовне дослідження та отримати всебічне розуміння ролі технічної інженерії, штучного інтелекту та криптовалют в оптимізації податкових систем і поліпшенні фінансової ефективності фінтех-бізнесу.

Результати (Results)

В епоху цифровізації, роль технічної інженерії в оптимізації податкових систем та поліпшенні фінансової ефективності фінтех-бізнесу стає предметом активного обговорення серед науковців, інженерів, економістів та представників бізнес-спільнот на науково-практичних конференціях, в засобах масової інформації тощо.

Інструменти використання штучного інтелекту та криптовалют в сфері оподаткування дозволяють автоматизувати багато процесів, пов'язаних з обробкою податкової інформації, що сприяє зменшенню кількості помилок та затрат часу на аналіз цієї інформації. (*An Empirical Study of User Adoption of Cryptocurrency Using Blockchain Technology: Analysing Role of Success Factors like Technology Awareness and Financial Literacy, 2022*).

Аналіз публікацій, пов'язаних з криптовалютами в період 2015-2021 років (рис.1), свідчить про зростаючий інтерес до цифрових валют у фінансових технологіях. Це є наслідком постійного розвитку цього сегменту ринку та пошук нових можливостей для впровадження криптовалют у різні сфери економіки та бізнесу.

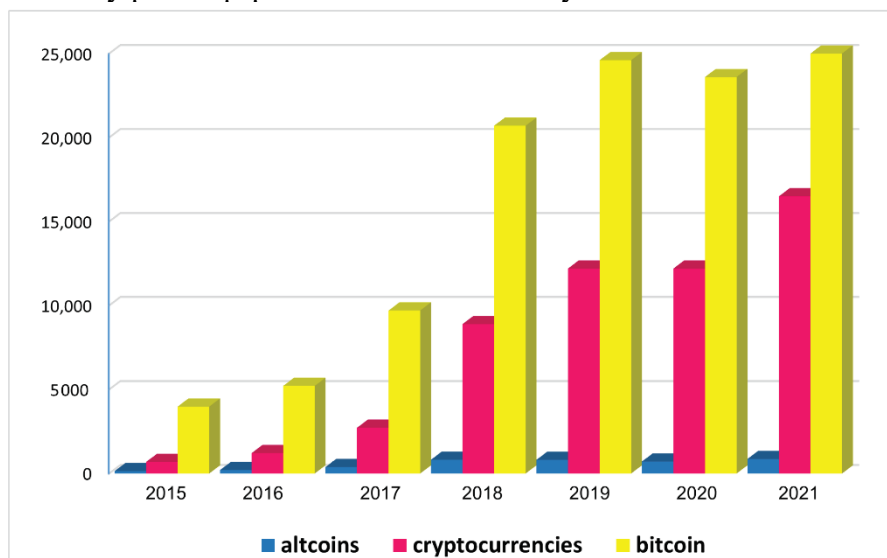


Рисунок 1. Публікації, пов'язані з криптовалютами в період 2015- 2021 років
Джерело: Applying Artificial Intelligence in Cryptocurrency Markets: A Survey

Сучасні технології, такі як смартфони, мобільний інтернет, соціальні мережі, дозволяють збирати та аналізувати великі обсяги даних, що використовуються для скорингу та пропонування персоналізованих послуг або продуктів потенційним клієнтам (*Digital engineering, 2022*).

Штучний інтелект та чат-боти створюють можливості для автоматизації багатьох фінансових послуг, включаючи виявлення та попередження шахрайства. Використання цих інструментів в адмініструванні податків сприяє автоматизації цього процесу, що, в свою чергу, забезпечує підвищення фіскальної ефективності системи адміністрування платежів податкового характеру (*Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) services, 2022*).

Дослідження загальної класифікації концепцій штучного інтелекту та їх підкатегорій (рис.2), актуалізує важливість розуміння різноманітності підходів до використання штучного інтелекту в сучасних технологічних рішеннях.

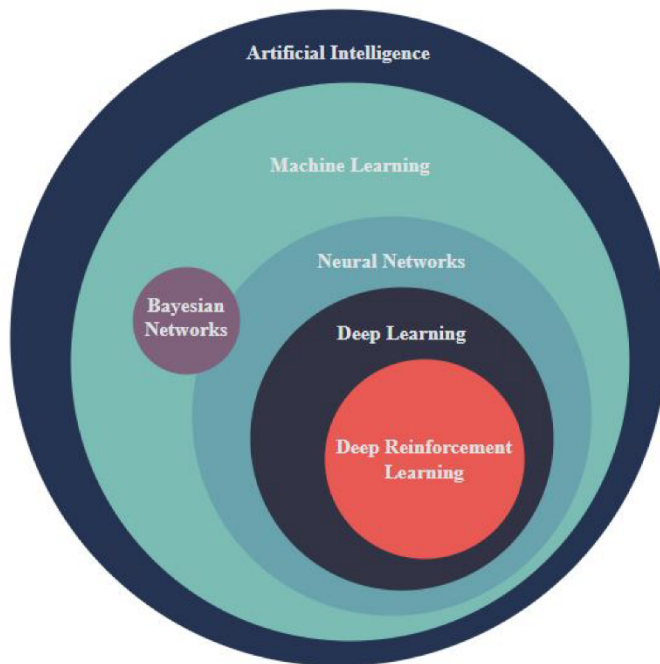


Рисунок 2. Загальна класифікація концепцій штучного інтелекту та їх підкатегорій
Джерело: Applying Artificial Intelligence in Cryptocurrency Markets: A Survey

Разом із новими можливостями, що виникають в результаті застосування досягнень технічної інженерії, штучного інтелекту та криптовалюти в процесі адміністрування податків, виникають нові виклики. Це включає значні бюджетні видатки на модернізацію та реалізацію проєктів діджиталізації системи адміністрування податків, а також ймовірність несанкціонованого витоку конфіденційної інформації про платників податків та особливості їх господарської діяльності (*Making sense of bitcoin, cryptocurrency and blockchain, 2022*).

Таким чином, необхідно розробити ефективні стратегії та механізми для оптимізації податкових систем і поліпшення фінансової ефективності фінтех-бізнесу, враховуючи можливі виклики та ризики.

В останні роки технічна інженерія, штучний інтелект та криптовалюти значно розвинулися, особливо в епоху цифровізації. Ось деякі приклади, дослідження та новини в цих галузях:

- Штучний інтелект у бізнесі: Штучний інтелект (AI) став важливим інструментом для оптимізації бізнес-процесів. Наприклад, дослідження, проведене в США, показало, що AI може значно покращити ефективність бізнесу, дозволити оперативно реагувати на швидко змінюване зовнішнє середовище та потреби клієнтів (*What is artificial intelligence in finance?, 2022*).

За даними IBM Global AI Adoption Index 2022, 35% компаній використовують штучний інтелект (ШІ) у бізнесі, а ще 42% досліджують можливості його застосування. За даними американської консалтингової компанії Gartner, у 2018 році глобальна вартість бізнесу, пов'язаної зі штучним інтелектом, оцінювалась в \$1,2 трлн. У 2022-му ця цифра збільшилась до \$3,9 трлн. (*Global AI business value to reach \$3.9 trillion in 2022: Gartner, 2022*).

- AI в фінансовій сфері: AI використовується для оптимізації фінансових систем та покращення фінансової ефективності фінтех-бізнесу. Це включає в себе використання AI для автоматизації процесів, таких як аналіз ризиків, управління портфелем та інше. Штучний інтелект став одним із основних драйверів зростання фінансового сектора. Якщо на 2020 рік обсяг цього ринку оцінювався у 7,91 млрд доларів, то до 2030 року він досягне 26,67 млрд, за

середньорічного темпу зростання 23,17% (*Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) services*).

Прогнозні показники глобального генеративного штучного інтелекту на ринку фінансових технологій до 2032 року (рис.3) є свідченням потенційних перспектив їх використання для автоматизації та оптимізації фінансових процесів у майбутньому.

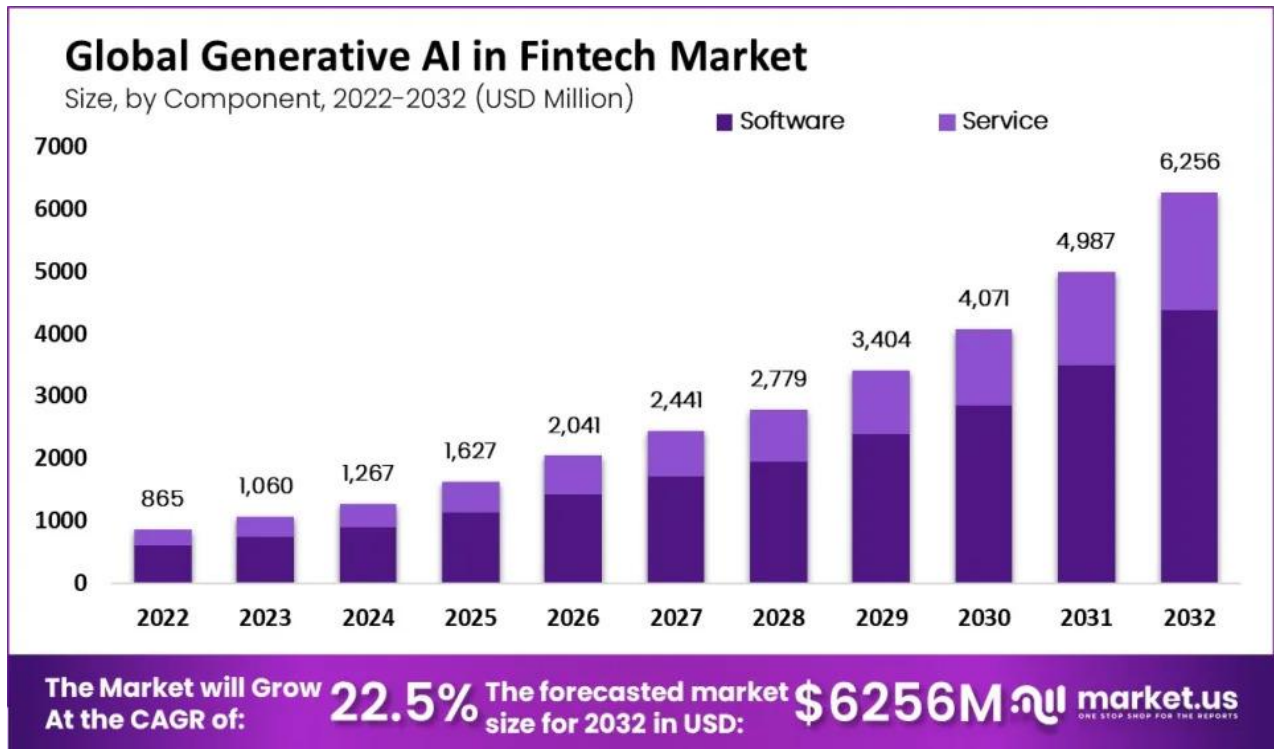


Рисунок 3. Прогноз до 2032 року. Глобальний генеративний штучний інтелект ринку фінансових технологій

Джерело: Generative AI in Fintech Market Size to Exceed US\$ 6.2 Bn by 2032: Report by Market.us

- Криптовалюти, такі як Bitcoin та Ethereum, стали важливими інструментами для проведення фінансових операцій. Вони дозволяють проводити транзакції безпосередньо між сторонами, без посередників, таких як банки (What is market cap?).

Крипторини стрімко розвивається, його капіталізація вже перевищила 2,2 трильйони доларів. Мільйони інвесторів шукають наступну перспективну криптовалюту для інвестування (What is market cap?).

- Технічна інженерія: в області технічної інженерії було зроблено значні прогеси, особливо в області розробки нових матеріалів та технологій. Інженерія продовжує впливати на цифровий світ. Компанії шукають способи використання децентралізованих технологій для впровадження інноваційних рішень та покращення своїх продуктів (Aligning the benefits of decentralization).

Ці приклади показують, як штучний інтелект, криптовалюти та технічна інженерія можуть бути використані для покращення різних аспектів суспільства, включаючи бізнес, фінанси та інженерію. Вони також підкреслюють важливість продовження досліджень та інновацій в цих областях та відкривають нові можливості для бізнесу, фінансів, інвестицій та технологій.

Значення фінтех у сфері оподаткування обумовлено використанням новітніх технологій, що дозволяють автоматизувати багато процесів, пов'язаних з обліком та сплатою податків. Це, в свою чергу, призводить до підвищення ефективності системи оподаткування та зменшення витрат як для платників, так і для держави. Фінтех-компанії активно розробляють інструменти, які допомагають платникам податків здійснювати оплату податків у режимі

онлайн, а також аналізувати та оптимізувати свої податкові зобов'язання (Making sense of bitcoin, cryptocurrency and blockchain).

Одним з ключових інструментів, які використовуються в сфері фінтех, є штучний інтелект. У фінансових послугах він може виконувати різні функції, такі як автоматизація процесів, виявлення шахрайських операцій, аналіз даних та підготовка звітів. В оподаткуванні штучний інтелект може бути використаний для аналізу та оптимізації податкових зобов'язань фізичних і юридичних осіб (*An Empirical Study of User Adoption of Cryptocurrency Using Blockchain Technology: Analysing Role of Success Factors like Technology Awareness and Financial Literacy*). Крім того, фінтех-компанії застосовують чат-бот технології, які дозволяють платникам податків звертатися за консультаціями та інформацією з питань функціонування податкового законодавства.

З найбільш перспективних напрямів розвитку фінтех в Україні є модернізація контакт-центру ДПС, розширення функціоналу е-кабінету платника податків та оновлення його інтерфейсу користувача (Making sense of bitcoin, cryptocurrency and blockchain). Також планується запуск нового формату спрощеної системи оподаткування «Smart ФОП» та запровадження електронного аудиту (Е-аудит) за допомогою електронного стандарту звітності для обміну даними бухгалтерського обліку (*An Empirical Study of User Adoption of Cryptocurrency Using Blockchain Technology: Analysing Role of Success Factors like Technology Awareness and Financial Literacy*).

Незважаючи на переваги фінтех у сфері оподаткування, існують також виклики та ризики, пов'язані з використанням цих технологій. Наприклад, кібербезпека і захист персональних даних є важливими питаннями, які потребують серйозного уваги. Крім того, необхідно враховувати доступність фінтех-інструментів для різних груп населення, які можуть бути менше орієнтовані на використання цифрових технологій (*What Is Business Efficiency & How Can You Improve It?*).

В цілому, розвиток фінтех в сфері оподаткування може принести значні користі для платників податків і держави, а також сприяти підвищенню фінансової грамотності населення. Для досягнення максимальної ефективності та безпеки необхідно продовжувати вдосконалювати і розвивати новітні технології, а також враховувати виклики і ризики, які виникають при їх використанні (*10 Tips To Improve The Financial Efficiency of Your Business*).

Для органів державного управління фінтех-ресурси допомагають уникнути помилок при обліку та сплати податків, а також дозволяють виконувати це в більш простий і зручний спосіб. Крім того, фінтех-інструменти дозволяють платникам податків отримати більше інформації про свої податкові зобов'язання та оптимізувати свою податкову ситуацію (*How to Measure Financial Efficiency: 8 Ratios for Evaluating Your Business*).

Незважаючи на переваги фінтех-інновацій, слід пам'ятати про проблеми безпеки та конфіденційності даних, які можуть виникнути при використанні відповідних інструментів. Тому важливо обирати відповідні фінтех-ресурси, що забезпечують надійний захист персональних даних та дотримання принципів зберігання та обробки інформації (*Digital Engineering: What Is It & Examples*).

У підсумку, зростаючий вплив фінтех-інновацій на сферу оподаткування сприяє підвищенню ефективності системи оподаткування, скороченню витрат та поліпшенню якості обліку та сплати податків як для платників, так і для органів державного управління. Однак важливо пам'ятати про проблеми безпеки та конфіденційності даних, які можуть виникнути при використанні відповідних інструментів (*Digital Engineering Overview, Tools and Best Practices*).

Після розгляду головних напрямків цифровізації у сфері фінансів (рис.4), можна визначити ключові технологічні та інноваційні тенденції, які впливають на трансформацію фінансового сектору та сприяють впровадженню нових цифрових рішень для оптимізації фінансових процесів.

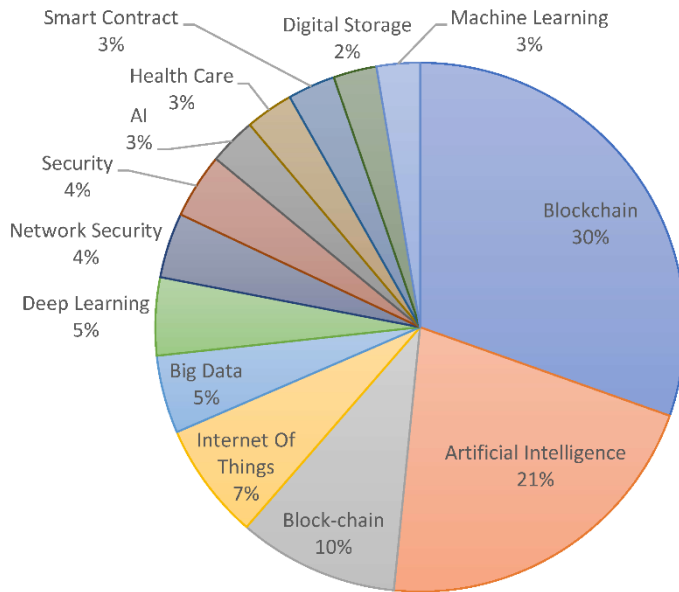


Рисунок 4. Головні напрямки цифровізації у сфері фінансів

Джерело: Blockchain Technology and Artificial Intelligence Together: A Critical Review on Applications

Фінансові технології (fintech) - це інноваційні інструменти та послуги, які використовуються для управління особистими або корпоративними фінансами, оплати послуг та інвестицій. Вони полегшують процеси, пов'язані з фінансами, і дозволяють управляти ними більш ефективно і безпечно. Одним з ключових аспектів фінансових технологій є використання штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) (*Global AI business value to reach \$3.9 trillion in 2022: Gartner*).

Ці технології дозволяють автоматизувати багато процесів, таких як аналіз даних, виявлення шахрайства, підготовка звітності та прийняття рішень. У результаті, фінансові операції стають більш швидкими, ефективними і безпечними (*Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) services*).

Фінансові технології також включають в себе такі інструменти, як електронні платежі, криптовалюту, мобільні банкінг-додатки і автоматизацію процесів торгівлі на біржі. Все це призводить до поліпшення рівня обслуговування клієнтів, зниження витрат і підвищення безпеки фінансових операцій (*Making sense of bitcoin, cryptocurrency and blockchain*).

В цілому фінансові технології відіграють важливу роль у розвитку сучасних фінансових систем, забезпечуючи їх ефективність, безпеку і доступність (*An Empirical Study of User Adoption of Cryptocurrency Using Blockchain Technology: Analysing Role of Success Factors like Technology Awareness and Financial Literacy*).

Таким чином, штучний інтелект і криптовалютні технології відіграють важливу роль в оптимізації фінансових систем, підвищення їх ефективності та безпеки, що дозволяє поліпшити процеси управління фінансами та інвестицій. У зв'язку з цим, фінансові технології будуть продовжувати розвиватися і впроваджуватися в різні сфери фінансової діяльності, що забезпечить підвищення якості обслуговування клієнтів і зниження витрат на фінансові операції (*10 Breakthrough Technologies 2024*).

Результати прогнозу доходів від ринку чат-ботів по всьому світу з 2018 по 2027 рік (рис.5) свідчать про зростаючу популярність та значення чат-ботів у сучасних технологічних рішеннях, особливо в галузі фінансових послуг, які сприяють автоматизації та покращенню обслуговування клієнтів.

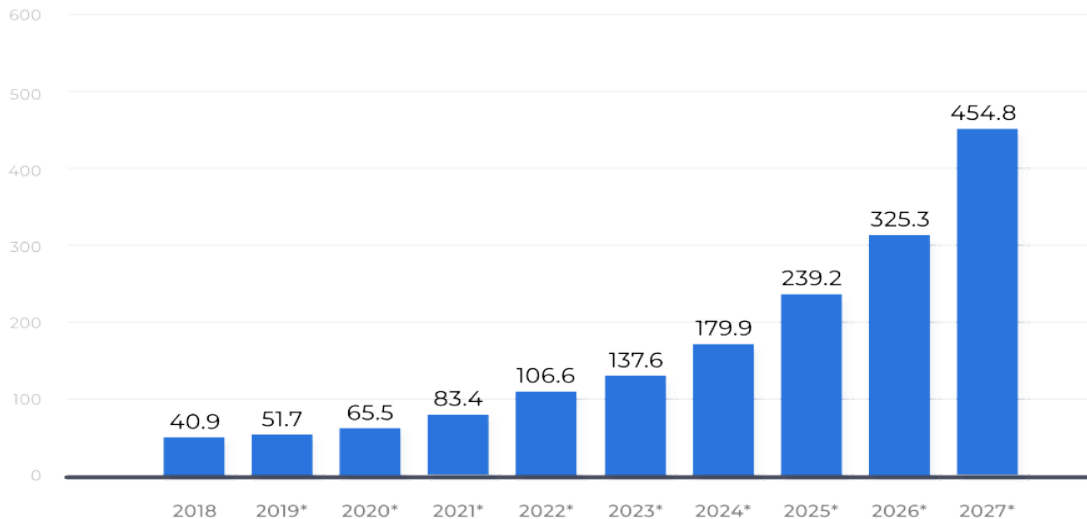


Рисунок 5. Прогноз до 2027 року. Доходи від ринку чат-ботів по всьому світу з 2018 по 2027 рік

Джерело: Chatbot market revenue worldwide from 2018 to 2027

Штучний інтелект може використовуватися для автоматизації та оптимізації податкових процесів. Наприклад, AI може допомогти в ідентифікації податкових шахраїв, аналізі податкових даних та прогнозуванні податкових трендів. Це може допомогти податковим органам працювати більш ефективно і точно.

Штучний інтелект (AI) відіграє важливу роль в оптимізації податкових систем через:

- автоматизацію податкових процесів: AI може автоматизувати багато рутинних задач, пов'язаних з податковим адмініструванням. Це може включати збір і обробку податкових декларацій, визначення податкових зобов'язань та виконання аудиту (*Digital Engineering Overview, Tools and Best Practices*).

- виявлення податкового шахрайства: AI може використовуватися для аналізу великих обсягів даних для виявлення шахрайських схем. Це може допомогти податковим органам виявляти та запобігати податковому шахрайству (*An Empirical Study of User Adoption of Cryptocurrency Using Blockchain Technology: Analysing Role of Success Factors like Technology Awareness and Financial Literacy*).

- прогнозування податкових трендів: AI може використовуватися для аналізу історичних податкових даних та прогнозування майбутніх трендів. Це може допомогти податковим органам планувати та розробляти ефективні стратегії (*Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) services*).

- підвищення ефективності: Завдяки автоматизації та аналітиці, AI може допомогти податковим органам працювати більш ефективно. Це може зменшити витрати на адміністрування податків та підвищити загальну ефективність податкової системи (What is market cap?).

Криптовалюта, як інноваційна фінансова технологія, може мати значний вплив на фінтех-бізнес. Вона може забезпечити нові можливості для транзакцій, інвестицій та фінансування, які можуть поліпшити фінансову ефективність.

Після аналізу еволюції клієнтських інтерфейсів у сфері фінансів (рис.6), можна визначити тенденції у вдосконаленні способів взаємодії клієнтів з фінансовими послугами, що сприяють покращенню користувацького досвіду та забезпечують більш ефективну комунікацію між клієнтами та фінансовими установами

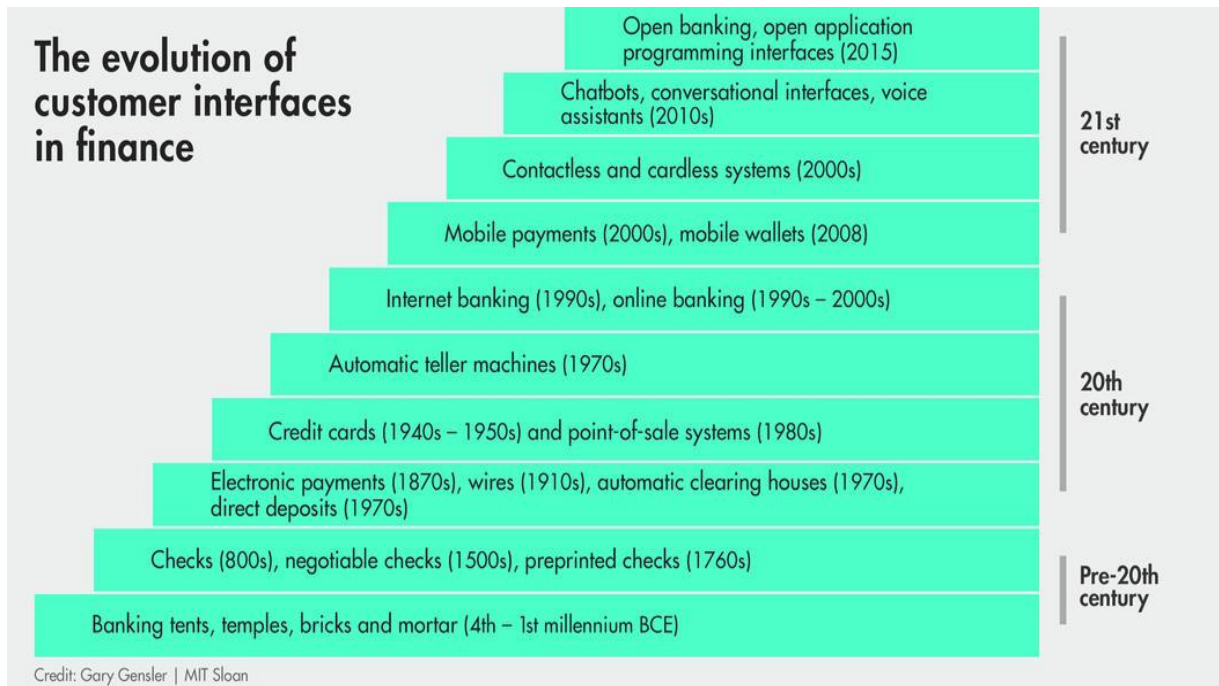


Рисунок 6. Еволюція клієнтських інтерфейсів у сфері фінансів
Джерело: Fintech, explained

Ключовими аспектами впливу криптовалюти на фінтех-бізнес можна вважати:

- нові можливості для транзакцій: Криптовалюти, такі як Bitcoin та Ethereum, надають нові способи проведення транзакцій, які можуть бути швидкими, безпечнішими та ефективнішими, ніж традиційні методи (*Making sense of bitcoin, cryptocurrency and blockchain*).
- доступ до глобальних ринків: Криптовалюти можуть допомогти фінтех-компаніям отримати доступ до глобальних ринків, оскільки вони не залежать від традиційних банківських систем (*Digital Engineering Overview, Tools and Best Practices*).
- інновації в області фінансових послуг: Криптовалюти можуть стимулювати інновації в області фінансових послуг, надаючи нові можливості для платіжних систем, позик, інвестицій та іншого (*An Empirical Study of User Adoption of Cryptocurrency Using Blockchain Technology: Analysing Role of Success Factors like Technology Awareness and Financial Literacy*).
- регулятивні виклики: Криптовалюти також ставлять перед собою регулятивні виклики. Фінтех-компанії повинні навчитися працювати в рамках регулятивного середовища, яке ще формується (*10 Tips To Improve The Financial Efficiency of Your Business*).

Цифровізація змінює спосіб, яким ми проектуємо, будуємо та використовуємо технології. Технічні інженери повинні адаптуватися до цих змін, використовуючи нові інструменти та технології, такі як штучний інтелект та криптовалюта, для вирішення складних проблем:

- цифрове проектування та моделювання: Сучасні інженерні проекти використовують цифрові інструменти для проектування та моделювання. Це дозволяє інженерам створювати більш точні та деталізовані проекти, а також проводити випробування та аналіз в цифровому середовищі перед фізичною реалізацією (*Digital Engineering: What Is It & Examples*).
- автоматизація та роботизація: Цифрові технології дозволяють автоматизувати багато інженерних процесів, що зменшує помилки та підвищує продуктивність. Роботизовані системи можуть виконувати складні завдання з високою точністю та ефективністю (*Digital Engineering Overview, Tools and Best Practices*).
- інтернет речей (IoT): IoT з'єднує фізичні пристрої з інтернетом, що дозволяє збирати, аналізувати та використовувати дані на новий спосіб. Це може включати в себе все, від

моніторингу стану обладнання до оптимізації енергоспоживання в будівлях (*10 Tips To Improve The Financial Efficiency of Your Business*).

- штучний інтелект та машинне навчання: Ці технології можуть допомогти інженерам аналізувати великі обсяги даних, робити прогнози та автоматизувати рішення. Вони можуть бути використані в різних областях, від оптимізації логістичних маршрутів до розробки більш ефективних систем охолодження (*An Empirical Study of User Adoption of Cryptocurrency Using Blockchain Technology: Analysing Role of Success Factors like Technology Awareness and Financial Literacy*).

- кібербезпека: З ростом цифровізації зростає і потреба в захисті цифрових систем. Інженери повинні розробляти системи з урахуванням кібербезпеки, щоб захистити дані та інфраструктуру від потенційних загроз (*What is artificial intelligence in finance?*).

Результати дослідження технологічного стеку фінтех-технологій (рис.7), дозволяють визначити ключові компоненти та інструменти, які використовуються у фінансових технологіях для оптимізації процесів, забезпечення безпеки та покращення фінансових послуг для користувачів.

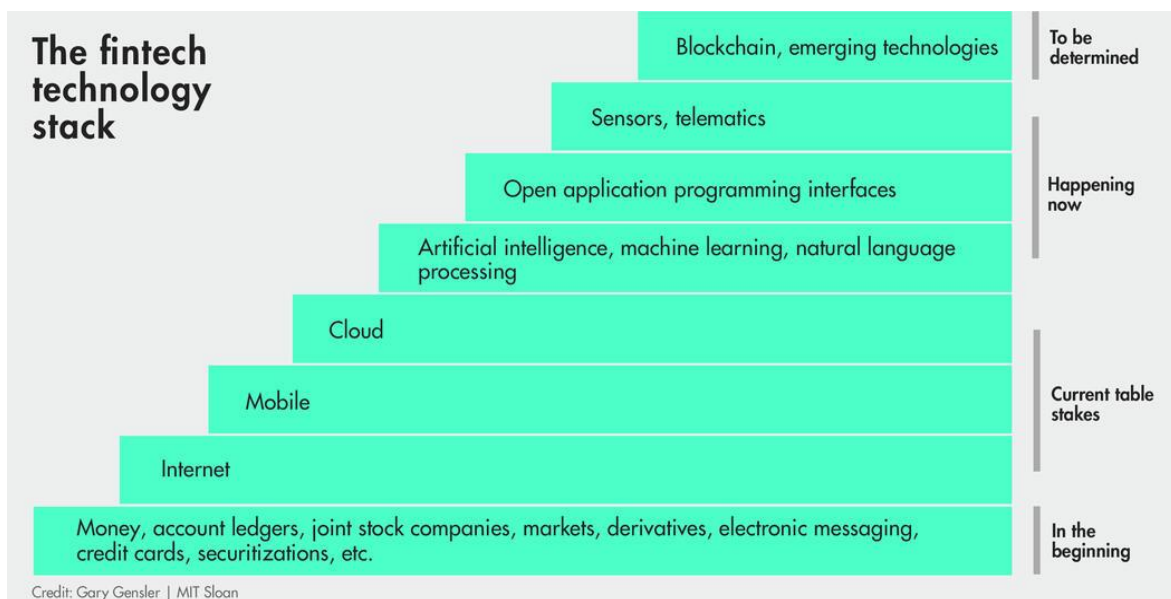


Рисунок 7. Технологічний стек фінтех-технологій

Джерело: Fintech, explained

Штучний інтелект та криптовалюта можуть допомогти фінтех-компаніям підвищити свою фінансову ефективність. Штучний інтелект може допомогти в автоматизації процесів, зменшенні помилок та підвищенні продуктивності, тоді як криптовалюта може забезпечити нові можливості для транзакцій та інвестицій. Така технологія може значно покращити фінансову ефективність шляхом:

- автоматизації фінансових процесів: Технології, такі як штучний інтелект та машинне навчання, можуть автоматизувати багато рутинних фінансових процесів, зменшуючи помилки та підвищуючи продуктивність (*10 Tips To Improve The Financial Efficiency of Your Business*);

- аналізу даних: Технології аналізу даних можуть допомогти фінансовим організаціям краще розуміти свої дані, виявляти тенденції та робити обґрунтовані рішення (*What Is Business Efficiency & How Can You Improve It?*);

- застосування цифрових платежів: Цифрові платіжні системи, такі як криптовалюти та мобільні платежі, можуть зробити транзакції швидшими, дешевшими та зручнішими (*US Crypto Payments*);

- роботизації процесуального автоматизування (RPA): RPA може бути використано для автоматизації рутинних фінансових задач, таких як обробка інвойсів або звітів про витрати,

що дозволяє співробітникам зосередитися на більш складних задачах (*How to Measure Financial Efficiency: 8 Ratios for Evaluating Your Business*);

- використання блокчейн: Технологія може забезпечити безпеку та прозорість для фінансових транзакцій, що може покращити довіру та ефективність (*Making sense of bitcoin, cryptocurrency and blockchain*).

Висновки (Conclusions)

Розвиток технічної інженерії, штучного інтелекту та криптовалют в епоху цифровізації відкриває нові можливості для оптимізації податкових систем і поліпшення фінансової ефективності фінтех-бізнесу.

Разом із новими можливостями, що виникають в результаті застосування цих досягнень, виникають нові виклики. Це включає значні бюджетні видатки на модернізацію та реалізацію проєктів діджиталізації системи адміністрування податків, а також ймовірність несанкціонованого витоку конфіденційної інформації про платників податків та особливості їх господарської діяльності.

Тому, безсумнівно, у XXI столітті більшість сервісів податкового обслуговування мають переходити в цифровий формат, що створює зручні та комфортні умови взаємодії платників податків та податкових органів, спрощує та вдосконалює процес адміністрування податків. При цьому важливо, щоб остаточні рішення про запровадження нових технологій, процесів автоматизації або зміну функціоналу приймалися після детальних експертних обговорень, консультацій та погоджень із бізнес-спільнотою. Це допоможе забезпечити, що нові технології та інновації будуть використовуватися ефективно та безпечно, приносячи користь як бізнесу, так і суспільству в цілому.

Слід зазначити, що важливою складовою успішної цифрової трансформації податкової системи є забезпечення кібербезпеки. З урахуванням ймовірності несанкціонованого витоку конфіденційної інформації про платників податків та особливості їх господарської діяльності, необхідно вдосконалити заходи з кіберзахисту. Це включає в себе розробку та впровадження сучасних технологій шифрування даних, моніторингу та виявлення кіберзагроз, а також посилення кібер гігієни серед користувачів системи.

Крім того, важливо пам'ятати про соціальний аспект цифрової трансформації податкової системи. При впровадженні нових технологій та процесів автоматизації, необхідно враховувати можливі соціальні наслідки, забезпечуючи доступність та зрозумілість нововведень для всіх верств населення. Це сприятиме підвищенню довіри громадян до податкової системи та підтримці її легітимності.

Отже, для успішної цифрової трансформації податкової системи необхідно поєднувати технічні інновації з кібербезпекою та соціальними аспектами, а також забезпечити широку підтримку та участь різних зацікавлених сторін у процесі прийняття рішень.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація - С.М.; методика – С.М. та К.О.; формальний аналіз – С.М. та К.О.; аналітичні дані – С.М., К.О., С.Н.; візуалізація – С.М. та Т.М.; , перевірка та редагування – С.Н.. Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Applying Artificial Intelligence in Cryptocurrency Markets: A Survey [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1999-4893/15/11/428> [in English].
- Atkins Realis. What does digital transformation mean for the engineering sector? [Online]. Available: <https://careers.atkinsrealis.com/blogs/2021-11/digital-transformation-in-the-engineering-sector> [in English].
- Avenga. Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) services [Online]. Available: https://www.avenga.com/our-expertise/ai-services/?utm_term=ai%20finance%20industry&utm_campaign=2402_Finance_industry_bing&utm_source=bing&utm_medium=ppc&hsa_acc=8731229423&hsa_cam=567985995&hsa_grp=1174280162913682&hsa_ad=&hsa_src=o&hsa_tgt=kwd-73392795058017:loc-235&hsa_kw=ai%20finance%20industry&hsa_mt=e&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&msclkid=b8c04cf15a271a503_08a29135752f84d [in English].
- BAE Systems. What is Digital Engineering? [Online]. Available: <https://www.baesystems.com/en-us/definition/digital-engineering> [in English].
- Blockchain Technology and Artificial Intelligence Together: A Critical Review on Applications [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/24/12948> [in English].
- Chatbot market revenue worldwide from 2018 to 2027 [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1007392/worldwide-chatbot-market-size/> [in English].
- Cognizant. Digital engineering [Online]. Available: <https://www.cognizant.com/us/en/glossary/digital-engineering> [in English].
- Coinbase. What is market cap? [Online]. Available: <https://www.coinbase.com/learn/crypto-basics/what-is-market-cap> [in English].
- CoinGecko. Global Cryptocurrency MarketCap Charts [Online]. Available: <https://www.coingecko.com/en/global-charts> [in English].
- EM360 Tech. Global AI business value to reach \$3.9 trillion in 2022: Gartner [Online]. Available: <https://em360tech.com/tech-news/tech-features/global-ai-business-value-reach3-9-trillion-2022-gartner> [in English].
- Emerald Insight. Digitalization and academic research: knowing of and using digital services and software to develop scientific papers [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/TQM-02-2022-0050/full/html> [in English].
- Fintech, explained [Online]. Available: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/fintech-explained> [in English].
- Forbes. Cryptocurrency Prices Today By Market Cap [Online]. Available: <https://www.forbes.com/digital-assets/crypto-prices/?sh=1903d7e02478> [in English].
- General Dynamics Information Technology. Digital Engineering Is the Future of Modern Engineering [Online]. Available: <https://www.gdit.com/perspectives/latest/digital-engineering-is-the-future-of-modern-engineering/> [in English].
- Generative AI in Fintech Market Size to Exceed US\$ 6.2 Bn by 2032: Report by Market.us [Online]. Available: <https://finance.yahoo.com/news/generative-ai-fintech-market-size-170600697.html#:~:text=New%20York%2C%20April%2003%2C%202023%20%28GLOBE%20NEWSWIRE%29%20--Rate%20%28CAGR%29%20of%2022.5%25%20between%202023%20and%202032> [in English].
- IBM. What is artificial intelligence in finance? [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence-finance> [in English].
- Insider Intelligence. US Crypto Payments [Online]. Available: <https://www.insiderintelligence.com/content/us-crypto-payments> [in English].
- Lviv Polytechnic National University. Didzhitalizatsiia ta yii rol u diialnosti ukrainskykh

- pidpriumstv [Online]. Available: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2022/dec/29528/220972maket-196-204.pdf> [in Ukrainian].
- Management Consulted. Digital Engineering: What Is It & Examples [Online]. Available: <https://managementconsulted.com/digital-engineering/> [in English].
- MDPI. An Empirical Study of User Adoption of Cryptocurrency Using Blockchain Technology: Analysing Role of Success Factors like Technology Awareness and Financial Literacy [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/0718-1876/18/3/80> [in English].
- MIT News. Giving cryptocurrency users more bang for their buck [Online]. Available: <https://news.mit.edu/2020/spider-cryptocurrency-routing-efficiency-0130> [in English].
- MIT Technology Review. 10 Breakthrough Technologies 2024 [Online]. Available: <https://www.technologyreview.com/2024/01/08/1085094/10-breakthrough-technologies-2024/> [in English].
- Mosaic. How to Measure Financial Efficiency: 8 Ratios for Evaluating Your Business [Online]. Available: <https://www.mosaic.tech/post/financial-efficiency> [in English].
- NetSuite. What Is Business Efficiency & How Can You Improve It? [Online]. Available: <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/financial-management/business-efficiency.shtml> [in English].
- PayEm. 10 Tips to Improve the Financial Efficiency of Your Business [Online]. Available: <https://www.payem.co/blog/10-tips-to-improve-the-financial-efficiency-of-your-business> [in English].
- Princeton University School of Engineering and Applied Science. Aligning the benefits of decentralization [Online]. Available: <https://engineering.princeton.edu/news/2023/05/01/aligning-benefits-decentralization> [in English].
- PwC. Making sense of bitcoin, cryptocurrency and blockchain [Online]. Available: <https://www.pwc.com/us/en/industries/financial-services/fintech/bitcoin-blockchain-cryptocurrency.html> [in English].
- Statista. Artificial intelligence (AI) market size worldwide in 2021 with a forecast until 2030 [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1365145/artificial-intelligence-market-size/> [in English].
- Vena Solutions. 10 Metrics to Measure the Financial Efficiency of Your Organization [Online]. Available: <https://www.venasolutions.com/blog/10-metrics-measure-financial-efficiency-your-organization> [in English].
- Utilities One. How Engineering Evolved with Digital Transformation [Online]. Available: <https://utilitiesone.com/how-engineering-evolved-with-digital-transformation> [in English].
- XenonStack. Digital Engineering Overview, Tools and Best Practices [Online]. Available: <https://www.xenonstack.com/insights/what-is-digital-engineering> [in English].



JEL: C88

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.07


Development of an Android application for controlling a smart greenhouse on Arduino

Citation:

Medvediev, D., Khotskina, V., Khodukin, M., Medvedieva, S., & Prykhodko, I. (2024). Development of an Android application for controlling a smart greenhouse on Arduino. *Scientific and practical journal "Economics and technical engineering"*. Vol. 2 No. 1 (2024), 79–92. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.07>

Dmytro Medvediev
Assoc. Prof., PhD State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: medvediev_dg@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0002-3747-1717


Valentyna Khotskina
Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: hotskina_vb@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-8963-4189


Mykola Khodukin
Assistant., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: hodukin@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0001-8577-2541

Svitlana Medvedieva
Assistant., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: karpiuk_sa_23848@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0005-9297-2935

Illia Prykhodko
Student, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: liakhova_ia@kneu.dp.ua

Received: 11/03/2024

Accepted: 08/04/2024



Abstract: The relevance of the topic "Development of an Android application for controlling a smart greenhouse on Arduino" is due to the opportunities offered by the field of automated device development, as well as the attention to this field of IT development, both by specialists and users who have certain tasks in production, in business, at home and other areas whose needs can be solved with the help of these technologies. Therefore, the purpose of the research is development of the device, the software for it, and production of a mobile application for controlling the created device. Using the developed device, software and its application, you can create, for example, an automatic greenhouse, which will save time and resources with maximum return. During the study of the automation of the processes of control and management of environmental parameters, the requirements that must be fulfilled during the automation of the receipt and processing of sensor readings were clearly formulated. On the basis of the analysis of the already conducted research works, the main functional components that should be inherent in any automated control system with the possibility of remote control have been selected. In the process of research, the need to use the integrated development environment Arduino IDE and Android Studio is substantiated. Arduino IDE is designed to write, compile, and load programs into Arduino microcontroller memory, and Android Studio is the official Android application development tool based on JetBrains' IntelliJ IDEA software. The process of creating the device is fully described, with a step-by-step review of each element and the sequence of actions. The program code is provided and the principle of operation of all its components is described. The principle of operation of the Android application is also demonstrated. It contains information about the state of the greenhouse (temperature and humidity) and has the ability to turn on cooling both automatically and manually. Information is presented in the form of graphs that change dynamically.

Keywords: Arduino; Android; Bluetooth; data transfer.


JEL: C88

Development of an Android application for controlling a smart greenhouse on Arduino

Dmytro Medvediev

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: medvediev_dg@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0000-0002-3747-1717

Valentyna Khotskina

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: hotskina_vb@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8963-4189

Mykola Khodukin

Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: hodukin@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8577-2541

Svitlana Medvedieva

Assistant,, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: medvedieva@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0005-9297-2935

Illia Prykhodko

Student, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: raintoucher@gmail.com

Abstract: The relevance of the topic "Development of an Android application for controlling a smart greenhouse on Arduino" is due to the opportunities offered by the field of automated device development, as well as the attention to this field of IT development, both by specialists and users who have certain tasks in production, in business, at home and other areas whose needs can be solved with the help of these technologies. Therefore, the purpose of the research is development of the device, the software for it, and production of a mobile application for controlling the created device. Using the developed device, software and its application, you can create, for example, an automatic greenhouse, which will save time and resources with maximum return. During the study of the automation of the processes of control and management of environmental parameters, the requirements that must be fulfilled during the automation of the receipt and processing of sensor readings were clearly formulated. On the basis of the analysis of the already conducted research works, the main functional components that should be inherent in any automated control system with the possibility of remote control have been selected. In the process of research, the need to use the integrated development environment Arduino IDE and Android Studio is substantiated. Arduino IDE is designed to write, compile, and load programs into Arduino microcontroller memory, and Android Studio is the official Android application development tool based on JetBrains' IntelliJ IDEA software. The process of creating the device is fully described, with a step-by-step review of each element and the sequence of actions. The program code is provided and the principle of operation of all its components is described. The principle of operation of the Android application is also demonstrated. It contains information about the state of the greenhouse (temperature and humidity) and has the ability to turn on cooling both automatically and manually. Information is presented in the form of graphs that change dynamically.


Keywords: Arduino; Android; Bluetooth; data transfer

Розробка Android - додатка для керування розумною теплицею на Arduino

Дмитро Медведєв

доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: medvediev_dg@deut.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-3747-1717

Валентина Хоцкіна

доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: hotskina_vb@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8963-4189

Микола Ходукін

асистент, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: hodukin@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8577-2541

Світлана Медведєва

асистент, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: medvedieva@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0005-9297-2935

Ілля Приходько

студент, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: raintoucher@gmail.com

Анотація: Актуальність теми «Розробка Android - додатка для керування розумною теплицею на Arduino» зумовлена можливостями, що пропонує сфера розробки автоматизованих пристроїв, а також увагою до цієї галузі ІТ - розробок, як фахівців, так і користувачів, що мають певні завдання на виробництві, в бізнесі, побуті та інших сферах, чії потреби можна вирішити за допомогою даних технологій. Тому метою дослідження є розробка пристрою, програмного забезпечення до нього та розробка мобільного додатку для керування створеним пристроєм. Користуючись розробленим пристроєм, програмним забезпеченням та додатком до нього, можна створити, наприклад, автоматичну теплицю, що дозволить заощадити час та ресурси з максимальною віддачею. При дослідженні автоматизації процесів контролю та керуванні параметрами середовища були чітко сформульовані вимоги, що повинні виконуватись при автоматизації надходження та обробки показів сенсорів. На основі аналізу вже проведених дослідних робіт виділено основні функціональні компоненти, які повинні бути притаманні будь-якій системі автоматизованого контролю з можливістю дистанційного керування. У процесі дослідження обґрунтовано необхідність у використанні інтегрованого середовища розробки Arduino IDE та Android Studio. Arduino IDE призначено для написання, компіляції та завантаження програм в пам'ять мікроконтролера плат Arduino, а Android Studio – це офіційний інструмент розробки додатків для Android, заснований на програмному забезпеченні IntelliJ IDEA від JetBrains. Повністю описаний процес створення пристрою, з поетапним розглядом кожного елемента та послідовністю дій. Надано програмний код та описаний принцип роботи усіх його компонентів. Також продемонстровано принцип роботи Android - додатка.

Ключові слова: Arduino; Android; Bluetooth; передача даних

Вступ (Introduction)

Розумна теплиця – це теплиця, що має мікроконтролери, сенсори та спеціальний програмний додаток. Також розумну теплицю часто синхронізують і з іншими технічними рішеннями, наприклад, автоматичними системами поливу. Мікродатчики можуть контролювати величезний масив факторів: температуру, вологість та якість ґрунту, освітлення. Додатково з їх допомогою фіксують дані про зростання рослин, кількість пестицидів, використання добрив і т.д. Зібрану інформацію можна надіслати на локальний або хмарний сервер. Консоль веб адміністратора дозволяє налагоджувати параметри системи та синхронізувати її з іншими рішеннями. А додаток на мобільному пристрої збирає звіти про стан культур та умови у теплиці, генерує попередження, якщо якийсь показник не відповідає нормі. Сучасні технології дозволяють створити розумну теплицю з бездротовою передачею даних, що дозволить заощадити на дротовому з'єднанні. «Розумне сільське господарство» ставить перед собою мету максимально автоматизувати сільськогосподарську діяльність, підвищити урожайність і якість продукції (Samoilenko, 2020).

І хоча вирощування різних культур в тепличних комплексах є одним із найбільш енерговитратних процесів у сільському господарстві, але завдяки більш точному контролю умов вирощування рослин, теплиці дозволяють забезпечити більш високу врожайність на квадратний метр та більш якісну продукцію.

Алгоритми функціонування таких комплексів засновані на відхиленні або збуренні регулюючої величини (температура, вологість, освітлення і т.д.). Для регулювання температурного режиму електричних нагрівачів застосовуються в основному системи автоматичної стабілізації в яких регулятор підтримує постійне значення регульованого параметру та системи програмного регулювання, які змінюють параметр по попередньо заданому закону в часі (Baranov, & Bielikov, 2021).

Основним обмеженням при використанні датчиків є складність їх характеристик та калібрування. Це обумовлено гіпереластичними характеристиками матеріалів, що викликають нелінійність, великий гістерезис, повзучість і дрейф, що призводить до генерування несподіваної фізичної поведінки та електричних реакцій датчиків. Ці недоліки ускладнюють використання датчиків. При програмуванні контролера важливо уявляти, що зміна процесу перебуватиме біля межі спрацьовування, неминуче відбуватиметься явище коротких переходів туди й назад за граничну лінію ("брязкот"). Для позбавлення системи від "брязкоти" при зближенні з лінією кордону використовується "Зона нечутливості" або "Гістерезис" (від грец. hysteresis – відставання, запізнення). Тобто при перетині відповідного порога порушення стабільного стану системи (спрацьовування) виникає без затримки, а зникає лише при перетині зони Гістерезису. Інакше кажучи, за одних і тих же зовнішніх умов стан об'єкту дослідження може бути різним, залежним від його стану в попередні моменти часу (Hadetska, Dubnytskyi, Kushneruk, Filatova, & Khodyriev, 2021).

Одним з великих недоліків є неправильне налаштування системи, через яку можна втратити весь урожай. Тому до автоматизації потрібно підходити дуже відповідально (Vilous, 2017). У будь-який момент часу користувач повинен мати можливість перевести управління процесом в ручному режимі, тобто взяти управління процесами на себе. Ручне керування датчиками, незважаючи на велику трудомісткість у порівнянні з повністю автономним керуванням, виявляється іноді більш ефективнішим за рахунок того, що система управління не завжди здійснює правильні рішення.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Створення проєкту потребує використання середовищ розробки Android studio та Arduino IDE, а також плати Arduino з елементами: датчик температури та вологості DHT11, дисплей LCD1602, Bluetooth модуль HC-06. Побутова техніка - нагрівач та вентилятор будуть підключатися через одноканальні модулі реле (RELE-1x5V).

Результати (Results)

Інтегроване середовище розробки Arduino IDE (Рисунок 1) призначено для написання, компіляції та завантаження власних програм в пам'ять мікроконтролера, що встановлений на платі Arduino-сумісного пристрою. Основою середовища розробки є мова Processing/Wiring – це, фактично, звичайний C++, доповнений простими і зрозумілими функціями для керування введенням/виведенням на контактах (Kryvonos, O.M., Kuzmenko, Y.V., & Kuzmenko, S.V. 2016). Існують версії середовища для операційних систем Windows, Mac OS та Linux, а останню версію середовища Arduino IDE завжди можна завантажити зі сторінки офіційного сайту.

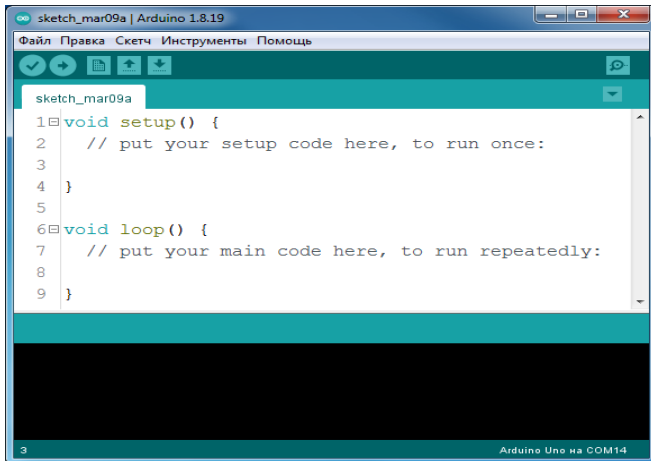


Рисунок 1. Вікно Arduino IDE

Можливості середовища програмування Arduino може бути значно розширено за допомогою використання бібліотек. Бібліотеки розширюють функціональність програм через реалізацію деяких додаткових функцій, наприклад, роботи з апаратними засобами, функції з обробці даних тощо. Ряд бібліотек встановлюється автоматично разом із середовищем розробки, також можна завантажувати або створювати власні бібліотеки.

Android Studio – безкоштовне середовище розробки на основі IntelliJ IDEA (international data encryption algorithm), що надають інтегровані інструменти для розробки та налагодження додатків для платформи Android (Рисунок 2).

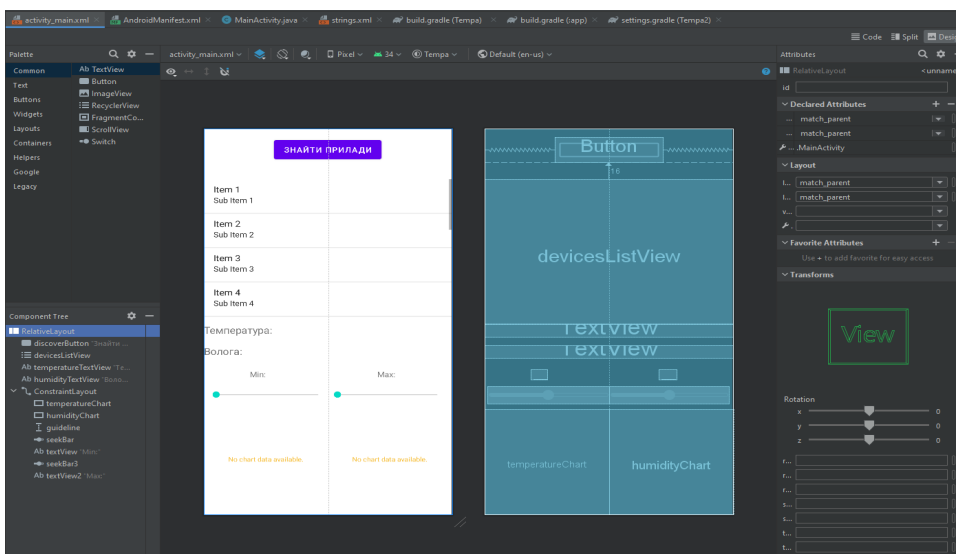


Рисунок 2. Інтерфейс розробки середовища програмування

Android Studio було представлено 16 травня 2013 року на конференції Google I/O, а після релізу прийшло на зміну плагіну ADT для платформи Eclipse. Android Studio містить: Android SDK (software development kit), інструменти для розробки дизайну, тестування і налагодження. В основу робочого процесу Android Studio закладений концепт безперервної інтеграції, що дозволяє відразу виявити наявні проблем (Krasnorutskyi, Zhuk, Kazmirov, & Martyniuk, 2022). Для розробки програмного забезпечення використовуються мови Kotlin та Java. Мова Java набуває популярності та часто використовується при розробці застосунків для Windows Mobile, Android, Bada, Palm OS і BlackBerry OS (Ichanska, & Ulko, 2020).

Розробка візуальної складової програми відбувається в редакторі файлу формату ".xml", що є файлом розмітки для виведення інформації на екран смартфона. У даному редакторі є можливість перемикання між "Режимами" розробки: Code, Split, Design. "Code" є текстовим редактором даного файлу, в якому позначені розміщені на конструкторі об'єкти (їхні властивості, координати і т.п.). "Design" є візуальним редактором, де розміщення та зміна об'єктів відбувається "на око", тим самим представляючи те, яким у майбутньому буде інтерфейс користувача. "Split" - це комбінований режим, що розділяє екран навпіл, одну частину якого займає режим "Code", а іншу - "Design", надаючи функціонал обом.

Компоненти апаратної частини. Передача значень з датчика (температури та вологості) безпосередньо в Андроїд-додаток виконується через Bluetooth-модуль (Medvediev, Khotskina, Khodukin, Dashko, & Kravchuk, 2023)

LCD1602

Символьні дисплеї використовуються в системах домашньої безпеки, робототехніці, багатофункціональних пристроях, торгових автоматах і турнікетах громадського транспорту.

Символьний дисплей LCD1602 (Рисунок 3) використовується для відображення інформації від контролера та сенсорів у текстовому форматі. Дисплей складається з матриці рідкокристалічного дисплея (LCD) і відображає два рядки по 16 символів білого кольору на синьому підсвічуванні. Матриця дисплея підключена до контролера Hitachi HD44780, здатного відображати ряд цифр, латинських символів і прошиті друковані знаки. У пам'яті дисплея можна створити до восьми спеціальних символів. Кожен символ складається з квадрата розміром 5 x 8 пікселів. При розмірі модуля 80x36x15 мм розмір видимої області складає 64.5 x 14.5 мм. Напруга живлення модуля 5 вольт, а робоча температура 0 ~ 50°C. Працює зі стандартною бібліотекою *LiquidCrystal*.

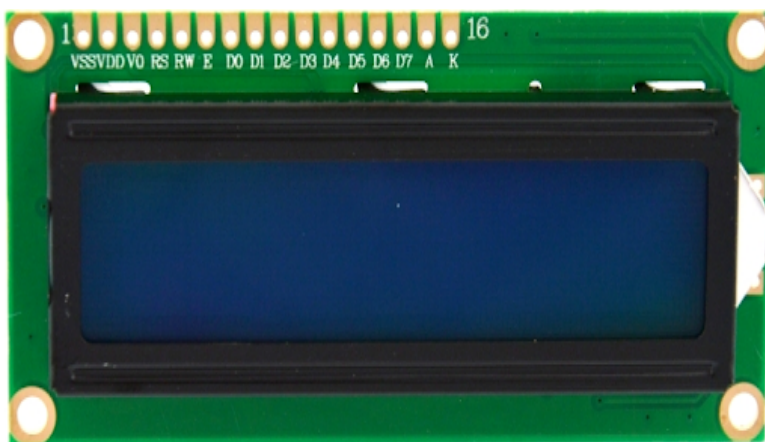


Рисунок 3. Дисплей LCD1602

Модуль реле. Модуль реле одноканальний – 5V, 10A, 250V (Рисунок 4) – це одноканальний модуль реле на 5В, що керується за допомогою контролера Arduino. Цей релейний модуль призначений для керування як постійним, так і змінним струмом великої сили. Окрім самого реле, модуль також містить оптоелектронне рішення з транзистором, який захищає клеми Arduino від стрибків напруги на котушці.

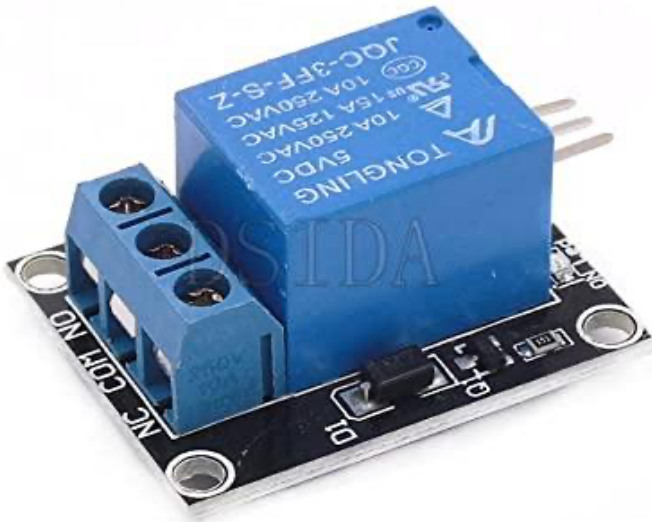


Рисунок 4. Модуль реле

Характеристики:

- Напруга живлення: 5 В
- Струм споживання: 15 мА ... 20 мА
- Сигнал вмикання: 0 В (низький рівень)
- Кількість реле: 1 шт.
- Тип реле: електромеханічний
- Номінальний струм навантаження: 10 А
- Комутована напруга: 250VAC, 30VDC

Розміри: 43 x 20 x 18 мм

Робоча напруга в 5 вольт дозволяє вільно підключати модуль до Arduino, а керований перемикач, що за сигналом Arduino перемикає середній контакт між двома крайніми розмикає або замикає ланцюг. Для підключення до Arduino використовуються 3 контакти: два контакти живлення (5В та Gnd) та контакт управління, який підключається до цифрового виводу на платі. На самому реле з іншої сторони є ще три контакти, але для підключення навантаження використовуються два з них, а інший залишається вільним (всередині реле пов'язаний із заземленням). Тому у разі увімкненого реле відбувається замикання контактів COM (загальний) та NC (нормально замкнений) і споживач вмикається, а вимкненого реле замикаються інші контакти – COM (загальний) та NO (нормально розімкнений).

До мінусів даного типу реле можна віднести велике споживання струму та малу живучість у разі великих навантажень.

Реалізація частини проекту на Arduino. Вмикання активує процес ініціалізації. Після її завершення – датчик температури та вологості (DHT11) збирає дані у навколишньому середовищі та відправляє їх до плати Arduino UNO, де відбувається обробка отриманої інформації та подальше відправлення її через Bluetooth модуль на Android додаток. Також приймається рішення, щодо встановлення потрібних значень сигналів на піни, що керують робочими елементами (нагрівач та кулер). Відповідно до отриманих сигналів робочі елементи перемикаються між їх робочим та неробочим станом. Ці вказівки можуть бути відредаговані користувачем через Android додаток та після чого відправлені через Bluetooth до плати Arduino UNO. Поточні покази температури та вологості також відображаються на LCD дисплеї (Рисунок 5).

Для релейного управління найпростіший алгоритм передбачає лише два стана («увімкнено» та «вимкнено»):

```
if (temp < 24.0) digitalWrite(Pin_rele, 1);
else digitalWrite(Pin_rele, 0);
```

Цей код просто включає реле, коли умовна температура нижче 24 градусів, і вимикає, коли вона вища. Якщо викликати цей код без затримки або таймера, то можна отримати ефект «брязкоту» в момент увімкнення та вимкнення реле, оскільки шуми вимірювань постійно змінюватимуть результат умови. Тобто значення треба буде фільтрувати, щоб збільшити стабільність системи.

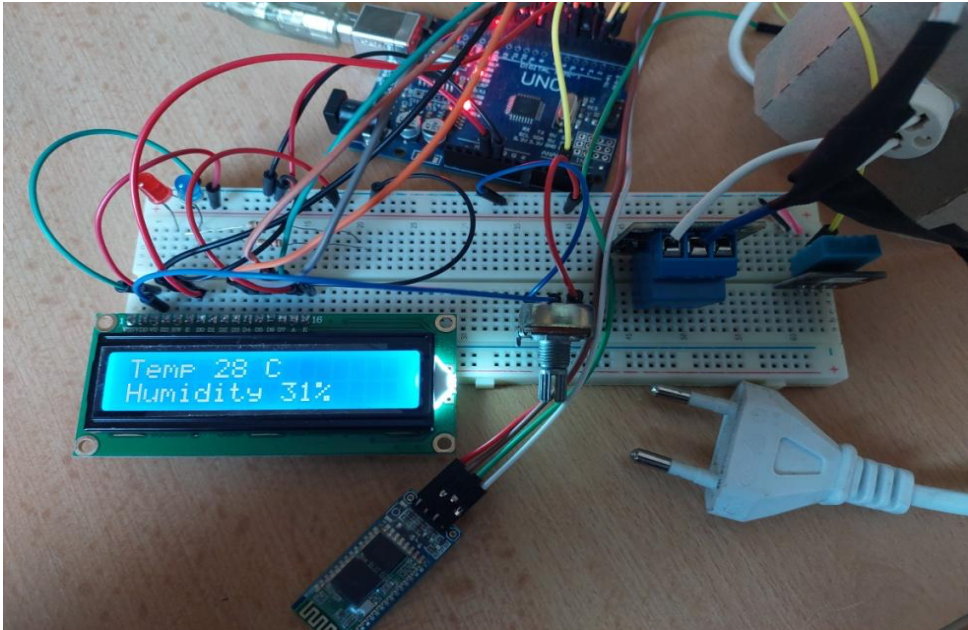


Рисунок 5. Апаратна частина пристрою у зборі

Найпростішим способом створення нормального релейного регулятора є період роботи регулятора. Його можна реалізувати як затримкою, так і таймером. Інший спосіб – гістерезис (Рисунок 6), що дозволяє ще більше зменшити кількість перемикань реле і навіть позбутися опитування по таймеру, що підвищує реакцію системи на зміни, зберігши при цьому хорошу стійкість до перешкод.

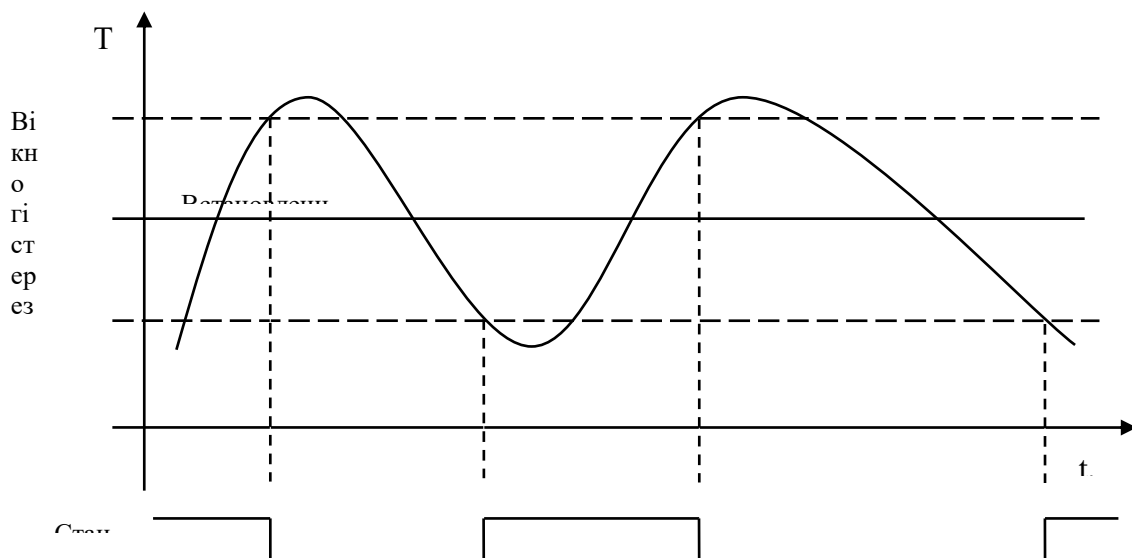


Рисунок 6. Встановлення реле

Гістерезис поділяє «встановлення» на два (трохи менше і трохи більше), що утворюють розмір вікна гістерезису, або значення гістерезису (Δ). Зазвичай значення гістерезису

температури встановлюється в діапазоні від плюс 3 °С до плюс 5 °С. (Yevseienko, & Kachanov, 2022). Логіка роботи полягає в тому, щоб утворити область, всередині якої система рухається за інерцією від останнього перемикання і переходить в новий стан тільки при виході з цієї області (включати реле на нагрівання нижче нижньої лінії, і вимикати тільки вище верхньої). Але слід врахувати і те, що додавання гістерезису зменшує не тільки кількість перемикань реле, а й точність. У коді гістерезис можна реалізувати, наприклад, таким чином:

```
#define PIN_rele 2
float controlPoint = 24.0; // встановлення
float hyster = 2; // ширина вікна гістерезису
// .....
static bool releState = false;
if (temp < (controlPoint - hyster)) releState = true;
else if (temp > (controlPoint + hyster)) releState = false;
digitalWrite(PIN_rele, releState);
```

Реалізація візуальної складової на Android. Розглянемо розділ з елементами розташованими на екрані – “*Component Tree*” (Рисунок 2). Можна бачити перелік наступних компонентів:

1. *RelativeLayout* – це простір для майбутнього головного меню, макет, в якому можна порядкувати представлення/віджети у відповідності з положенням інших представ/віджетів. Вона не залежить від горизонтального та вертикального представлення, і це можна упорядкувати за поглядом розробника.

2. *Button* – це інтерфейсний компонент, кнопка, який надає користувачеві можливість виконати певну дію, коли він взаємодіє з ним методом натискання, що призводить до запуску закладеної функції.

DiscoverButton – цей елемент керування являє собою кнопку, що виконує функцію оновлення списку існуючих пристроїв для підключення по *Bluetooth* поблизу компонент *DeviceListView*.

3. *ListView* – це частина інтерфейсу, яка дозволяє відображати перелік елементів на екрані пристрою. Ці елементи можуть бути текстовими рядками, зображеннями та іншими видами контенту. Користувач може прокручувати цей список вгору та вниз, щоб переглянути всі елементи. Цей компонент дозволяє створювати динамічні списки, які можуть бути заповнені даними з масиву чи бази даних. Крім того, ви можете налаштувати зовнішній вигляд кожного елемента списку, щоб зробити його зручним та привабливим для користувача.

DeviceListView – цей компонент є динамічним списком, що надає інформацію про пристрої *Bluetooth*, до яких можна з'єднатися. Список оновлюється за допомогою *DiscoverButton*.

4. *TextView* – це компонент інтерфейсу, який відображає текст на екрані пристрою. Він розміщується на просторі та відіграє роль текстового покажчика.

TemperatureTextView – відображає температуру у поточному часі.

HumidityTextView – відображає вологість у поточному часі.

TextView1 – відіграє роль вказівника мінімальної температури.

TextView2 – відіграє роль вказівника максимальної температури.

5. *ConstraintLayout* – це спосіб організації елементів інтерфейсу у додатку, який дозволяє створювати гнучкі та адаптивні макети. Він використовує обмеження (*constraints*) для визначення положення та розміру кожного елемента щодо інших елементів на екрані. Це дозволяє легко створювати макети, які можуть адаптуватися до різних розмірів екранів та орієнтацій пристроїв. Цей компонент забезпечує гнучкість і зручність у проектуванні інтерфейсів для додатків. У разі він грає роль масштабування графіків.

6. *GuideLine* – це елемент макету, який використовується в *ConstraintLayout* для керування розташуванням інших елементів. Він є невидимою лінією, яку можна розмістити на екрані і прив'язати до певного положення або елемента. Виконує роль створення межі між компонентами.

7. *MPAndroidChart* - це частина інтерфейсу користувача, яка використовується для вбудовування графіків і діаграм, створених за допомогою бібліотеки *MPAndroidChart*. Цей компонент дозволяє відображати графіки та діаграми прямо на екрані пристрою, забезпечуючи візуалізацію даних для користувача.

TemperatureChart – відображає графік температури у поточному часі.

HumidityChart – відображає графік вологості у поточному часі.

8. *SeekBar* – це елемент інтерфейсу користувача, який являє собою повзунок, який користувач може перетягувати вздовж горизонтальної осі. *SeekBar* зазвичай використовується для вибору числових значень у заданому діапазоні, таких як гучність, яскравість, час і т. д. Користувач може перетягувати повзунок вліво або вправо для зміни значення, яке можна використовувати в додатку.

SeekBar – встановлює мінімальне значення температури.

SeekBar2 – встановлює максимальне значення температури.

При створенні програми були також використані сторонні бібліотеки, які не є стандартною версією середовища програмування. Йдеться про *MPAndroidChart* – це бібліотека, яка дозволяє створювати красиві та інтерактивні графіки та діаграми у додатках. Вона надає різні типи графіків, такі як лінійні, кругові, стовпчасті та інші, а також можливості налаштування їхнього зовнішнього вигляду, кольорів, масштабування та інтерактивності. Завдяки цій бібліотеці можна візуалізувати дані програми так, щоб користувачі могли легко зрозуміти та аналізувати інформацію.

Крім можливостей, присутніх IntelliJ IDEA, в Android Studio реалізовано кілька функцій, таких як нова уніфікована підсистема складання, тестування і розгортання застосунків, заснована на інструментарії Gradle і підтримуюча використання засобів без перервної інтеграції (Kozub H, Kozub Yu., Mohylnyi, & Zhukov, 2021).

Взаємодія з бібліотеками відбувається через систему *Gradle* - це інструмент автоматизації збирання та управління залежностями у проєктах. Він дозволяє керувати процесом складання проєкту, включаючи компіляцію, тестування, пакування та розгортання. *Gradle* використовує декларативний DSL (Domain-Specific Language) для опису складальних скриптів. Він також забезпечує зручне управління проєктами та їх залежностями. Коли додається стороння бібліотека до проєкту через *Gradle*, потрібно вказати її ім'я та версію у файлі сценарію складання проєкту, який називається "build.gradle". *Gradle* потім завантажує цю бібліотеку з центрального сховища, що називається репозиторієм, і додає її до вашого проєкту. Це відбувається автоматично, коли запускається процес складання проєкту або синхронізації *Gradle* у середовищі розробки. Після цього можна використовувати функціонал цієї бібліотеки у проєкті, викликаючи її методи та класи у коді.

Алгоритм роботи Android додатку. Переходячи до розробки додатку потрібно звернути увагу на його алгоритм розробки, послідовність в якій будуть додаватися елементи та встановлення їх взаємодії між собою. Першим елементом буде *RelativeLayout* – фундамент, що представляє собою простір для майбутнього розміщення компонентів. Перед тим, як розміщувати елементи для майбутньої програми, потрібно написати код, що включає надання дозволу додатку для взаємодії з *Bluetooth*, це викликано тим, що з метою безпеки дані дозволи не надаються за замовчуванням, що вимагає створення певного класу, в якому будуть прописані дані дозволу, що включають такі процеси взаємодії як перевірку на присутність *Bluetooth* на смартфоні та його статус, пошук девайсів, підключення, обробка, отримання і відправлення даних. Після чого вже посилатися на даний клас при написанні коду взаємодії елементів, пов'язаних з необхідністю використовувати дані функції.

Так само, перед роботою програми потрібно написати код, який буде проводити перевірку *Bluetooth* на його статус (on/off), і якщо на пристрої він вимкнений, то на екрані користувача з'явилось повідомлення з пропозицією включити *Bluetooth*, якраз тут вже знадобився клас дозволу згаданий вище.

Далі вже йде розміщення об'єктів у просторі. Першими компонентами в цьому будуть *DeviceListView*, який надаватиме користувачеві доступні поблизу пристрою *Bluetooth*,

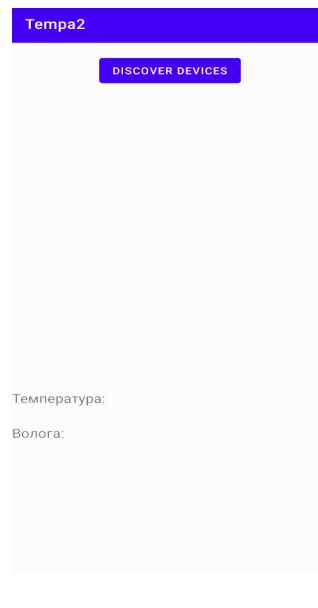
показуючи, зручний для взаємодії список, а за ним - компонент *DiscoverButton*, кнопку, яка оновлюватиме цей список.

Наступними компонентами будуть виступати *TemperatureTextView* та *HumidityTextView*, які, отримуючи дані *Bluetooth* з пристрою автоматичної теплиці, відобразять інформацію про температуру та вологість на поточний момент.

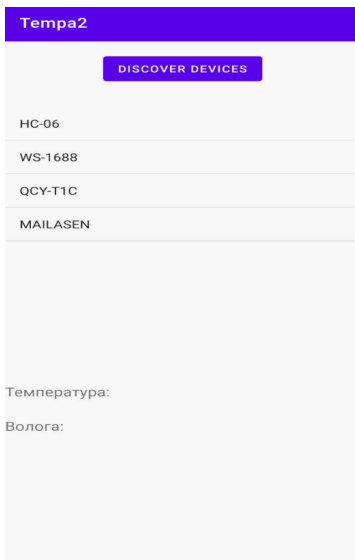
Після цього йде розміщення *ConstraintLayout*, блоку, всередині яких будуть розташовані графіки зміни параметрів з плином часу, а саме *TemperatureChart* – для температури і *HumidityChart* – для вологості, а також *GuideLine* для запобігання накладенню один на одного двох попередніх компонентів.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 7. Етапи роботи з Android додатком

Останніми компонентами будуть *SeekBar*, один з яких відповідає за задану мінімальну температуру, а інший – за максимальну, який із повзунків за що відповідає буде вказувати компоненти *TextView*, що над ними (*Min* і *Max*).

При відкритті програми, якщо на пристрої не запущено *Bluetooth*, з'явиться повідомлення з пропозицією увімкнути цю функцію на смартфоні (Рисунок 7а). Після згоди – перед

користувачем з'являється головне меню програми, де розташований один компонент – це кнопка оновлення пошуку пристроїв (Рисунок 7б). Після натискання на неї з'являється список з наявними поблизу пристроїв з увімкненим *Bluetooth* адаптером (Рисунок 7в). При виборі потрібного, а саме теплиці, за натисканням відбудеться підключення до пристрою, що супроводжується сірим підсвічуванням вибраного пристрою в процесі з'єднання. Після успішного встановлення з'єднання, на екрані смартфона через компонент *TextView* відобразяться дані про температуру і вологість (Рисунок 7г).

Динаміку зміни температури та вологості всередині приміщення в поточному часі демонструють графіки в нижній частині екрана. (Рисунок 8).

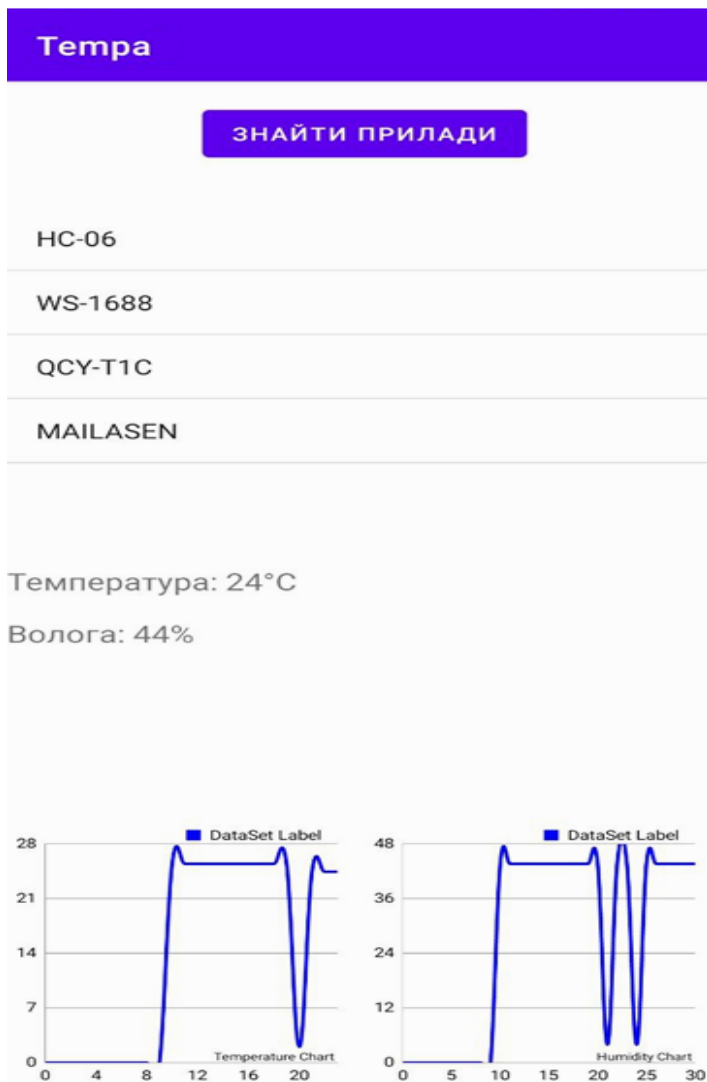


Рисунок 8. Графік зміни температури та вологості

Висновки (Conclusions)

Результатом виконання роботи є працездатний пристрій на базі плати Arduino Uno, програмне забезпечення до нього та мобільний Android - додаток. Ці компоненти взаємодіють між собою: здійснюють обмін даними та обробляють їх для подальшого відправлення певних команд робочим елементам в автоматичному режимі.

Для реалізації задачі та створення взаємодії між платформами було використано Bluetooth - зв'язок за допомогою модуля HC-06 та інтегрованого модуля у смартфоні користувача. Також для створення самого пристрою знадобилися плата Arduino Uno, датчик

вологи та температури DHT11 для збирання даних, LCD дисплей для виведення інформації, вентилятор для охолодження, та нагрівач.

Було створено пристрій, який можна інтегрувати у приміщення невеликого об'єму, що дозволяє регулювати внутрішню температуру та вологість за потреби користувача.

Також одним з результатів стала розробка мобільного додатку на платформі Android за допомогою Android studio. Додаток дозволяє виводити на екрані мобільного пристрою користувача інформацію про поточні покази сенсорів, та змінювати параметри за потреби в ручному режимі.

Для розробки комплексу були обрані платформи Arduino IDE та Android Studio. У першому створюється програмне забезпечення до плати Arduino, а в другому – додаток Android. Детально описаний алгоритм розробки, дії приладу на базі Arduino та мобільного Android - додатку. Принцип взаємодії обох платформ подано в опису таблиці, що демонструє основи, які дозволяють працювати як приладу, так і додатку завдяки Bluetooth - модулю.

Продемонстровано принцип роботи Android - додатка, його вигляд: інтерфейс та його компоненти.

Таким чином, система за типом - розумна теплиця. підтримує оптимальні параметри в приміщенні за можливість в будь-якій час дистанційно відстежувати покази сенсорів та коригувати граничні рівні температури та вологості.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, М.Д.; методика, Х.М., М.С., та П.І.; програмне забезпечення П.І.; перевірка, М.С. та М.Д.; аналітичні дані, М.С. та П.І.; візуалізація, П.І.; нагляд, Х.В.; адміністрація проекту, М.Д.. Усі автори прочитали та погодились з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

Arduino <https://www.arduino.cc/>

Baranov, V.V & Bielikov, K.O. (2021). Porivnialnyi analiz system avtomatychnoho rehulivannia temperatury. *Innovatsii molodi v mashynobuduvanni*. 253-258. <https://doi.org/10.20535/2708-3926.2021.3.231646>

Bilous, O. (2017). Avtomatyzovani systemy upravlinnia klimatom teplytsi. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*, 5(1), 40–43. <https://doi.org/10.32919/10.32919/uesit.2017.01.40-43>

Bluetooth Tutorial Tutorial-Reports.com. <http://www.tutorial-reports.com/wireless/bluetooth/tutorial.php>

Bluetooth® Technology Website. <https://www.bluetooth.com/>

Different Types of Wireless Communication Technologies. <https://www.watelectronics.com/different-types-of-wireless-communication-technologies/>

Hadetska, S., Dubnytskyi, V., Kushneruk, Yu., Filatova, L., & Khodyriev, O. (2021). *Heometrychni kharakterystyky s-podibnykh (lohistychnykh) kryvykh, shcho zastosovuiutsia pry modeliuvanni yavyshcha histerezysu. Systemy obrobky informatsii*, (2(165), 14-27. <https://doi.org/10.30748/soi.2021.165.02>

- HC 06 Bluetooth module pinout, features & datasheet. <https://components101.com/wireless/hc-06-bluetooth-module-pinout-datasheet>
- Ichanska, N., & Ulko, S. (2020). Main aspects of creating mobile applications and selecting the instruments for their development. *Control, Navigation and Communication Systems. Academic Journal*, 1(59), 74-78. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.1.074>
- Kozub H. O., Kozub Yu. H., Mohylnyi H. A., & Zhukov A. V. (2021). Clean architecture mobile android supplement with strained principles. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University No. 5 (269)*, 5-10. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-5-10>
- Krasnorutskyi, A., Zhuk, V., Kazmirov, I., & Martyniuk, A. (2022). Development of a mobile app for troubleshooting and troubleshooting of onboard VHF command radio stations. *Systems of Arms and Military Equipment*, 1 (69), 17-25. <https://doi.org/10.30748/soivt.2022.69.02>
- Kryvonos, O. M., Kuzmenko, Y. V., & Kuzmenko, S. V. (2016). Survey and prospects of arduino nano 3.0 platform use in high school. *Information Technologies and Learning Tools*, 56(6), 77-87. <https://doi.org/10.33407/itlt.v56i6.1506>
- Lubko, D., & Lytvyn, Y. (2017). Methodology of Arduino designing as a Web-client and Web-server with the use of the DHT11 sensor and their comparative characteristics, *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series: New Solutions in Modern Technologies*, (32(1254)), 62–67. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.32.10>
- Medvediev, D., Khotskina, V., Khodukin, M., Dashko, A., & Kravchuk, M. (2023). Development of an Android application for controlling the device on Arduino. (2023). *Scientific and practical journal «Economics and Technical Engineering»*, 1(2), 98-114. <https://ete.org.ua/index.php/journal/article/view/91>
- Samoilenko M.Yu. (2020). Principles of application of the internet of things technology in the modern world of technical devices. *«Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky University»*, series «Technical Sciences» Volume 31 (70). № 6, Part 1, 2020 142-148. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/24>
- Yevseienko, O.M., & Kachanov P.O. (2022). Shopping mall premises scada-microclimate control system development. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 3 (309), 168-176. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-309-3>



Founders: State University of Economics and Technology

ISSN: 3041-1246

E-mail: ete@duet.edu.ua Journal homepage: <https://ete.org.ua>

JEL: C01, C15, C2

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.08

A method for reducing current ripples in traction motors for contact electric locomotives with pulse width modulation


Citation:

Pyrozhenko, A., Modlo Ye., Shupov, V., Zhukov, M. & Shaida, R. (2024). A method for reducing current ripples in traction motors for contact electric locomotives with pulse width modulation. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 93–106. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.08>

Andrii Pyrozhenko

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: a.v.pirozhenko@gmail.com

 *ORCID ID: 0000-0001-8148-4956*

Yevhenii Modlo

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: modlo_yo@duet.edu.ua

 *ORCID ID: 0000-0003-2037-1557*

Vitalii Shupov

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: shupov@gmail.com

 *ORCID ID: 0000-0003-4197-7603*

Mykola Zhukov

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: krogzhuns@gmail.com

 *ORCID ID: 0000-0003-4308-0218*

Ruslan Shaida

Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: aumpekmi.nmetau@gmail.com

 *ORCID ID: 0000-0002-7942-9592*

Abstract: Disadvantages that occur when powering the traction motors of mine contact electric locomotives from a pulse width converter (PWC) due to significant current pulsations are given: significant current and moment pulsations and skidding of the wheel pairs of the electric locomotive in the mode of displacement.

An analysis of known methods of reducing current pulsations of traction motors, such as the use of reactors in the armature circuit of motors, increasing the frequency of the pulse converter, determined their insufficient efficiency. On the basis of the conducted analysis, a number of shortcomings of known methods of reducing current pulsations and their non-compliance with existing requirements were revealed. Thus, the use of reactor engines connected in series in the armature circuit leads to significant power losses in them. Increasing the frequency of the pulse-width converter requires an individual selection of the optimal frequency value for each type of electric locomotive and in any case leads to an increase in switching losses in the converter, which in turn leads to a decrease in the quality of electrical energy.

The proposed method of separate power supply of the traction motors of the two-engine drive of the mine electric locomotive from two PWC instead of the existing parallel one. Comparative studies of the proposed method of separate power supply of traction motors with a time shift in the operation of pulse width converters for half the period of the operating frequency with the applied parallel connection were conducted. On the basis of the conducted research, the effectiveness of the proposed method has been proven.

It is shown that the maximum value of traction current ripples occurs at a duty cycle of 0.5 and at a frequency of 300 Hz does not exceed 10%, and taking into account the shift in time in the operation of converters for half the period of their operating frequency, traction current ripples at the indicated frequency will not exceed 5% .

Received: 12/03/2024

Accepted: 10/04/2024




Keywords: traction motor, pulse width converter, separate power supply, harmonic current components.

A method for reducing current ripples in traction motors for contact electric locomotives with pulse width modulation

Andrii Pyrozhenko

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: a.v.pirozhenko@gmail.com

 ORCID ID: 0000-0001-8148-4956

Yevhenii Modlo

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: modlo_yo@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0003-2037-1557

Vitalii Shupov

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: shupov@gmail.com

 ORCID ID: 0000-0003-4197-7603

Mykola Zhukov

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: krogzhuns@gmail.com

 ORCID ID: 0000-0003-4308-0218

Ruslan Shaida

Assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: aumpekmi.nmetau@gmail.com

 ORCID ID: 0000-0002-7942-9592

Abstract: Disadvantages that occur when powering the traction motors of mine contact electric locomotives from a pulse width converter (PWC) due to significant current pulsations are given: significant current and moment pulsations and skidding of the wheel pairs of the electric locomotive in the mode of displacement. An analysis of known methods of reducing current pulsations of traction motors, such as the use of reactors in the armature circuit of motors, increasing the frequency of the pulse converter, determined their insufficient efficiency. On the basis of the conducted analysis, a number of shortcomings of known methods of reducing current pulsations and their non-compliance with existing requirements were revealed. Thus, the use of reactor engines connected in series in the armature circuit leads to significant power losses in them. Increasing the frequency of the pulse-width converter requires an individual selection of the optimal frequency value for each type of electric locomotive and in any case leads to an increase in switching losses in the converter, which in turn leads to a decrease in the quality of electrical energy. The proposed method of separate power supply of the traction motors of the two-engine drive of the mine electric locomotive from two PWC instead of the existing parallel one. Comparative studies of the proposed method of separate power supply of traction motors with a time shift in the operation of pulse width converters for half the period of the operating frequency with the applied parallel connection were conducted. On the basis of the conducted research, the effectiveness of the proposed method has been proven. It is shown that the maximum value of traction current ripples occurs at a duty cycle of 0.5 and at a frequency of 300 Hz does not exceed 10%, and taking into account the shift in time in the operation of converters for half the period of their operating frequency, traction current ripples at the indicated frequency will not exceed 5%.


Keywords: traction motor, pulse width converter, separate power supply, harmonic current components.

Метод зниження пульсацій струму тягових двигунів шахтних контактних електровозів з широтно-імпульсним регулюванням

Андрій Пироженко

к.т.н., доцент, Державний Університет економіки і технологій, Україна


e-mail: a.v.pirozhenko@gmail.com

 ORCID ID: 0000-0001-8148-4956

Євгеній Модло

к.п.н., доцент, Державний Університет економіки і технологій, Україна


e-mail: modlo_yo@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0003-2037-1557

Віталій Шупов

к.т.н., доцент, Державний Університет економіки і технологій, Україна


e-mail: shupov@gmail.com

 ORCID ID: 0000-0003-4197-7603

Микола Жуков

к.т.н., доцент, Державний Університет економіки і технологій, Україна

e-mail: krogzhuns@gmail.com

 ORCID ID: 0000-0003-4308-0218

Руслан Шайда

асистент, Державний Університет економіки і технологій, Україна

e-mail: aumpekmi.nmetau@gmail.com

 ORCID ID: 0000-0002-7942-9592

Анотація: Наведені недоліки, що мають місце під час живлення тягових двигунів шахтних контакт-них електровозів від широтно-імпульсного перетворювача (ШПП) через значні пульсації струму: значні пульсації струму та моменту та буксування колісних пар електровозу в режимі його зрушення з місця. Проведений аналіз відомих методів зниження пульсацій струму тягових двигунів, як то застосування реакторів в якірному колі двигунів, підвищення частоти імпульсного перетворювача визначила їх недостатню ефективність. На підставі проведеного аналізу виявлений ряд недоліків відомих методів зниження пульсацій струму та їх невідповідності існуючим вимогам. Так, застосування послідовно ввімкнених в якірне коло двигунів реакторів призводить до значних втрат потужності в них. Підвищення частоти широтно-імпульсного перетворювача потребує індивідуального вибору оптимального значення частоти для кожного типу електровозу і в будь якому разі веде до збільшення комутаційних втрат в перетворювачі, що в свою чергу веде до зниження якості електричної енергії. Запропонований метод роздільного живлення тягових двигунів дводвигунного приводу шахтного електровозу від двох ШПП замість існуючого паралельного. Проведені порівняльні дослідження запропонованого методу роздільного живлення тягових двигунів зі зсувом за часом у роботі широтно-імпульсних перетворювачів на половину періоду робочої частоти з застосуванням паралельним з'єднанням. На підставі проведених

досліджень доведена ефективність запропонованого методу. Показано що максимальне значення пульсацій тягового струму має місце при скважності 0,5 і при частоті ШПП 300 Гц не перевищує 10%, а з урахуванням здвигу у часі в роботі перетворювачів на половину періоду їх робочої частоти пульсації тягового струму на вказаній частоті не перевищать 5%.

Ключові слова: тяговий двигун, широтно – імпульсний перетворювач, роздільне живлення, гармонійні складові струму.

Вступ (Introduction)

Живлення тягових двигунів шахтних контактних електровозів від широтно-імпульсного перетворювача викликають значні пульсації струму та моменту, що, в свою чергу, призводить до буксування колісних пар електровозу в режимі його зрушення з місця та недовикористання його щепної маси (Sinchuk O.M., Chumak V.V., Yerzhov O.V., 1988, Debilyi V.L. Suchasni, 2002). Крім того, пульсації струму створюють у двигуні додаткові втрати від змінної складової струму та погіршують умови комутації на колекторі (Sinchuk O.M., et al, 2006, Zakharchenko D. D., Rotanov N. A. Tiahovi, 1991). Окрім цього, якість електричної енергії була і залишається важливою та часто досліджуваною проблемою в системах електричної тяги. Наприклад обмеження щодо гармонійного забруднення передбачена у стандарті IEEE-519-1992 (IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2014).

Для обмеження пульсацій струму у якірному колі тягових двигунів встановлюють реактори. При цьому знижуються пульсації моменту двигунів і втрати від змінної складової струму, однак втрати в реакторах знижують ККД електропривода в цілому (Pasko O.V., 2004.). Наявність реакторів веде до значного збільшення маси та об'єму електрообладнання, що створює додаткові труднощі застосування імпульсних перетворювачів (Pasko O.V. Kombinatoryka skhem tiahovoho elektropryvodu zminnoho strumu, 2004.). Інший спосіб зниження рівня пульсацій полягає у підвищенні частоти широтно-імпульсного перетворювача (Sinchuk O.M., et al, 2006). Однак, підвищення частоти ШПП веде до збільшення комутаційних втрат в перетворювачі та погіршують умови комутації на колекторі (A. V. Agunov et al, 2021). У цьому випадку необхідний індивідуальний вибір оптимальної частоти ШПП для кожного типу електровозу. Тому очевидна необхідність зменшити пульсації струму іншим шляхом – без встановлення реакторів, а саме шляхом роздільного живлення тягових двигунів дводвигунного приводу шахтного електровозу від двох ШПП замість існуючого паралельного.

Таким чином, недостатня ефективність відомих методів зниження пульсацій струму тягових двигунів шахтних контактних електровозів з широтно-імпульсним регулюванням підтверджує необхідність знаходження більш оптимальних рішень.

Результати (Results)

При широтно-імпульсному методі регулювання дводвигунного приводу шахтного електровозу можливе застосування як паралельного так і роздільного з'єднання тягових двигунів. Визначальним фактором під час вибору схеми з'єднання тягових двигунів є зниження рівня пульсацій струму і, відповідно, втрат потужності в контактній мережі та забезпечення надійної роботи електроприводу шахтного електровозу.

Під час вибору раціональної схеми з'єднання тягових двигунів шахтних електровозів необхідно враховувати, що роздільне живлення тягових двигунів від двох ШПП дає можливість зсунути силові імпульси струму одного з двох ШПП відносно іншого на певну

частину періоду робочої частоти. На рис.1 наведені діаграми зміни струму в контактній мережі під час широтно-імпульсного регулювання дводвигунного приводу шахтного електровозу К-14У (двигуни постійного струму послідовного збудження ДНТ-46/33М) для ряду значень скважності при паралельному з'єднанні та роздільному живленні тягових двигунів. При цьому для роздільного живлення двигунів силові імпульси струму зсунуті на половину періоду робочої частоти.

Значення струмів при прийнятому для обох випадків прямокутної форми імпульсів струму визначаються (виключаючи випадок для $\gamma = 0,5$ та $\gamma = 0,75$ рис.1б) наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} i_1(t) = 2I_{II} n \pi \gamma & 0 < t < \gamma T \\ i_2(t) = 0 & n \pi \gamma T < t < T \end{cases} \quad (1)$$

Гармонійні складові струму знаходяться розкладенням заданих рівнянь (1) кривих струму у тригонометричний ряд Фур'є (Korn H., Korn T., 1974.). Розкладання у ряд Фур'є може бути виконано з використанням функції Уолша (Liang T., O'Connell R.M., Holt R.G. 1997). Отримані коефіцієнти ряду Фур'є визначаються виразами:

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{\gamma T} i_1(t) dt + \int_{\gamma T}^T i_2(t) dt \right] = \frac{2}{T} \int_0^{\gamma T} I_{II} dt = 2I_{II} \gamma; \quad (2)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \left[\int_0^{\gamma T} i_1(t) \cos(n\omega_1 t) dt + \int_{\gamma T}^T i_2(t) \cos(n\omega_1 t) dt \right] = \frac{2I_{II}}{\pi n} \sin n \omega_1 \gamma T = \frac{2I_{II}}{\pi n} \sin n 2\pi \gamma; \quad (3)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \left[\int_0^{\gamma T} i_1(t) \sin(n\omega_1 t) dt + \int_{\gamma T}^T i_2(t) \sin(n\omega_1 t) dt \right] = \frac{2I_{II}}{\pi n} [1 - \cos n \omega_1 \gamma T] = \frac{2I_{II}}{\pi n} [1 - \cos 2n\pi \gamma] \quad (4)$$

Амплітуда n-ї гармонійної складової струму

$$I_{nm} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}. \quad (5)$$

Після підстановки коефіцієнтів a_n та b_n у (5) і відповідних перетворень остаточно отримаємо

$$I_{nm} = \frac{2I_{II}}{\pi n} \sin(n\pi \gamma). \quad (6)$$

Функціональний вираз для струму під час роздільного живлення двигунів (рис.1б) та $\gamma < 0,5$ аналогічний наведеному вище, однак слід враховувати, що амплітуда струму і період

його повторення зменшуються вдвічі і складуть відповідно I_{II} та $T/2$. Амплітуда n -ї гармонійної складової струму у цьому випадку визначається виразом

$$I_{nm} = \frac{I_{II}}{\pi n} \sin(2n\pi\gamma) \quad (7)$$

Під час роздільного живлення двигунів та $\gamma = 0,5$ (рис.1б) в контактній мережі відсутня змінна складова струму, а у випадку $\gamma > 0,5$ можна скористатися попередніми виразами. Дійсно, якщо вісь абсцис кривої струму підняти на величину, рівну I_{II} (рис.1б, $\gamma = 0,75$), то при цьому криві струму, що отримуємо, за характером зміни відповідають ряду попередніх. Очевидно, що в цьому випадку період повторення складає $T/2$ при скважності $\gamma = 2t_i/T$, а амплітуда гармонійних складових визначається виразом (7).

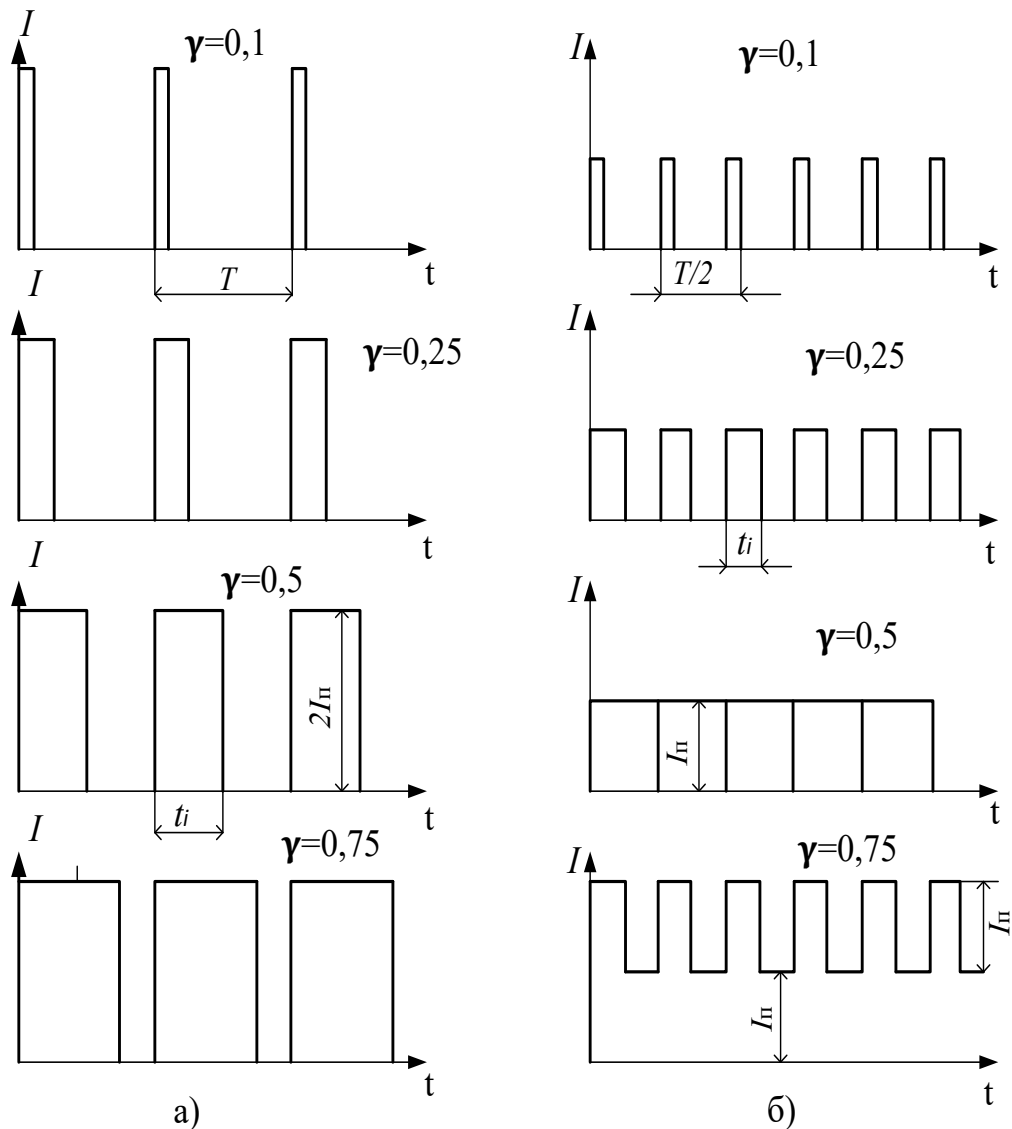


Рисунок 1. Діаграми зміни струму в контактній мережі: а) під час паралельного з'єднання двигунів електровозу; б) під час їх роздільного живлення.

На рис. 2 наведені значення амплітуд першої, другої та третьої гармонійних складових струму в залежності від скважності для паралельного з'єднання двигунів та у разі їх роздільного живлення. При цьому гармонійними складовими струму вище третього порядку можна нехтувати через їх незначні величини.

Максимальне значення амплітуд гармонійних складових струму в контактній мережі у разі роздільного живлення двигунів у два рази менше у порівнянні з максимальними значеннями їх амплітуд при паралельному з'єднанні двигунів за умови зсуву силових імпульсів струму одного з двох ШПІ відносно іншого на половину періоду робочої частоти.

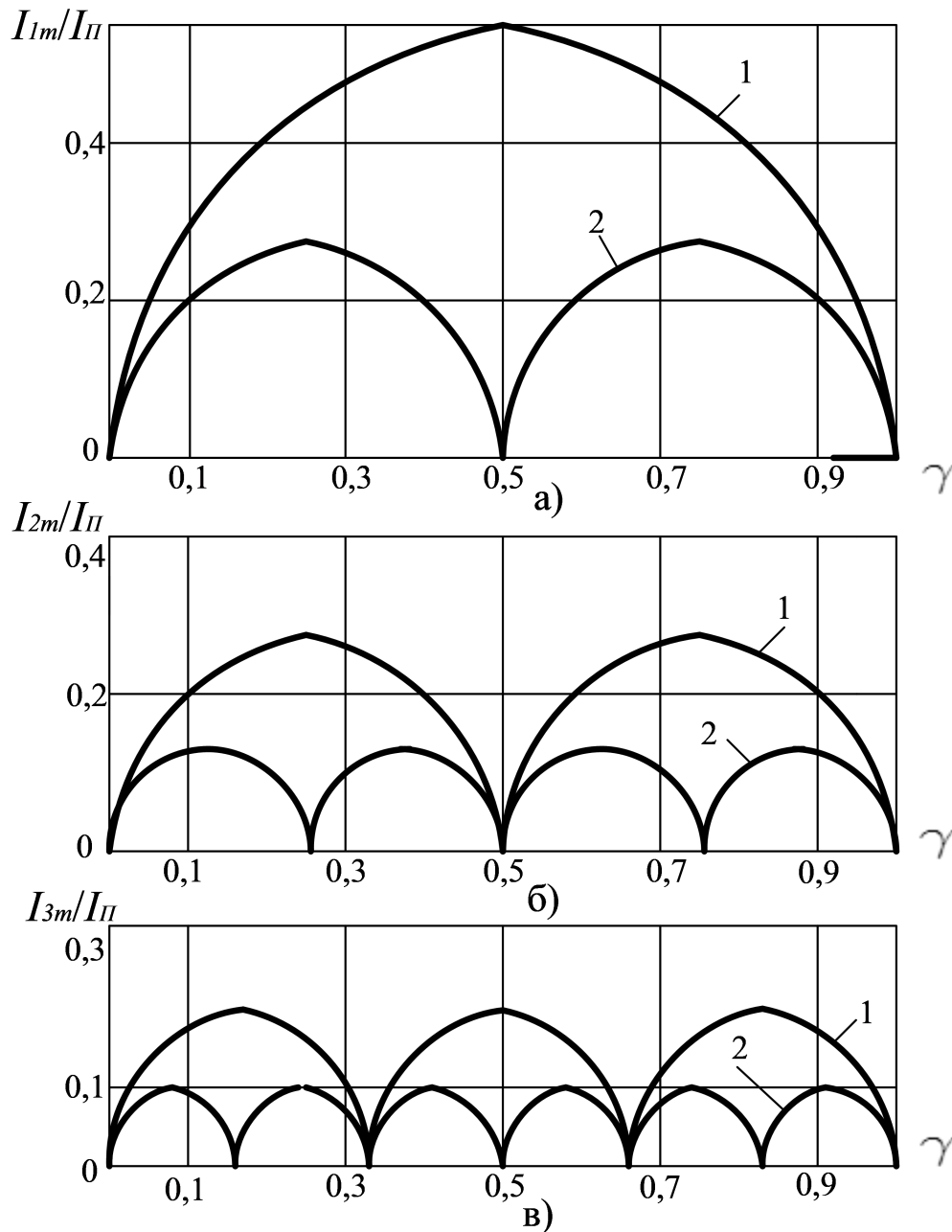


Рисунок 2. Амплітуди гармонійних складових струму в контактній мережі (під час роботи одного електровозу):
а,б,в – перша, друга та третя гармонійні складові відповідно; 1 – паралельне з'єднання двигунів; 2 – роздільне їх живлення.

Під час роздільного живлення двигунів відбувається суттєве зниження додаткових втрат потужності, характерних, в основному, для пускових струмів при широтно – імпульсному регулюванні. У разі паралельного з'єднання двигунів втрати в контактній мережі під час пуску електровозу в початковий період його рушання ($\gamma = 0,1 \dots 0,2$) приблизно у 2 рази перевищують втрати потужності у порівнянні з випрямленим постійним струмом і при протяжних контактних мережах можуть привести до необхідності застосування контактного проводу більшого перетину.

Крім того, при обґрунтуванні раціональної схеми з'єднання тягових двигунів необхідно враховувати можливість зниження рівня пульсацій результуючого тягового зусилля, які викликані пульсаціями струму під час широтно-імпульсного регулювання. При паралельній роботі двигунів під час провідного інтервалу ШПП відбувається підсумовування пульсацій обох двигунів електровозу і пульсація результуючого тягового зусилля зростає фактично в двічі.

Під час роздільного живлення двигунів зі зсувом силових імпульсів струму одного з двох ШПП відносно іншого на половину періоду робочої частоти пульсація результуючого тягового зусилля визначається як різниця пульсацій струмів окремих двигунів. Зокрема, в області максимальної пульсації кожного з двигунів ($\gamma = 0,5$) пульсація результуючого тягового зусилля при однакових параметрах двигунів з урахуванням інерції електровозу теоретично може бути відсутня взагалі.

Стосовно специфіки шахтних умов, що характеризується відносно низьким рівнем ізоляції електричних машин та електрообладнання в цілому, схема роздільного живлення двигунів при повної автономності системи широтно – імпульсний перетворювач – тяговий двигун та відсутності електричного зв'язку між двигуном і перетворювачем забезпечує значно більшу надійність роботи електровозу.

Як впливає з викладеного, роздільне живлення двигунів шахтних контактних електровозів дозволяє значно зменшити втрати потужності в контактній мережі, знизити пульсації струму при зниженні пульсацій результуючого тягового зусилля електровозу та підвищити надійність його роботи.

Однак, залишається наступне питання: якою повинна бути оптимальна робоча частота ШПП з точки зору мінімізації як пульсацій струму тягових двигунів електровозу так і комутаційних втрат в перетворювачі.

Відомі аналітичні дослідження оптимальної частоти ШПП (*Sinchuk O.M., et al, 2006*) проводились для приводу акумуляторного електровоза АМ8Д, який є основним для вугільних шахт (більше 80% від загального парку локомотивів) і має два двигуни потужністю 14 кВт кожний.

В залізничних шахтах на теперішній час основним є контактний електровоз типу К-14У, який має два двигуни постійного струму послідовного збудження потужністю 46 кВт кожний. Аналітичні дослідження оптимальної частоти ШПП для приводу електровозу К-14У здійснювались за методикою (*Sinchuk O.M., et al, 2006*).

Спрощена схема силового кола електропривода з імпульсним перетворювачем наведена на рисунку 3.

Живлення контактної мережі зображене ЕРС E_G . Двигун зображений ЕРС E_M , опором $R = R_M + R_U$ і індуктивністю $L = L_M + L_U$ якоря та обмотки збудження відповідно. Імпульсний перетворювач представлений ідеальним ключем VT (IGBT – модуль) і ідеальним нульовим діодом V_0 , час вмикання та вимикання яких, а також їх внутрішній опір дорівнює нулю.

Після вмикання VT на інтервалі його провідності під дією різності ЕРС ($E_G - E_M$) у силовому колі тече струм i_a , який визначається сумарним опором R та сумарною індуктивністю L. Після вимкнення VT струм двигуна i_0 тече через нульовий діод V_0 .

Розрахункові схеми на інтервалах провідності VT і V₀ наведені на рисунку 4.

Вихідні рівняння перехідних процесів миттєвих значень струмів контактної мережі i_α (ключа) VT та нульового діода i_0 V₀:

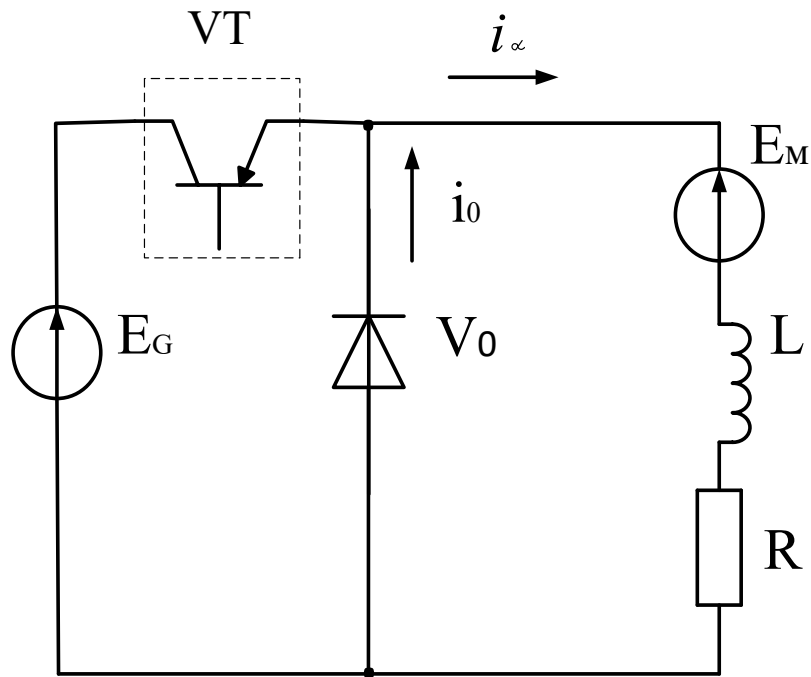


Рисунок 3. Спрощена схема силового кола електропривода електровозу К-14У з ШП

$$\begin{cases} i_\alpha = \frac{E_G - E_M}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] + i \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)_{min} \\ i_0 = -\frac{E_M}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] + i \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)_{max} \end{cases} \quad (8)$$

де: τ – постійна часу навантаження ($\tau = L/R$), с;

i_{min} , i_{max} – відповідно максимальне і мінімальне миттєві значення струму навантаження.

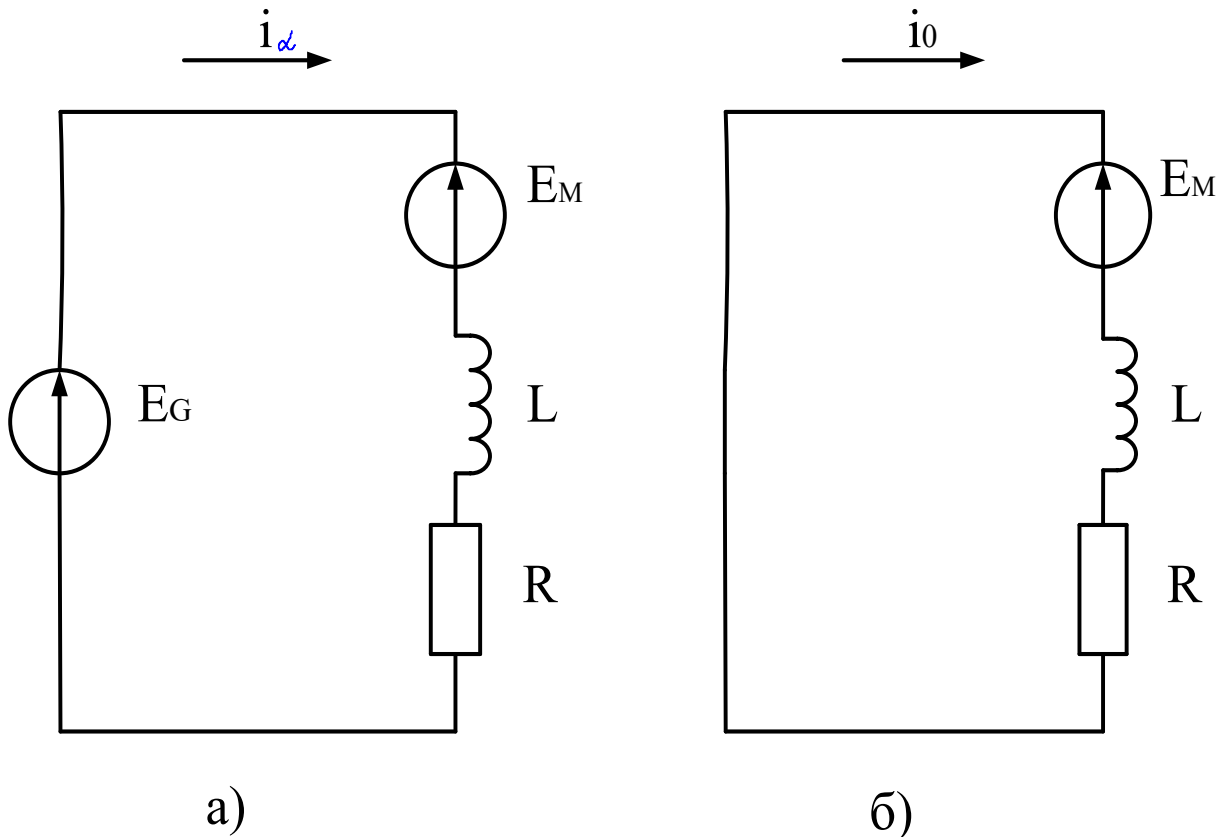


Рисунок 4. Розрахункові схеми на інтервалах t_α (а) і t_0 (б)

Граничні умови:

$$i_\alpha(t = t_\alpha)_{max} \quad i_0(t = t_0)_{min} \quad (9)$$

де: t_α – інтервал провідності ключа VT ($t_\alpha = qT$), с;
 t_0 – інтервал провідності нульового діода V_0 , $t_0 = (1 - q)T$, с.
 У свою чергу:
 q – скважність імпульсів провідності ключа VT;
 T – період ШПП, с.

Використовуюючи граничні умови (9), знаходимо:

$$i \frac{E_G}{R} \frac{1 - \exp\left(-\frac{t_\alpha}{\tau}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{T}{\tau}\right)} \frac{E_M}{R} \quad (10)$$

max

$$i \frac{E_G}{R} \frac{\exp\left(-\frac{t_0}{\tau}\right) - \exp\left(-\frac{T}{\tau}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{T}{\tau}\right)} \frac{E_M}{R} \quad (11)$$

min

$$\Delta i = i \frac{E_G}{R} \frac{1 - \exp\left(-\frac{t_\alpha}{\tau}\right) - \exp\left(-\frac{t_0}{\tau}\right) + \exp\left(-\frac{T}{\tau}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{T}{\tau}\right)} \min_{max} \quad (12)$$

Для електровозу К-14У при частоті ШПІ 300 Гц показники ступеню всіх експонент у виразі (12) менше за 0,08:

$$\frac{t_\alpha}{\tau} < 0,08; \quad \frac{t_0}{\tau} < 0,08; \quad \frac{T}{\tau} < 0,08,$$

тому цей вираз можна спростити за допомогою наближення $\exp(-x) \approx 1 - 0,9443x + 0,2734x^2$, яке дає найбільшу абсолютну похибку:

$$\Delta = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ при } 0 \leq x \leq \ln 2, 2.$$

Користуючись вище наведеним наближенням, вираз (11) прийме наступний вигляд

$$\Delta i = \frac{E_G}{R} \cdot \frac{T}{\tau} \cdot \frac{2q(1-q)}{2,435 - \frac{T}{\tau}} \quad (13)$$

Прийmemo коефіцієнт пульсацій струму тягового двигуна $K_i = 0,1$, тобто 10 %, тоді як прийнятий на сьогодні коефіцієнт пульсацій для шахтних електровозів складає 20%.

Коефіцієнт пульсацій струму двигуна:

$$k_i = \frac{\Delta i}{2I_M} = \frac{1}{q_0} \cdot \frac{T}{\tau} \cdot \frac{q(1-q)}{2,435 - \frac{T}{\tau}} \quad (14)$$

где $q_0 = \frac{RI_{Mmax}}{E_G}$ - скважність імпульсів провідності під час пуску електровозу.

З виразу (14) знаходимо

$$T = \frac{2,435q_0k_i\tau}{q_0k_i + q(1-q)} \quad (15)$$

Звідси визначаємо аналітичну залежність частоти ШПІ від параметрів тягового кола і від допустимої пульсації струму двигуна:

$$f = \frac{1}{T} = 0,411 \frac{q_0k_i + q(1-q)}{q_0k_i\tau} \quad (16)$$

Аналізуючи вираз (16), отримаємо частоту ШПІ електроприводу електровоза К-14У 278 Гц. Подальшому приймаємо $f_M = 300$ Гц в тяговому режимі.

Результати досліджень наведені у таблиці 1 та графічно представлені на рисунку 5.

Таблиця 1. Залежність коефіцієнта пульсацій струму k_i тягового двигуна від скважності ШПІ при $f = 100, 200$ і 300 Гц в тяговому режимі

Режим	Значення	Частота ШПІ, f [Гц]
-------	----------	-----------------------

	скважності q	100	200	300
Послідовне з'єднання двигунів	0,3	0,0407	0,0312	0,0275
	0,4	0,0683	0,0524	0,0411
	0,5	0,0721	0,0543	0,0439
	0,7	0,0621	0,0437	0,0363
	0,9	0,0324	0,0237	0,0174

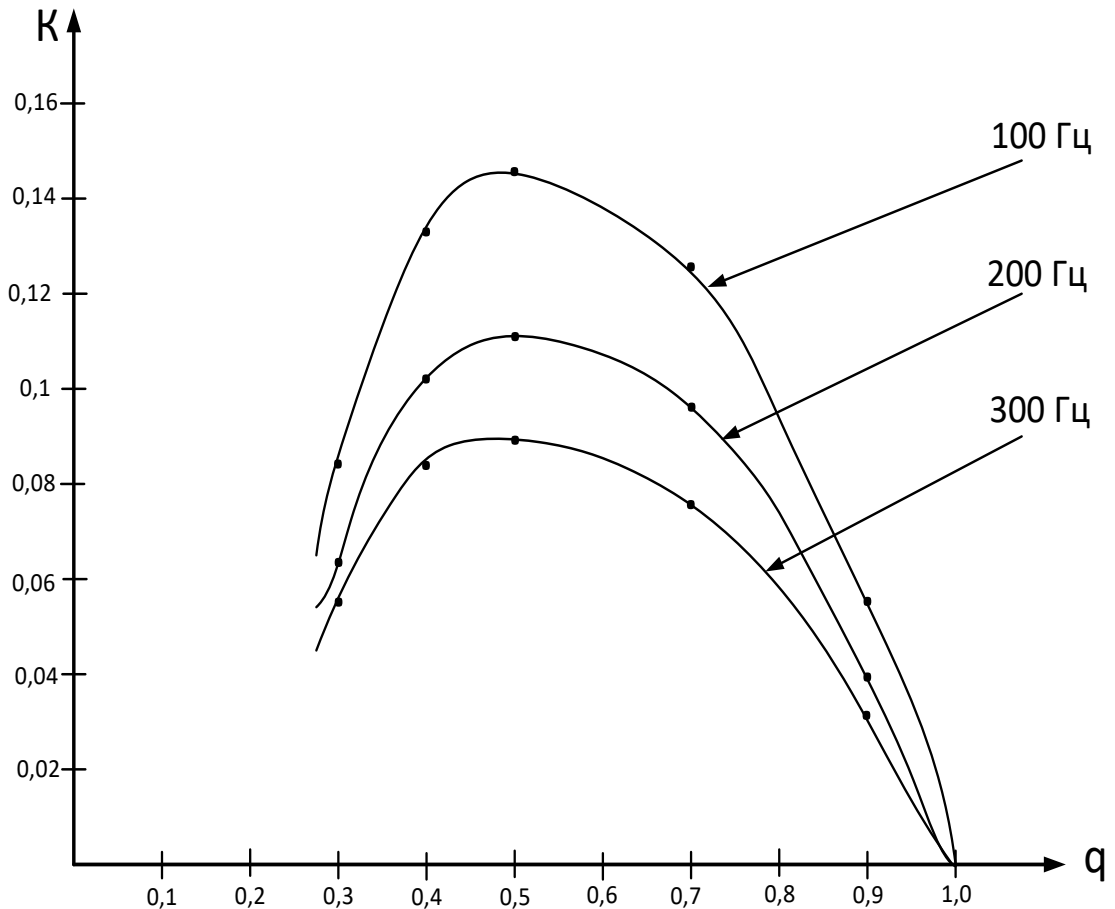


Рисунок 5. Залежність коефіцієнта пульсацій струму тягового двигуна від скважності при частотах ШП $f = 100, 200$ і 300 Гц в тяговому режимі

Як слідує з таблиці 1 та рисунку 5, максимальне значення пульсацій тягового струму має місце при скважності 0,5 і при частоті ШП 300 Гц не перевищує заданих 10%, а з урахуванням роздільного з'єднання тягових двигунів зі здвигом у часі в роботі перетворювачів на половину періоду їх робочої частоти пульсації тягового струму на вказаній частоті не перевищать 5%, що, в свою чергу, гарантує надійну роботу колектора тягових двигунів.

Висновки (Conclusions)

Доведено, що раціональною схемою з'єднання тягових двигунів дводвигунного приводу шахтного контактної електровозу є схема з їх роздільним живленням за системою широтно-імпульсний перетворювач – тяговий двигун зі зсувом за часом у роботі широтно-імпульсних перетворювачів на половину періоду робочої частоти. Таке рішення дозволяє уникнути застосування реакторів у якірному колі тягових двигунів з метою зниження пульсацій струму. Визначена оптимальна робоча частота ШПІ для електровозу К-14У з точки зору мінімізації як пульсацій струму його тягових двигунів так і комутаційних втрат в перетворювачі. Подальші дослідження доцільно направити на підвищення надійності запропонованого методу зниження пульсацій струму тягових двигунів шляхом досягнення повної автономності системи широтно-імпульсний перетворювач – тяговий двигун та відсутності електричного зв'язку між двигуном і перетворювачем, що підвищить надійність роботи системи в цілому. та і підвищення частоти широтно-імпульсного перетворювача.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування

Внесок авторів (Authors contribution)

А. П., Є. М. - аналітичні дані та аналіз. В. Ш., М. Ж. , Р. Ш. – дослідження. Усі автори прочитали та погодились з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- A V Agunov et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 2131 042094
- Debilyi V.L. Suchasni pidkholdy do modernizatsii shakhtnoho transportu // Vuhillia Ukrainy. - 2002. - №12. - S.17-18.
- IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems; IEEE Std. 519-2014 (Revision of IEEE Std. 519-1992); IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2014; pp. 1–29.
- Liang T., O'Connel R.M., Holt R.G. Inverter harmonic reduction using Walsh function harmonik eliminatson method //IEEE Transaction on power electronics, November. – 1997. – Vol.12, № 5. – P.862-866.
- Korn H., Korn T. Dovidnyk z matematyky dlia naukovtsiv ta inzheneriv (vyznachennia, teoremy, formuly). Prov. z 2-ho amerykanskooho vyd. Za red. Avramanovycha I.H. - M.6 Nauka, hol. red. FML, 1974. - 832 s.
- Pasko O.V. Kombinatoryka skhem tiahovoho elektropryvodu zminnoho strumu // Vestn.Nats. tekhn. un-tu «KhPI». Ser. Elektrotekhnika, elektronika ta elektropryvod, - 2004. - Vyp.43. - S. 121-125.
- Pasko O.V. Do pytannia maksymilizatsii diapazonu rehuliuвання ShIM napruhy ta invertora tiahovoho elektropryvodu // Tekhn. elektrodynamika. Temat. vip. "Sylova elektronika i elektrodynamika". - 2004. - Ch.1. - S.87-90.

- Zakharchenko D. D., Rotanov N. A. Tiahovi elektrychni mashyny. Pidruchnyk dlia vuziv zh.-d. transp. - M.: Transport, 1991. - 343 s.
- Sinchuk O.M., Yurchenko N.M., Chernyshov A.A., Sinchuk I.O., Udovenko O.O., Pasko O.V., Huzov E.S. Kombinatoryka peretvoriuvachiv napruhy suchasnykh tiahovykh elektroprivodiv shakhtnykh elektrovoziv; pid. red.. O.M. Synchuk. - K.: IEDNANU, 2006. - 250 s.
- Sinchuk O.M., Chumak V.V., Yerzhov O.V. Impulsni systemy upravlinnia ta zakhystu na rudnychnomu elektrovoznomu transporti. - K.: ADEF-Ukraina, 1988. - 280s.



ECONOMIC
AND TECHNICAL
ENGINEERING

Scientific and practical journal "Economics and technical engineering"

Founders: State University of Economics and Technology

ISSN: 3041-1246

E-mail: ete@duet.edu.ua Journal homepage: <https://ete.org.ua>

JEL: L610

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.09

Increasing the efficiency of the furnace depending on the operating conditions of the furnaces. Part 2. The technology of joint loading of lumpy anthracite and fluxed local specs

Citation:

Chuprynov, Y., Kassim, D., Shmeltser, K., Lykhova, I., & Renkas, O. (2024). Increasing the efficiency of the furnace depending on the operating conditions of the furnaces. Part 2. The technology of joint loading of lumpy anthracite and fluxed local specs. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 107–118. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.09>

Yevhen Chuprynov

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: chuprynov.yv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-8605-3434

Daria Kassim

Prof., DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: kassim@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-1750-1237

Kateryna Shmeltser

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: shmeltser@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-6830-8747

Iryna Liakhova

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: liakhova.ia@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-7589-8351

Olha Renkas

Student, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: renkas.olya.2002@gmail.com

 ORCID iD: 0009-0005-7890-4434

Abstract: The article analyzes the reasons for the growing research interest in the technology of loading lump anthracite of different fractions into a blast furnace to increase its efficiency. It is shown that loading blast furnaces with additional lump anthracite can be an effective way to improve the technical and economic indicators of their operation, especially on furnaces that work without the technology of pulverized fuel injection. It was noted that the traditional directions of development of iron smelting technology in blast furnaces practically mastered. At the same time, the problem of improving the quality of iron ore raw materials has not yet been fully resolved. A conclusion was made about the need for a new type of iron ore raw material, which would combine the best properties of agglomerate and pellets and would not have their negative features. A number of technologies for the production of a new type of iron ore raw material have been developed - fluxed local specs from iron ore concentrates of various degrees of enrichment, with an increased iron content compared to agglomerate and pellets and with an increased residual carbon content. A comparison of technological parameters of production and metallurgical characteristics of agglomerate, pellets and the developed unfluxed mono-raw material was made. If two technologies are combined: loading of lump anthracite into the blast furnace for partial replacement of coke and mono-raw material, namely, local specs with a high content of iron and residual carbon, then analytical estimates show that, for example, when loading into furnace No. 9 with useful volume of 5000 m³ up to 70 kg/t of lump anthracite, blowing up to 60 m³/t of natural gas and using local specs with a residual carbon of 2.85 % and an iron content of 70.45 %, it is possible to reduce coke consumption to 322.68 kg/t of cast iron and increase furnace productivity to 12733 t/day, which can be compared with the best indicators achieved in the world when blowing PCI, but without large capital costs.

Keywords: pulverized coal; anthracite; sinter; pellets; fluxed local specs; coke consumption.

Received: 12/03/2024

Accepted: 08/04/2024




JEL: L610

**Increasing the efficiency of the furnace depending on the operating conditions of the furnaces.
Part 2. The technology of joint loading of lumpy anthracite and fluxed local specs**

Yevhen Chuprynov

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: chuprynov_yv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8605-3434

Daria Kassim

Prof., DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: kassim@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-1750-1237

Kateryna Shmeltser

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: shmeltser@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-6830-8747

Iryna Lyakhova

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: liakhova_ia@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0000-0001-7589-8351

Olha Renkas

Student, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: renkas.olya.2002@gmail.com

 ORCID ID: 0009-0005-7890-4434

Abstract: The article analyzes the reasons for the growing research interest in the technology of loading lump anthracite of different fractions into a blast furnace to increase its efficiency. It is shown that loading blast furnaces with additional lump anthracite can be an effective way to improve the technical and economic indicators of their operation, especially on furnaces that work without the technology of pulverized fuel injection. It was noted that the traditional directions of development of iron smelting technology in blast furnaces practically mastered. At the same time, the problem of improving the quality of iron ore raw materials has not yet been fully resolved. A conclusion was made about the need for a new type of iron ore raw material, which would combine the best properties of agglomerate and pellets and would not have their negative features. A number of technologies for the production of a new type of iron ore raw material have been developed - fluxed local specs from iron ore concentrates of various degrees of enrichment, with an increased iron content compared to agglomerate and pellets and with an increased residual carbon content. A comparison of technological parameters of production and metallurgical characteristics of agglomerate, pellets and the developed unfluxed mono-raw material was made. If two technologies are combined: loading of lump anthracite into the blast furnace for partial replacement of coke and mono-raw material, namely, local specs with a high content of iron and residual carbon, then analytical estimates show that, for example, when loading into furnace No. 9 with useful volume of 5000 m³ up to 70 kg/t of lump anthracite, blowing up to 60 m³/t of natural gas and using local specs with a residual carbon of 2.85 % and an iron content of 70.45 %, it is possible to reduce coke consumption to 322.68 kg/t of cast iron and increase furnace productivity to 12733 t/day, which can be compared with the best indicators achieved in the world when blowing PCI, but without large capital costs.


Keywords: pulverized coal; anthracite; sinter; pellets; fluxed local specs; coke consumption

Підвищення ефективності доменної плавки в залежності від умов роботи доменних печей. Частина 2. Технологія спільного завантаження кускового антрациту і офлюсованих локальних спеків

Євген Чупринов

доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: chuprynov_yv@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-8605-3434

Дар'я Кассім

професор, д.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: kassim@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-1750-1237

Катерина Шмельцер

доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: shmeltser@duet.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0001-6830-8747

Ірина Ляхова

доцент, к. т. н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: liakhova_ia@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0000-0001-7589-8351

Ольга Ренкас

студентка, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: renkas.olya.2002@gmail.com

 ORCID ID: 0009-0005-7890-4434

Анотація: У статті проаналізовані причини зростання дослідницького інтересу щодо технології завантаження кускового антрациту різної фракції в доменну піч для підвищення ефективності її роботи. Показано, що завантаження доменних печей додатковим кусковим антрацитом може бути ефективним способом покращення техніко-економічних показників їх роботи, особливо на печах, які працюють без технології вдування пиловугільного палива. Відзначено, що традиційні напрямки розвитку технології виплавки чавуну у доменних печах практично освоєно. При цьому проблема підвищення якості залізорудної сировини повною мірою поки що не вирішена. Виконаний порівняльний аналіз традиційних видів залізорудної сировини. Розроблено низку технологій виробництва нового виду залізорудної сировини – офлюсованих локальних спеків із залізорудних концентратів різного ступеня збагачення, з підвищеним, порівняно з агломератом та окатишами, вмістом заліза та залишкового вуглецю. Виконано порівняння технологічних параметрів виробництва та металургійних характеристик агломерату, окатишів і розробленої офлюсованої моносіровини. Якщо поєднати дві технології: завантажити в доменну піч кускового антрациту для часткової заміни коксу та моносіровини – локальних спеків із підвищеним вмістом заліза та залишкового вуглецю, то аналітичні оцінки показують, що, наприклад, при завантаженні у піч №9 корисним об'ємом 5000 м³ до 70 кг/т шматкового антрациту, вдуванні до 60 м³/т природного газу та використанні локальних спеків з залишковим вуглецем 2,85 % та вмістом заліза 70,45 % можливе скорочення витрати коксу до 322,68 кг/т чавуну та збільшення продуктивності печі до 12733

т/добу, це можна порівняти з кращими показниками, досягнутими у світі при вдуванні ПВП, але без великих капітальних витрат.

Ключові слова: пиловугільне паливо; антрацит; агломерат; окатиші; офлюсовані локальні спеки; витрата коксу

Вступ (Introduction)

За останні роки спостерігається зростання дослідницького інтересу до використання антрациту різної фракції для підвищення ефективності доменної плавки, про що свідчить низка публікацій на цю тему (Yang, 2021, Li, 2022, Shen, 2016). В розрізі представленої роботи найбільший інтерес представляє технологія використання саме кускового антрациту. Завантаження доменних печей додатковим кусковим антрацитом може зменшити споживання коксу, особливо при роботі доменної печі без технології вдування пиловугільного палива, і це може бути ефективним у покращенні техніко-економічних показників роботи підприємства за певних експлуатаційних обмежень (Lyalyuk, 2017), (Ren, 2013), (Amdur., 2008). При оптимальній кількості антрациту та правильній схемі завантаження залізовмісної частини шихти покращуються властивості саморозм'якшення та плавлення шихти, відповідаючи вимогам виробництва чавуну без шкоди для продуктивності печі (Lyalyuk, 2016).

Велику роль відіграє і співвідношення паливних компонентів поза залежністю від їх фракції. Антрацит, коксовий дріб'язок та інші марки тонкоподрібненого вугілля мають різні властивості, які впливають на їхню придатність для вдування в доменну піч, причому антрацит демонструє сприятливі характеристики горіння та реакційну здатність при правильному співвідношенні у суміші з іншими паливними добавками (Jin, 2021). Щодо кускового антрациту, то збільшення його частки в паливній частині шихти впливає на процеси згорання палива та викиди в атмосферу, причому, при співвідношенні 65:35 між коксом і антрацитом спостерігаються оптимальні показники роботи доменної печі при номінальних рудних навантаженнях, а співвідношення 75:25 рекомендовано для стабільної роботи при низьких рудних навантаженнях (Shengli, 2009).

Беззаперечна ефективність технології використання кускового антрациту була доведена в першій частині представленого дослідження (Chuprynov, 2023).

Основні напрямки розвитку технології виплавки чавуну у доменних печах були визначені ще у минулому столітті. До них відносили збільшення об'єму доменних печей, підвищення температури гарячого дуття, збагачення дуття киснем, підвищення тиску газу на колошнику, вдування в піч природного та коксового газів, мазуту та пиловугільного палива, оптимізацію розподілу шихтових матеріалів на колошнику із застосуванням нових завантажувальних пристроїв, вдосконалення розподілення газового потоку в горні доменної печі, автоматизацію доменної плавки. В даний час зазначені вище основні напрямки розвитку технології виплавки чавуну у доменних печах практично освоєно.

Проблема підвищення якості залізорудної сировини повною мірою поки що не вирішена. Корінне поліпшення рудопідготовки до рівня, що відповідає вимогам сучасного доменного виробництва, є одним із найважливіших завдань, так як вирішення цієї проблеми є визначальною умовою досягнення високих технічних та економічних показників виробництва чавуну (Liu, 2015).

У цьому напрямку цікавими є не тільки останні розробки в напрямку покращення якості традиційних видів залізорудної сировини – агломерату та окатишів (Cavaliere, 2014), (Kawanari, 2011), (Kasai, 2011), але і технології виробництва і застосування нових видів підготовленої залізорудної сировини, яка б мала певні переваги над агломератом та окатишами, і в той же час не мала б їх негативних рис. Наприклад, перспективною є технологія використання залізорудних вуглецевмісних брикетів із нанорозмірними частинками Fe_2O_3 , що може значно збільшити швидкість відновлення заліза та призведе до підвищення енергоефективності в доменній печі (Koichi, 2015).

Окрім вирішення проблем раціонального вибору заміників коксу (Jianliang, 2023),

(Raygan, 2010), (van Straaten, 2019), перспективи підвищення ефективності доменної плавки значною мірою визначаються удосконаленням технологій підготовки залізородної сировини. Враховуючи вищесказане, підвищення ефективності доменних печей може бути досягнуто шляхом поєднання декількох технологічних рішень – завантаження кускового антрациту та застосування нових видів залізородної сировини.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

У процесі дослідження був проведений аналіз літератури щодо аспектів застосування технології вдування пиловугільного палива, завантаження кускового антрациту і використання альтернативних методів зменшення витрат коксу. Для співставлення ефективності різних технологій виконані розрахунки та зроблене порівняння техніко-економічних показників роботи доменних печей №6, №7 (корисним об'ємом 2000 м³) і №9 (корисним об'ємом 5000 м³) при використанні в шихті антрациту та офлюсованої моносировини – локальних спеків з підвищеним вмістом заліза та вуглецю.

Результати (Results)

На ПАТ "Арселорміттал - Кривий Ріг" планується будівництво фабрики з виробництва окатишів з метою виведення з експлуатації старих цехів з виробництва агломерату. Фабрика буде виробляти окатиші основністю 0,4-0,5 д.од. Планується використання в шихті доменної печі №9 до 70 % обпалених окатишів.

Як відомо, порівняно з агломератом, окатиші мають переваги: однорідність форми у кілька разів нижчий вміст дріб'язку, більш високий вміст заліза. Однак ці переваги окатишів реалізуються не повною мірою, що пов'язано з технологічною неможливістю виробництва окатишів необхідної основності (1,2-1,3 д.од.), при виготовленні із залізородного концентрату з вмістом SiO₂ ≥ 5 % через вузький інтервал температур їх плавлення під час термозміцнення, несприятливих особливостей їхньої поведінки в процесі завантаження в доменну піч, а також при відновленні та плавленні в доменній печі.

У процесі завантаження в піч окатиші, що мають найменший кут природного укосу з усіх кускових компонентів шихти (кокс, агломерат і багата кускова руда) і високу сипучість, менш рівномірно розподіляються на колошнику доменної печі, на відміну від агломерату, що знижує рівномірність розподілення шихти, і відповідно, газу по перерізу доменної печі. У той же час газопроникність окремо взятого шару окатишів нижче газопроникності однакового з ним шару агломерату, що пов'язано з утворенням частинками кулястої форми більш щільної упаковки. Гідравлічний опір нерухомого шару окатишів у чотири рази більший за опір такого ж шару шихти в доменній печі.

Використання в складі шихти доменних печей великої кількості залізородних окатишів досить часто призводить до розвитку периферійного ходу печі, зниження стійкості засипних апаратів, до утворення нестійкого "гарнісажу"; збільшення швидкості руйнування вогнетривкої футерівки, суттєвого зростання кількості прогарів холодильників, а також місцевим розігрівом та розривом кожухів у нижній частині шахти, розпарі та заплічниках. Періодичні руйнування "гарнісажу" спричиняють масовий вихід з експлуатації повітряних фурм і навіть амбразур.

Кут природного укосу окатишів на 8-10° менше кутів укосу агломерату і коксу. У зв'язку з тим, що окатиші мають велику текучість, при завантаженні в піч вони часом розташовуються на колошнику не там, куди їх намагаються завантажити технологи, а зосереджуються в пониженні профілю засипу. Якщо швидкість руху матеріалів вище біля стін, збільшення частки окатишів у шихті призводить до "підвантаження" периферійної частини печі, а при більшій швидкості опускання шихтових матеріалів в осьовій зоні окатиші зосереджуються в центрі. І в тому, і в іншому випадку порушуються газодинамічний, тепловий та шлаковий режими доменної плавки.

Крім того, використання в шихті неофлюсованих і низькоосновних обпалених окатишів спільно з високоосновним агломератом призводить до суттєвої нерівномірності фізичних характеристик залізородних матеріалів у високотемпературній в'язко-пластичній зоні стану матеріалів у доменній печі, викликаючи підвищення нижнього перепаду тиску і створюючи загрози нижніх підвисань. Виробляти ж обпалені окатиші з необхідними для доменної печі основністю (1,2-1,3 д.од.) і оптимальними металургійними характеристиками із залізородних концентратів із вмістом $\text{SiO}_2 \geq 5\%$ технологічно неможливо.

Все перераховане вимагає використання спеціальних прийомів завантаження окатишів, особливо при їх частці в залізородній частині шихти до 70 %, як це планується на доменній печі №9 ПАТ АМКР. Це додатково посилить периферійний потік газу з негативними наслідками, що впливають звідси, як є і без того серйозними при використанні на печі технології з вдуванням пиловугільного палива.

Свого часу після проведення на комбінаті "Криворіжсталь" низки науково-дослідних робіт Криворізьким факультетом ДМетІ та інститутом "Механобрчормет" було розроблено технологію раціонального завантаження кислих окатишів у суміші з агломератом. Ця технологія дозволила збільшити кількість окатишів у шихті доменної печі №9 до 40-50 %, але перевищення цього співвідношення, навіть за розробленою технологією, призводило до розладу ходу такої великої печі (Lyalyuk, V., 2021).

Для ефективної роботи доменної печі потрібен однорідний за хімічним складом та крупністю повністю офлюсований ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,2-1,3$ д.од. для виключення завантаження в піч вапняку), окускований (10-60 мм) залізородний матеріал з економічно доцільним високим вмістом заліза, з максимально досяжним при конкретному виробництві матеріалу вмістом залишкового вуглецю, мінімальним вмістом кремнезему та шкідливих домішок та з оптимальним вмістом корисних добавок. Такою моносировиною для доменної плавки можуть бути офлюсовані залізородні локальні спеки (рис. 1), розроблені за участі авторів цієї статті.



Рисунок 1. Офлюсовані локальні спеки

Розроблено низку технологій виробництва нового виду залізородної сировини – офлюсованих локальних спеків із залізородних концентратів різного ступеня збагачення, з підвищеним, порівняно з агломератом та окатишами, вмістом заліза та з підвищеним вмістом залишкового вуглецю. Розроблено також технологію виробництва комплексного огрудкованого залізородного матеріалу з підвищеним вмістом заліза та залишкового вуглецю – залізовмісної повністю офлюсованої моносировини для доменної плавки, що володіє

кращими металургійними властивостями, притаманними окремо агломерату та окатишам (Lyalyuk, 2021).

Сутність нової технології полягає в підготовці трьох шихт: двох з високою (вище 1500 °С) і однією з низькою (нижче 1250 °С) температурами плавлення, з яких після роздільного огрудування складається суміш для подальшої термообробки та отримання локальних спеків.

В якості високотемпературної шихти використовувалися металізовані окатиші, руди або їх суміш зі ступенем металізації 5-95 % крупністю до 0-18 мм, а також тверде паливо (антрацит) крупністю 0-18 мм, попередньо оброблене реагентом для підвищення гідрофільності його поверхні. Співвідношення між цими матеріалами підтримувалося в діапазонах 10-90 % металізованого матеріалу та 90-10 % антрациту, залежно від заданого вмісту заліза та вуглецю в готовому продукті.

На поверхню кожного з цих матеріалів накочувалась оболонка товщиною 4-8 мм з низькоосновної, високотемпературної тонкоподрібненої шихти (залізорудний концентрат, магнезійний флюс, бентоніт) до досягнення крупності сирих окатишів 8-25 мм.

Низькотемпературна шихта складалася із залізорудного концентрату, флюсу – вапняку, що забезпечує необхідну (1,2-1,3 д.од.) основність всього готового продукту (локальних спеків) та бентоніту. З цієї шихти отримували сирі окатиші крупністю 8-14 мм. Високо- і низькотемпературні сирі окатиші змішувалися при вмісті в суміші суми перших 55-88 % і других – 45-12 %, після чого піддавалися термообробці за традиційним режимом термозміцнення окатишів.

У табл. 1 наведені порівняльні технологічні параметри виробництва та металургійні характеристики, вироблених промисловістю агломератів і окатишів, а також розробленої доменної залізорудної офлюсованої моносировини. Випробування показали, що при виробництві доменної моносировини – локальних спеків на обпалювальній конвеєрній машині для термозміцнення окатишів питома продуктивність агрегату вище, ніж у виробництві агломерату та обпалених окатишів, а питомі витрати енергоресурсів нижчі.

Таблиця 1. Технологічні показники виробництва та металургійні характеристики огрудованих залізорудних матеріалів доменної плавки

Показники	Промислові огрудовані матеріали, що виробляються		Залізорудна моносировина – офлюсовані локальні спекти з підвищеним вмістом заліза та вуглецю
	Промислові офлюсовані агломерати в різних країнах	Промислові неофлюсовані та офлюсовані окатиші в різних країнах	
Питома продуктивність, т/(м ² ·год)	1,1-1,4	0,8-1,2	1,1-1,7
Питома витрата теплоти, МДж/т	1947-2452	367-840	391-728
Питома витрата електроенергії, квт·год/т	43,1-71,3	38,7-69,5	37,2-59,5
Вміст, %:			
Fe _{заг.}	51,2-64,1	61,5-65,8	63,5-75,6
FeO	9,1-15,6	1,3-5,4	7,6-15,7
SiO ₂	3,7-10,4	0,9-7,7	2,1-4,3
вуглецю	0	0	1,6-3,8
Основність (CaO/SiO ₂) готового продукту, д.од.	1,2-1,8	0,03-1,25	1,25-1,5
Вміст класів, %:			
60-100 мм	23,7-35,6	0	0
20-60 мм	34,3-55,9	0	84,5-71,8
5-20 мм	12,3-7,8	94,8-98,2	13,1-24,8
0-5 мм	20,4-8,1	5,2-1,8	2,2-3,4
Міцність на стиснення, кН/ок. (ДСТУ ISO 4700:2005)	не визначається	1,8-3,8	не визначається
Міцність в барабані, % (ДСТУ ISO 3271:2005):			
на удар (+5 мм)			
стиранність (0-0,5 мм)	57,4-93,1	92,4-97,1	95,8-96,5

	13,6-2,6	5,8-1,1	3,2-2,7
Міцність при відновленні, % (ДСТУ 3202-95):			
міцність (+5 мм)	37,8-62,2	53,5-95,8	89,9-93,2
стиранність (0-0,5 мм)	10,4-9,8	4,7-2,1	6,3-3,9
Газопроникність та усадка шару при відновленні, (ДСТУ 3205-95):			
усадка шару, %	15-18	12-67	13-19
перепад тиску, Па	68-71	108-154	60-72
Кінцевий ступінь відновлення, % (ДСТУ 3204-95)	65,1-96,0	72,8-91,4	85,3-87,4
Кут природного укосу, град.	38-41	23-32	36-42

Окислення дрібних (0-1,5 мм) частинок металізованих матеріалів і твердого палива, який знаходяться в оболонці, і не є зародками окатишів, знижувало вміст кисню в теплоносії, що дифундував всередину окатишу. Крім того, при збільшенні швидкості нагрівання та охолодження від 100 до 500-600 °C/хв в окислювальній атмосфері процесу термообробки ступінь окислення заліза металізованих матеріалів та вуглецю твердого палива всередині накатаної оболонки навіть знижувалися. Тому вміст заліза та залишкового вуглецю в готовому продукті був підвищеним. Слід зазначити, що розроблена моносировина може вироблятися в діючих цехах за основною технологією виробництва обпалених окатишів із невеликою їх реконструкцією.

Якщо поєднати дві технології: завантаження в доменну піч кускового антрациту для часткової заміни коксу та моносировини – локальних спеків із підвищеним вмістом заліза та залишкового вуглецю, то аналітичні оцінки показують, що, наприклад, при завантаженні у піч №9 корисним об'ємом 5000 м³ до 70 кг/т кускового антрациту, вдуванні до 60 м³/т природного газу та використанні локальних спеків з залишковим вуглецем 2,85 % та вмістом заліза 70,45 % можливе скорочення витрати коксу до 322,68 кг/т чавуну та збільшення продуктивності печі до 12733 т/добу, що можна порівняти з кращими показниками, досягнутими у світі при вдуванні ПУТ, але без великих капітальних витрат (табл. 2).

Таблиця 2. Розрахункові техніко-економічні показники роботи доменної печі №9 при використанні в шихті антрациту та офлюсованої моносировини – локальних спеків із підвищеним вмістом заліза та вуглецю

Показники	ДП №9			
	База	Розрах.	±К, кг/т	±П, т/добу
Продуктивність, т/добу	9826			
Приведена продуктивність, т/добу		12733		
Витрати коксу, кг/т	426,8			
Приведені витрати коксу, кг/т		322,7		
Витрати антрациту, кг/т	56	70	-12,6	
Вміст вуглецю в локальних спеках, %	0	2,85		
Кількість залишкового вуглецю в локальних спеках, кг/т	0	46,4	-37,12	
Вміст Fe у всій шихті, %	54,9	70,45	-66,4	+2597
Дуття: витрата, м ³ /хв	7812			
тиск, кПа (надл.)	337			
температура, °C	1090			
Витрати природного газу (ПГ), м ³ /т	87,1	60	+21,7	
Витратні коефіцієнти, кг/т:				
залізна руда	0	0		
агломерат АЦ №1	134,4	0		
агломерат АЦ №2	1192	0		
окатиші ПівніГЗК	300,3	0		
скрап металевий	51,3	0		
шлак збагачений	56,4	0		
вапняк	28,0	0		
локальні спеки	0	1626,7	-5,97	+137,56

Основність шлаку, д.од.	1,22			
Якість коксу, %: волога	3,73			
зола	11,2			
сірка	0,63			
M25	87,6			
M10	7,0			
+80 мм	7,9			
-25 мм	3,6			
CSR	54,9			
CRI	31,3			
Фракція -5 мм %: агломерат АЦ №1	17,96	0		
агломерат АЦ №2	4,8	0		
окатиші ПівнГЗК	3,98	0		
локальні спеки	0	3,98		
Середньозважена фракція -5 мм, %	5,73	3,98	-3,73	+171,9

Аналогічно на печі №7 корисним об'ємом 2000 м³ можливе скорочення витрати коксу до 310,8 кг/т чавуну та збільшення продуктивності печі до 4730,4 т/добу (табл. 3), а на печі №6 (тим же корисним об'ємом) можливе аналогічне скорочення витрат коксу до 317,4 кг/т чавуну та збільшення продуктивності печі до 4665,5 т/добу (табл. 4).

Таблиця 3. Розрахункові техніко-економічні показники роботи доменної печі №7 при використанні в шихті антрациту та офлюсованої моносировини – локальних спеків із підвищеним вмістом заліза та вуглецю

Показники	ДП №7			
	База	Розрах.	±К, кг/т	±П, т/добу
Продуктивність, т/добу	3570			
Наведена продуктивність, т/добу		4730,4		
Витрати коксу, кг/т	430,2			
Наведена витрата коксу, кг/т		310,8		
Витрати антрациту, кг/т	61,9	70	-7,29	
Вміст вуглецю в локальних спеках, %	0	2,85		
Кількість залишкового вуглецю в локальних спеках, кг/т	0	53,5	-42,8	
Вміст Fe у всій шихті, %	56,08	70,45	-61,8	+872,0
Дугтя: витрата, м ³ /хв	3363			
тиск, кПа (надл.)	236			
температура, °С	1028			
Витрати природного газу (ПГ), м ³ /т	72,3	60	+9,84	
Витратні коефіцієнти, кг/т:				
залізна руда	4,3	0		
агломерат АЦ №1	1560,6	0		
агломерат АЦ №2	317,0	0		
окатиші ПівнГЗК	0	0		
скрап металевий	35,8	0		
шлак збагачений	0	0		
вапняк	14,6	0		
локальні спеки	0	1877,6	-3,14	+52,1
Основність шлаку, д.од.	1,14			
Якість коксу, %: волога	4,3			
зола	11,8			
сірка	0,5			
M25	85,8			
M10	8,2			
+80 мм	7,6			
-25 мм	7,0			
CSR	54,5			
CRI	32,9			
Фракція -5 мм %: агломерат АЦ №1	11,41	0		
агломерат АЦ №2	6,92	0		

окатиші ПівнГЗК	–	0		
локальні спеки	3,98	3,98		
Середньозважена фракція -5 мм, %	10,6	3,98	-14,24	+236,3

Таблиця 4. Розрахункові техніко-економічні показники роботи доменної печі №6 при використанні в шихті антрациту та офлюсованої моносировини – локальних спіків із підвищеним вмістом заліза та вуглецю

Показники	ДП №6			
	База	Розрах.	±К, кг/т	±П, т/добу
Продуктивність, т/добу	3571			
Наведена продуктивність, т/добу		4665,5		
Витрата коксу, кг/т	426,5			
Наведені витрати коксу, кг/т		317,4		
Витрати антрациту, кг/т	58,3	70	-10,53	
Вміст вуглецю в локальних спеках, %	0	2,85		
Кількість залишкового вуглецю у локальних спеках, кг/т	0	48,4	-38,72	
Вміст Fe у всій шихті, %	56,3	70,45	-60,3	+859,0
Дуття: витрата, м ³ /хв	3001			
тиск, кПа (надл.)	226			
температура, °С	1013			
Витрати природного газу (ПГ), м ³ /т	78,5	60	+14,8	
Витратні коефіцієнти, кг/т:				
залізна руда	12,9	0		
агломерат АЦ №1	1308,3	0		
агломерат АЦ №2	390,9	0		
окатиші ПівнГЗК	0	0		
скрап металевий	37,2	0		
шлак збагачений	0	0		
вапняк	1,9	0		
локальні спеки	0	1699,2	-0,4	+3,39
Основність шлаку, д.од.	1,12			
Якість коксу, %: волога	3,9			
зола	11,8			
сірка	0,5			
M25	86,2			
M10	8,0			
+80 мм	6,9			
-25 мм	7,1			
CSR	55,4			
CRI	33,8			
Фракція -5 мм %: агломерат АЦ №1	11,5	0		
агломерат АЦ №2	7,05	0		
окатиші ПівнГЗК	–	0		
локальні спеки	3,98	3,98		
Середньозважена фракція -5 мм, %	10,48	3,98	-13,9	+232,1

Висновки (Conclusions)

У даний час технологія доменної плавки з вдуванням пиловугільного палива забезпечує у світовій практиці найвищі техніко-економічні показники роботи доменних печей, однак у зв'язку з високими капітальними вкладеннями при впровадженні технології з вдуванням ПВП вона стає економічно ефективною при мінімальній питомій витраті пиловугільного палива 200 кг/т чавуну, що технологічно важко досягти. Крім цього для її використання необхідне забезпечення плавки якісними коксом та залізородною сировиною, що також пов'язано з підвищеними витратами. Виконані дослідження показали, що технологія спільного завантаження кускового антрациту і офлюсованих локальних спіків заданої основності з залишковим вуглецем і підвищеним вмістом заліза спільно з вдуванням обмеженої кількості природного газу може конкурувати за витратою коксу з кращими результатами, досягнутими

при вдуванні пиловугільного палива, але при цьому економічні та технологічні ризики мінімальні.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, К.Д., Ч.Є. та Ш.К.; формальний аналіз, Ш.К.; методологія, Л.І. та К.Д.; візуалізація, Ч.Є. та Р.О.; оригінальна чернетка, К.Д. та Ч.Є.; перегляд і редагування, Л.І та Р.О. Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису

Література (References)

- Amdur, A., Shibanova, M., & Ental'tsev, E. (2008). Thermal-destruction products of coal in the blast-furnace gas-purification system. *Steel in Translation*, 38, 844-848. <https://doi.org/10.3103/S0967091208100136>.
- Cavaliere, P., & Perrone, A. (2014). Optimization of Blast Furnace Productivity Coupled with CO₂ Emissions Reduction. *Steel research international*, 85. <https://doi.org/10.1002/srin.201300027>.
- Chuprynov, Y., Kassim, D., Shmeltser, K., Liakhova, I., Renkas, O. (2023). Increasing the efficiency of the furnace depending on the operating conditions of the furnaces. Part 1. Technology of loading of lumped anthracite and natural gas injection. *Economics and Technical Engineering*, 1(1), 134-146. <https://ete.org.ua/index.php/journal/article/view/83>
- Jianliang, Z., Kuangdi, X. (2023). Pulverized Coal Injection of Blast Furnace Ironmaking. In: Xu, K. (eds) The ECPH Encyclopedia of Mining and Metallurgy. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0740-1_1047-1
- Jin, L., & Niu, X. (2021). Micromorphology and safety properties of meager and meager-lean coal for blast furnace injection. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28, 774 - 781. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2104-2>.
- Kasai, A., Toyota, H., Nozawa, K., & Kitayama, S. (2011). Reduction of Reducing Agent Rate in Blast Furnace Operation by Carbon Composite Iron Ore Hot Briquette. *Isij International*, 51, 1333-1335. <https://doi.org/10.2355/ISIJINTERNATIONAL.51.1333>.
- Kawanari, M., Matsumoto, A., Ashida, R., & Miura, K. (2011). Enhancement of Reduction Rate of Iron Ore by Utilizing Iron Ore/Carbon Composite Consisting of Fine Iron Ore Particles and Highly Thermoplastic Carbon Material. *Isij International*, 51, 1227-1233. <https://doi.org/10.2355/ISIJINTERNATIONAL.51.1227>.
- Koichi, T., Nouchi, T., Sato, M., & Ariyama, T. (2015). Perspective on Progressive Development of Oxygen Blast Furnace for Energy Saving. *Isij International*, 55, 1866-1875. <https://doi.org/10.2355/ISIJINTERNATIONAL.ISIJINT-2015-196>.
- Li, T., Wang, G., Zhou, H., Ning, X., & Zhang, C. (2022). Numerical Simulation Study on the Effects of Co-Injection of Pulverized Coal and Hydrochar into the Blast Furnace. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14084407>.
- Liu, X., Chen, L., Qin, X., & Sun, F. (2015). Exergy loss minimization for a blast furnace with comparative analyses for energy flows and exergy flows. *Energy*, 93, 10-19. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2015.09.008>.
- Lyalyuk, V., Tarakanov, A., Kassim, D., Listopadov, V., & Miroshnichenko, O. (2016). Technological Aspects of the Use of Lump Anthracite in Blast-Furnace Smelting. *Metallurgist*, 60, 142-149. <https://doi.org/10.1007/s11015-016-0264-0>.

- Lyalyuk, V., Tarakanov, A., Kassim, D., Otorvin, P., & Pinchuk, D. (2017). Blast-furnace operation with pulverized-coal injection and with chunk anthracite. *Steel in Translation*, 47, 469-472. <https://doi.org/10.3103/S0967091217070063>.
- Lyalyuk, V.P., Tarakanov, A.K., Chuprinov, E.V. et al. (2021). Possibility of Increasing the Efficiency of Blast Furnace Smelting Depending on the Operating Conditions of Blast Furnaces. *Steel Transl.* 51, 795–804. <https://doi.org/10.3103/S0967091221110085>
- Raygan, S., Abdizadeh, H. & Eskandari Rizi, A. (2010). Evaluation of four coals for blast furnace pulverized coal injection. *J. Iron Steel Res. Int.* 17, 8–12. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(10\)60065-9](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(10)60065-9)
- Shen, Y., & Yu, A. (2016). Modelling of injecting a ternary coal blend into a model ironmaking blast furnace. *Minerals Engineering*, 90, 89-95. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2015.12.009>.
- Shengli, W., Hongliang, H., Haifa, X., Hongwei, W., & Weizhong, T. (2009). Increasing proportion of natural lump ores in blast furnace. *Revue De Metallurgie-cahiers D'Informations Techniques*, 106, 160-167. <https://doi.org/10.1051/METAL/2009028>.
- van Straaten, V., de Graaff, B. & Engel, E. (2019). Hot Blast System Development: Technology, Operations, Campaign Management. *Berg Huettenmaenn Monatsh* 164, 452–460. <https://doi.org/10.1007/s00501-019-00916-8>.
- Yang, Lc., Pang, Qh., He, Zj. et al. (2021). Kinetic study on co-combustion of pulverized anthracite and bituminite for blast furnace injection. *J. Iron Steel Res. Int.* 28, 949–964. <https://doi.org/10.1007/s42243-021-00564-8>.
- Ren, S., Zhang, J., Liu, W., Su, B., Xing, X., & Bai, Y. (2013). An Integrated Evaluation System of Anthracite, Meager-lean Coal and Bituminous Coal Co-injection for a Blast Furnace. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35, 2123 - 2131. <https://doi.org/10.1080/15567036.2011.645995>.



ECONOMIC
AND TECHNICAL
ENGINEERING

Scientific and practical journal "Economics and technical engineering"

Founders: State University of Economics and Technology

ISSN: 3041-1246

E-mail: ete@duet.edu.ua Journal homepage: <https://ete.org.ua>

JEL: L640, L710

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.10

Treatment with chemical reagents for maintaining the flowability of the coal charge


Citation:

Shmeltser, K., Kormer, M., & Desna, N. Treatment with chemical reagents for maintaining the flowability of the coal charge. (2024). Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 119–132. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.10>

Kateryna Shmeltser

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: shmeltser@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-6830-8747

Maryna Kormer,

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: kormer@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-6509-0794

Natalia Desna

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: desna@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-0768-7813

Abstract: The main factors affecting coal freezing are considered. It is shown that the treatment of coal concentrates with chemical additives reliably prevents them from freezing in winter during transportation. Coal can be easily unloaded from railway wagons without high energy costs for heating in special garages. Calcium and magnesium chlorides (bischofite), as well as acetates of metals of group IA and IIA, have been investigated as anti-freezing agents. The method is based on the fact that the inter-cube moisture is replaced by a solution with a low eutectic freezing point, and the resulting ice is characterized by a defective structure, flaky structure and, as a result, low mechanical strength. In order to find new reagents, sodium, potassium, calcium and magnesium acetates, as well as a mixture of calcium and magnesium acetates, were investigated. Attention is focused on their physicochemical characteristics, methods of production and introduction into coal concentrate, as well as their impact on the freezing process. Our research shows that acetates match – and in some cases surpass – metal chlorides in their ability to prevent the freezing of coal. They are also minimally corrosive, have negligible environmental impact, and break down with the release of heat, which may ensure more uniform heating over the thickness of the batch. Metal acetates are safe for most surfaces, including concrete, metal and wood. They are biodegradable by bacteria, non-toxic and do not cause any noticeable corrosion of metals. Studies show that acetates are as good as, and in some cases better than, metal chlorides in preventing coal from freezing. It has been found that the freezing point depends on the way the salt was produced in the coal layer. In particular, if the salt production reaction produces gas, the freezing point is reduced by 1.2 °C. The results show that the best way to reduce freezing point is by using mixed calcium and magnesium acetate, which can be obtained from natural dolomite, due to its synergistic effect. Thus, metal acetates are the best alternative to metal chlorides in preventing the freezing of coal on rail transportation in winter.

Received: 11/03/2024

Accepted: 09/04/2024



Keywords: coal, transportation, freezing, anti-freeze agents, chlorides, acetates.


JEL: L640, L710

Treatment with chemical reagents for maintaining the flowability of the coal charge

Kateryna Shmeltser

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: shmeltser@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-6830-8747

Maryna Korner,

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: korner@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-6509-0794

Natalia Desna

Assoc. Prof., PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: desna@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-0768-7813

Abstract: The main factors affecting coal freezing are considered. It is shown that the treatment of coal concentrates with chemical additives reliably prevents them from freezing in winter during transportation. Coal can be easily unloaded from railway wagons without high energy costs for heating in special garages. Calcium and magnesium chlorides (bischofite), as well as acetates of metals of group IA and IIA, have been investigated as anti-freezing agents. The method is based on the fact that the inter-cube moisture is replaced by a solution with a low eutectic freezing point, and the resulting ice is characterized by a defective structure, flaky structure and, as a result, low mechanical strength. In order to find new reagents, sodium, potassium, calcium and magnesium acetates, as well as a mixture of calcium and magnesium acetates, were investigated. Attention is focused on their physicochemical characteristics, methods of production and introduction into coal concentrate, as well as their impact on the freezing process. Our research shows that acetates match – and in some cases surpass – metal chlorides in their ability to prevent the freezing of coal. They are also minimally corrosive, have negligible environmental impact, and break down with the release of heat, which may ensure more uniform heating over the thickness of the batch. Metal acetates are safe for most surfaces, including concrete, metal and wood. They are biodegradable by bacteria, non-toxic and do not cause any noticeable corrosion of metals. Studies show that acetates are as good as, and in some cases better than, metal chlorides in preventing coal from freezing. It has been found that the freezing point depends on the way the salt was produced in the coal layer. In particular, if the salt production reaction produces gas, the freezing point is reduced by 1.2 °C. The results show that the best way to reduce freezing point is by using mixed calcium and magnesium acetate, which can be obtained from natural dolomite, due to its synergistic effect. Thus, metal acetates are the best alternative to metal chlorides in preventing the freezing of coal on rail transportation in winter.


Keywords: coal, transportation, freezing, anti-freeze agents, chlorides, acetates

Обробка хімічними реагентами для збереження сипкості вугільної шихти

Катерина Шмельцер

доцент, к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: shmeltser@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-6830-8747

Марина Кормер

доцент, к.х.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: kormer@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-6509-0794

Наталія Десна

доцент, к. т. н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: desna@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0003-0768-7813

Анотація: Розглянуто основні фактори, які впливають на змерзання вугілля. Показано, що обробка вугільних концентратів хімічними добавками надійно запобігає їх змерзанню взимку під час транспортування. Вугілля легко вивантажується із залізничних вагонів, без великих енерговитрат на обігрів у спеціальних гаражах-тепляках. У якості засобів проти змерзання були досліджені, хлориди кальцію і магнію (бішофіт), а також ацетати металів ІА та ІІА групи. Спосіб заснований на тому, що міжкускова волога, заміщується розчином з низькою евтектичною точкою замерзання, а лід, що утворився, характеризується дефектною структурою, лускатою будовою і в результаті цього - малою механічною міцністю. З метою пошуку нових реагентів досліджено ацетати натрію, калію, кальцію та магнію, а також суміш ацетатів кальцію та магнію. Увагу зосереджено на їх фізико-хімічних характеристиках, способах одержання та введення у вугільний концентрат, а також їх впливу на процес змерзання. Ацетати металів безпечні для більшості поверхонь, зокрема бетону, металу та дерева. Вони біологічно розкладаються під дією бактерій, нетоксичні і не викликають помітної корозії металів. Дослідження показують, що ацетати не поступаються, а в деяких випадках і перевершують хлориди металів за здатністю запобігати замерзанню вугілля. Виявлено, що температура замерзання залежить від способу, яким відбувалося отримання солі у шарі вугілля. Зокрема, якщо в результаті реакції отримання солі утворюється газ, то точка замерзання знижується на 1,2 °С. Результати показують, що температуру замерзання найкраще знижувати за допомогою змішаного ацетату кальцію та магнію, який можна отримати з природного доломіту, завдяки синергетичному ефекту.

Ключові слова (Keywords): вугілля, транспортування, змерзання, профілактичні засоби, хлориди, ацетати

Вступ (Introduction)

Проблема збереження сипкості вугілля в умовах холодного клімату тепер може бути легко вирішена за допомогою різних профілактичних засобів, які контролюють процес змерзання.

Вугілля добуте з надр землі здебільшого вологе. Коли процес видобутку та перевезення відбувається при низьких температурах, кристали льоду «склеюють» куски між собою, утворюючи суцільний моноліт, який потрібно роздробити за допомогою руйнівних, трудомістких і, зрештою, дорогих операцій.

Запобігти злипанню та змерзанню частинок вугілля між собою в холодних та вітряних умовах можна за допомогою хімічних засобів, що контролюють змерзання. Таки засоби змінюють процес формування льоду на поверхні та усередині шматків вугілля суттєво знижуючи зв'язуючий ефект частинок льоду. Тому на морозі хоч і відбувається змерзання вугілля, але його частинки не злипаються, що дозволяє працювати з ним у будь-яку погоду або за будь-якої вологості.

Для збереження сипкості вугілля при негативних температурах можна використовувати: попередню сушку до безпечної вологості; проморожування вологого вугілля; рівномірну обробку вугілля в масі, а також днища та стінок напіввагонів та платформ профілактичними

засобами різної природи. У якості останніх застосовують хімічні речовини мінерального або органічного походження, що утворюють незамерзаючі розчини, або кристали льоду зі зниженою міцністю. Вугілля можна пошарово пересипати негашеним вапном, хлоридами кальцію, калію або магнію, що також виконують обмаслювання днища та стін напіввагону та платформи мінеральними та кам'яновугільними маслами та іншими реагентами нафтового походження (Yue, 2019)

Недотримання заходів щодо запобігання змерзання вугілля призводить до різкого зростання витрат у вантажоодержувачів, обумовлених необхідністю проведення додаткових операцій із забезпечення можливості вивантаження змерзлого вантажу та їх наслідками. Це використання так званих гаражів-теплеків, і механічне вивантаження з очищенням внутрішньої поверхні напіввагона, та витрати, пов'язані з вимушеним простоюванням рухомого складу.

Змерзання вугілля зазвичай починається вже при температурі повітря нижче мінус 2 °С. Але глибина промерзання при цій температурі невелика, тому що всередині маси вугілля постійно виділяється тепло, що перешкоджає змерзання вугілля в поверхневому шарі. Глибина промерзання та міцність змерзлого шару залежать від індивідуальних особливостей палива, його вологості, температури повітря, тривалості дії низьких температур (An, 2022).

На глибину промерзання помітно впливає сніговий покрив, який ніби утеплює поверхню і зменшує середню глибину промерзання. Глибини промерзання вугілля за статистичними даними для різних температур наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Глибина промерзання вугілля в залежності від температури.

Температура, °С	Глибина промерзання, м	Температура, °С	Глибина промерзання, м
0-(мінус 10)	0,2-0,5	(мінус 20)-(мінус 30)	0,8-1,0
(мінус 10)-(мінус 20)	0,5-0,8	нижче мінус 30	більш 1,0

Значний вплив на глибину та міцність промерзання має волога. Волога повітряно-сухого вугілля і частина вологи, яка знаходиться всередині тріщин і пор, майже не впливає на змерзання палива. Таку вологу називають безпечною (W_6). На практиці за безпечну вологість приймають максимальну вологість, при якій охолоджене паливо ще зберігає сипкість. Значення безпечної вологості знижується зі збільшенням ступеня вуглефікації вугілля: для кам'яного вугілля вона приблизно оцінюється в 4-8 %; бурого вугілля групи Б3 – 18-22 % і для Б1 та Б2 – 28-33 % (табл.2).

Таблиця 2. Мінімальна безпечна вологість деяких марок вугілля.

Марка вугілля	Безпечна вологість, %	Марка вугілля	Безпечна вологість, %
буре вугілля Б1	32-35	Ж	5,5-8,5
буре вугілля Б2	25-33	К	3,5-5,0
Д	13	ПС	5,0-6,0
Г	7,0-8,5	П	5,0-7,5

Аналіз наведених у табл. 2 даних показує, що для вугілля між мінімальною вологістю, при якій спостерігається змерзання, та гігроскопічною вологістю існує досить чітко виражена пропорційність. Так, для бурого вугілля марки Б1 мінімальна вологість змерзання приблизно в 3,5-4,0 рази вище гігроскопічної; для бурого вугілля марки Б2 і Б3 вона в 3 рази більша за гігроскопічну і для кам'яного вугілля – у 2,5-3,0 рази.

На значення безпечної вологості деякий вплив мають зольність, природа мінеральних домішок, гранулометричний склад палива. Якщо вміст вологи у вугіллі більше безпечної на 20-25 %, паливо змерзається в неміцний моноліт, а при збільшенні на 30-40 % відбувається утворення щільного, майже монолітного мерзляка. Міцність останнього збільшується зі зниженням температури та збільшенням часу впливу низьких температур та дисперсності палива (Ingram, 1984). Сортове вугілля, що не містить дріб'язку, при розмірі кусків вище 25

мм зазвичай не змерзається. Експериментально встановлено, що на лід, якій зв'язує окремі частинки вугілля у моноліт, перетворюється тільки зовнішня, або вільна, волога. Вона замерзає вже при мінус 2-4 °С і визначає властивості мерзлого вугілля.

У процесі зберігання та транспортування вугілля здатне поглинати вологу з навколишнього середовища, що збільшує в ньому вміст зв'язаної вологи. Насамперед це залежить від температури та відносної пружності водяної пари у повітрі. Поглинання вологи з повітря відбувається поступово, та сповільнюється до межі гігроскопічності.

Зниження вологості вугілля разом зі зниженням зольності та сірчистості шихти, є важливою проблемою. Її вирішення дозволяє знизити об'єми перевезення у вигляді баласту надлишкової води, а також запобігти змерзанню вугілля у напіввагонах у зимовий період. Це дозволить зменшити простоювання вагонів перед вивантаженням, поліпшити техніко-економічні показники коксохімічних заводів, теплових електростанцій та промислових котельних, а також не допускати наднормативні викиди у довкілля та поліпшити умови праці (Sun, 2018; Li, 2021).

При зберіганні вугілля, незалежно від його марки під впливом окиснення, спостерігається зміна його технологічних властивостей. Для уповільнення окиснення вугілля, як продукту вуглефікації природних залишків, (тобто як матеріалу природного походження) його можна зберігати при мінусових температурах. У роботі (Miroshnichenko, 2014) щодо дослідження зміни технологічних властивостей вугілля в різні пори року припускається, що сезонне зниження температури вугілля перед коксуванням позитивно впливає на зміну товщини пластичного шару та якості коксу. Це дає підстави припускати, що заморожування вугілля взимку може поліпшити його технологічні властивості.

Однак у роботах (Sipilä, 2012; An, 2023) зазначено, що розморожування вугілля і подальше його сушіння призводять до його розкладу та утворенню реакційноздатної поверхні вугілля, що сприяє більш легкому окисненню і вивітрюванню. Заморожування вугілля викликає розширення мікротріщин усередині вугілля та призводить до погіршення механічної міцності. Під час замерзання волога мігрує з поверхні вглиб вугільного зерна. Далі при її замерзанні відбувається збільшення об'єму льоду більш ніж на 9 %, що може призвести до механічного руйнування вугільного матеріалу.

Сучасні дослідження впливу циклічного заморожування/розморожування, однозначно переконують, що ці операції руйнують структуру вугілля, впливають на петрографічні властивості вугілля, на розподіл і зв'язність пор і тріщин, а також підвищують проникність вугілля. Після 25 циклів заморожування/розморожування для трьох видів вугілля (бурого, кам'яного та антрациту) встановлено, що коефіцієнт підвищення загальної пористості найбільший для кам'яного, а для антрациту – найменший. У цілому при транспортуванні і зберіганні термопластичні властивості кам'яного вугілля погіршуються, тому загострюється питання про придатність талого вугілля для подальшого використання у виробництві металургійного коксу.

У даний час існують розчини солей, які ефективно знижують температуру утворення льоду. Наприклад, 2-4 % водні розчини формиату натрію знижують температуру замерзання до мінус 5-10 °С. Їх широко використовують у будівництві та холодильній техніці. Однак канцерогенні властивості формиату натрію змушують до пошуку нових високоефективних і більш безпечних речовин (Qin, 2022).

З наведених даних у табл. 3 слідує, що тригідрат ацетату натрію за своєю здатністю знижувати температуру замерзання водних розчинів близький до формиату, а хлориди металів при схожих концентраціях значно поступаються. Теорія кластерної будови води передбачає як структурну одиницю – кластер, якій складається з клатратів, природа яких обумовлена далекими кулонівськими силами. У структурі кластерів закована інформація про взаємодію між молекулами води. Вода, що складається з безлічі кластерів, утворює ієрархічну просторову рідкокристалічну структуру (Zenin, 1994; Emoto, 2005). У зв'язку з цим електронна структура сольових комплексів, що утворюються при міжмолекулярній взаємодії кластерів води із солями, може вплинути на всю структуру водно-сольової системи.

Таблиця 3. Температура замерзання водних розчинів солей різної концентрації.

Соль	Масова частка солі, %	Температура замерзання, °С	Соль	Масова частка солі, %	Температура замерзання, °С
натрій хлорид	8	-3,7	натрій форміат	4	-8,0
	26	-10,1		8	-10,1
амоній хлорид	23	-5,1	натрій ацетат	4	-7,1
кальцій хлорид	70	-12,4	натрій ацетат	8	-10,0
гексагідрат			тригідрат		
				16	-10,2

Аналіз електронної та геометричної будови комплексів на основі ацетату та форміату натрію з димером води показав ідентичність цих комплексів. В асоціатах натрієвих солей з димером води (елементарною ланкою кластера) утворюється шестичленна структура між контактною іонною парою молекули солі та димеру води (рис. 1 а, б). Проведено порівняння зарядів на атомах, довжин зв'язків, валентних кутів, бар'єрів обертання атомів гідрогену навколо зв'язків у вихідних димерах та комплексах, а також визначені повні енергії для процесів утворення комплексів із вихідних речовин.

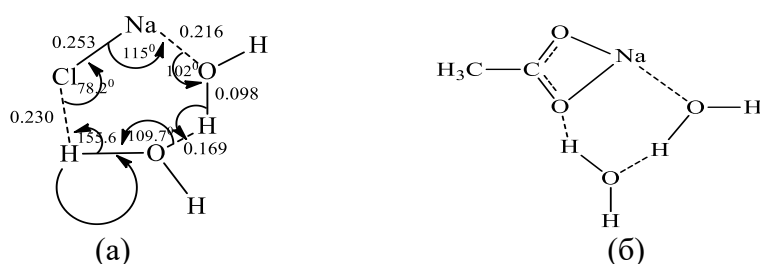


Рисунок 1. Комплекс натрію хлориду з двома молекулами води (а), комплекс ацетату натрію з двома молекулами води (б)

У комплексах спостерігається подовження валентних НО-зв'язків у порівнянні з вільним димером від 0,096 нм до 0,098 нм. Валентний кут у димері дорівнює 180°, а в структурі з NaCl та солями карбонових кислот він зменшується відповідно до 159,5° та 158,1°.

Зміни зарядів на атомах гідрогену та оксигену обох молекул води в структурі комплексу несуть важливу інформацію про процеси поляризації зв'язків, що призводять до зміни валентних кутів димера. У комплексі з натрій хлоридом позитивно заряджений атом натрію взаємодіє з атомом оксигену димеру, Внаслідок чого негативного заряд на атомі оксигену знижується до мінус 0,95 (у вільному димері – мінус 0,88). Валентний ОН-зв'язок поляризується. Внаслідок чого атом оксигену бере участь у утворенні водневого зв'язку, також стає більш негативним (заряд знижується від мінус 0,83 до мінус 0,91). Атоми гідрогену молекул води, що входять до комплексу, за рахунок поляризації зв'язку набувають більш позитивного заряду. Гідроген асоційований з хлором, набуває заряд +0,48 (на відміну від +0,43), але у атомі Гідрогену, асоційованому з молекулою води у димері, заряд змінюється від +0,47 до +0,54. Дещо більше збільшуються заряди на атомах у комплексі ацетату натрію із двома молекулами води: заряд на атомі гідрогену, асоційований з оксигеном карбоксилатної групи, збільшився до +0,54 (був +0,43), а атом гідрогену, що бере участь в утворенні водневого зв'язку з іншою молекулою води, має заряд +0,54. Очевидно, що велика поляризація зв'язків димера води має місце в комплексах з ацетатом та форміатом натрію.

Різниця енергій комплексоутворення оцінюється за формулою:

$$\Delta E_{\text{компл}} = \sum (E_{\text{вих}} - E_{\text{компл}}), \quad (1)$$

Хоча показники енергії відрізняються незначно, за стабільністю комплекси можна розташувати в ряд:

$$\Delta E_{(\text{HCOONa})}(-38,4 \text{ ккал/моль}) > \Delta E_{(\text{CH}_3\text{COONa})}(-38,3 \text{ ккал/моль}) > \Delta E_{(\text{NaCl})}(-38,1 \text{ ккал/моль}), (2)$$

Причому утворення циклічного тетрамеру води з двох димерів енергетично менше, вірогідно ($\Delta E_{\text{тетрамер}} = -26,7$ ккал/моль), що вказує на можливість розпаду кластерів з утворенням стійких сольових комплексів.

Бар'єр обертання атома гідрогену, який зв'язаний з хлором у комплексі з натрієм хлоридом, навколо водневого НО-зв'язку (рис. 1 а) має незначну величину (11,72 кДж/моль). При цьому величина бар'єру обертання майже в 2 рази збільшується в НО-групі, яка зв'язана з киснем ацетатного або форміатного кислотного залишку (табл. 4). Ці відмінності в енергіях бар'єрів обертання при знижених температурах відіграють дуже значну роль, сприяючи більшій вбудованості стабільних комплексів в кластерну структуру, і впливають на полярність полікластерної структури води.

Таблиця 4. Енергетичні параметри асоціатів води та солей.

Молекулярна система	Енергія комплексоутворення, кДж/моль	Енергетичний бар'єр обертання, кДж/моль
NaCl·2H ₂ O	-159,41	11,71
HCOONa·2H ₂ O	-160,67	22,18
CH ₃ COONa·2H ₂ O	-160,25	22,18
2H ₂ O·2H ₂ O	-111,71	21,76

Таким чином, результати, отримані з квантово-хімічного аналізу сольових комплексів щодо температури замерзання водних розчинів солей повністю узгоджуються між собою.

Збільшення концентрації натрій хлориду у водному середовищі призводить до зниження температури замерзання розчину, що легко пояснюється зниженням бар'єру обертання молекул води в присутності солі. Тобто, чим більше водних димерів взаємодіє з молекулами солі, тим активніше обертаються молекули води та розчин важче перевести у твердий стан (Li, 2023).

Неоднозначна залежність температури замерзання від концентрації спостерігається у випадку водних розчинів на основі карбонових солей. При незначних концентраціях вони ефективно знижують температуру замерзання розчину, проте із збільшенням концентрації більш 8 % температура замерзання розчину знижується дуже слабо. Таку тенденцію можна пояснити посиленням міжмолекулярних взаємодій у комплексах карбонових солей із кластерами води, що не впливає на бар'єр обертання, але може перешкоджати початковій стадії кристалізації водних клатратів.

Проведені дослідження показали, що малі концентрації ацетату натрію ефективно знижують температуру замерзання водних розчинів у порівнянні з аналогічними концентраціями хлориду амонію, натрію та кальцію.

Вугілля оброблене профілактичними засобами може бути завантажене у вагони без втрат. Якщо вугілля не прилипатиме до стінок і днища вагонів, то звільниться до 20 % ємності вагонів, зменшаються втрати при перевезенні вугілля.

У зв'язку з цим розробка нових профілактичних засобів з поліпшення експлуатації та екологічними властивостями є актуальним завданням.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

У якості об'єкту дослідження був обраний зразок вугілля фракції 0-3 мм вологістю 12 %. Вугілля обробляли розчином хлориду металу та поміщали у циліндричну ємність розміром 50×50 мм без днища. По центру зразка прокладали ізольований полівінілхлоридом дріт діаметром 0,5 мм. Циліндр з вугіллям витримували у холодильнику при температурі мінус 15 °С упродовж 12-14 годин до повного змерзання.

Далі циліндр виймали з холодильної камери і підвішували за дрiт. Коли дрiт вислизав з вугiлля, це вiдповiдало температурi розморожування. Температуру фiксували, дослiди повторювали не менше до 4 разiв, для отримання достовiрних результатiв.

Результати (Results)

Як профiлактичнi засоби на основi солей неорганiчних та органiчних кислот застосовували хлориди кальцiю, магнiю, натрiю, воднi евтектики, що замерзають при негативних температурах

До мiнус 10 °С добре працюють: натрiй хлорид (NaCl) – технiчна сiль; поташ K_2CO_3 ; натрiй нiтрит ($NaNO_2$); кальцiй нiтрат ($Ca(NO_3)_2$); натрiй сульфат (Na_2SO_4); сумiш солей (нiтрат, нiтрит, хлорид кальцiю); натрiй тiосульфат та роданiд; комплекси електролiтiв, модифiкованi сечовиною.

При використаннi розчинiв цих солей волога вугiлля змiшується з розчином солi, який має низьку точку евтектики. Лiд, який утворився, має дефектну структуру, лускату будову та невелику механiчну мiцнiсть.

Використання натрiю хлориду у якостi профiлактичного засобу має ряд недолiкiв: по-перше, корозiя металевих поверхонь, по-друге, присутнiсть лужних металiв у металургiйному коксi буде негативно впливати на доменний процес.

В умовах дуже низьких температур пропонується застосування кальцiю хлориду, який внесений до списку реагентiв для обробки вугiлля, мiнералiв, стiнок та днища вагонiв пiд час перевезення залiзничним транспортом (Zhai, 2017). Температура замерзання водного розчину хлориду кальцiю залежить вiд концентрацiї солi. Температура замерзання вiд мiнус 30 °С до мiнус 50 °С досягається у вузькому iнтервалi концентрацiї вiд 25 % до 30 %.

Хлорид кальцiю можна використовувати у виглядi розчину або у сухому виглядi. При застосуваннi сухої солi розчин утворюється у самому вугiллі за рахунок вологи вугiлля. I в тому i в iншому випадку формується розчин з температурою замерзання до мiнус 55 °С. Для найкращого результату рекомендується на обробку нижнiх шарiв вугiлля використовувати навколо 25 % вiд усiєї кiлькостi хлориду кальцiю, а далi решту – рiвномiрно розподiляють у масi вугiлля. Недолiком є сильна корозiя металiв.

Менш корозiйним є розчин магнiй хлориду, якiй можна використовувати у виглядi природного бiшофiту ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$). В Украiнi є декiлька родовищ бiшофiту – Полтавське, Чернiгiвське.

Результати дослiдiв iз використання магнiю хлориду (бiшофiту) наведенi на рис. 2. Введення у вугiлля 4-5 % бiшофiту знижує температуру замерзання приблизно до мiнус 14-15 °С.

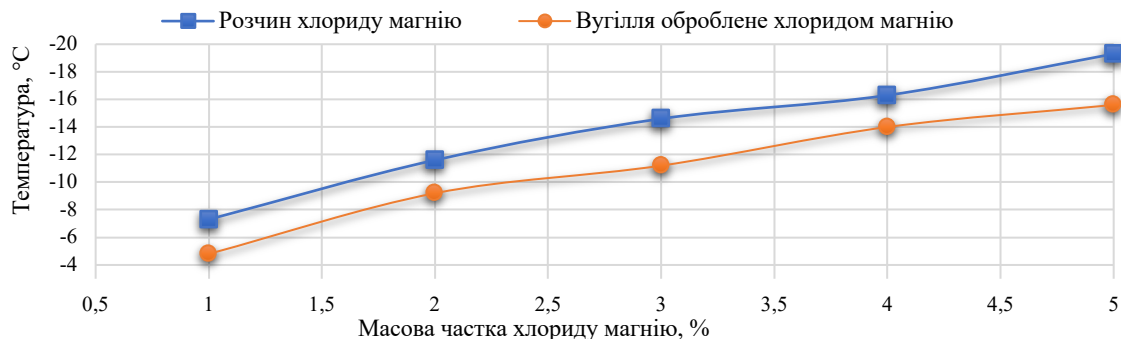


Рисунок 2. Температура змерзання вугiлля, обробленого бiшофiтом.

Обробка вугiлля профiлактичними засобами надiйно захищає вугiлля вiд змерзання у зимовий час при зберiганнi та транспортуваннi. Невелике пiдвищення собiвартостi вугiлля за рахунок витрат на обробку вугiлля у постачальникiв перекриється зниженням витрат на обiгрiв вагонiв у споживачiв вугiлля (Shmeltser, 2021).

Серед органічних сполук перспективними вважаються ацетати, водні розчини яких не кристалізуються до мінус (60–70) °С. Досліди були проведені для ацетатів натрію, калію, кальцію та магнію.

Ацетати натрію та калію додавали до вологого вугілля у сухому вигляді. Випробування ацетатів натрію та калію проводили за методикою аналогічній використанню хлориду натрію.

Солі додавали в кількості 1,5; 2; 3; 4,5; 5,5 % від маси вугілля вологістю 12 %. Дані приведені в таблиці 5.

Таблиця 5. Залежність температури замерзання вугілля (фракція 0-3 мм, вологість 12 %) від масової частки ацетатів калію та магнію.

CH ₃ COOK				CH ₃ COONa			
Масова частка солі, %	Температура змерзання вугілля, °С	Масова частка солі, %	Температура змерзання вугілля, °С	Масова частка солі, %	Температура змерзання вугілля, °С	Масова частка солі, %	Температура змерзання вугілля, °С
1,5	-4,5	3,5	-8,6	1,5	-4,3	3,5	-8,5
2,0	-5,0	4,8	-9,4	2,0	-5,2	4,8	-8,5
2,5	-6,4	5,5	-10,6	2,5	-6,8	5,5	-8,5
3,0	-7,6			3,0	-8,0		

Якщо у ацетату калію температура замерзання розчину зі збільшенням концентрації розчину зменшується, то для ацетату натрію після досягнення концентрації 8 % температура замерзання розчину залишається постійною.

Перевагою ацетатів є менша агресивність по відношенню до навколишнього середовища та менша корозійна активність порівняно з хлоридами. Ацетати нешкідливі для більшості поверхонь, включаючи бетон, метал, деревну. Вони мають низьку токсичність та швидко біоруйнуються під дією бактерій.

Як було зазначено, калій ацетат показав задовільні результати з попередження змерзання вугілля. Однак це сіль групи металів ІА групи, вміст яких у коксі небажаний. Більш безпечними є солі металів ІІА групи. Магній та кальцій - ацетати можна використовувати у вигляді сухих солей або розчинів. Отримати їх можна з оксидів та 60 % оцтової кислоти. При розчиненні у волозі вугілля солі утворюють розчини, які мають низькі температурні замерзання.

Дані залежності температури змерзання вугілля від кількості ацетатів кальцію та магнію приведені в таблиці 6.

Таблиця 6. Температури замерзання вугілля обробленого кальцій та магній ацетатами.

(CH ₃ COO) ₂ Ca				(CH ₃ COO) ₂ Mg			
Масова частка солі, %	Температура змерзання вугілля, °С	Масова частка солі, %	Температура змерзання вугілля, °С	Масова частка солі, %	Температура змерзання вугілля, °С	Масова частка солі, %	Температура змерзання вугілля, °С
1,5	-6,3	4,0	-11,0	1,5	-7,0	4,0	-11,8
2,5	-8,4	4,5	-11,8	2,5	-9,2	4,5	-12,6
3,0	-9,5	5,0	-12,4	3,0	-10,3	5,0	-13,2
3,5	-10,2	5,5	-13,1	3,5	-11,1	5,5	-13,9

Перевагою цих реагентів є їх менша агресивність по відношенню до навколишнього середовища та менша корозійна активність порівняно з хлоридами металів.

Порівнюючи дані табл. 5 та табл.6 можна зробити висновок, що ацетати добре працюють, як профілактичні засоби проти змерзання вугілля. Але ацетатів кальцію та магнію треба значно менше, що робить їх використання більш економічним.

Ацетати кальцію та магнію можна отримати безпосередньо в шарі вугілля вологістю 12 % масою 500 г. Так, в ході дослідження вугілля ретельно перемішували з кальцій або магній оксидами. Далі, не припиняючи перемішування до суміші, додавали 60 % оцтову кислоту.

Масову частку ацетатів змінювали від 1,0 % до 6,0 %. Розрахунок показує, що навіть при максимальній кількості солі вологість вугілля підвищується лише на 1 %.

При порівнянні даних табл. 6 та 7 слідує, що незалежно від способу внесення солі до вугілля температура змерзання не змінюється.

Таблиця 7. Дані розрахунку кількості оксидів металу та 60 % оцтової кислоти та температура змерзання вугілля.

Масова частка солі, %	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$			$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mg}$			
	Маса СаО, г	Маса кислоти, г	Температура змерзання вугілля, °С	Масова частка солі, %	Маса MgO, г	Маса кислоти, г	Температура змерзання вугілля, °С
1,0	1,8	6,4	-5,5	1,0	1,4	7,0	-5,8
1,8	3,2	11,5	-6,0	1,8	2,5	12,5	-7,3
2,5	4,4	15,7	-8,5	2,5	3,5	17,5	-9,1
3,0	5,3	19,0	-9,8	3,0	4,2	21,2	-10,4
4,2	7,4	26,5	-11,8	4,2	5,9	29,5	-12,5
5,0	8,9	31,8	-12,6	5,0	7,0	35,0	-13,5

Для отримання кальцій або магній ацетатів можна застосувати більш стійкі, ніж оксиди, карбонати. При взаємодії карбонатів з кислотою, на відміну від оксидів, спостерігається виділення вуглекислого газу. Якщо газ не буде виходить назовні, а залишатися у масі вугілля, то можна спостерігати, що він буде впливати на температуру змерзання.

Для зменшення виходу газу з об'єму вугілля перемішування було зведено до мінімуму, тому зразок ділили на три частин, кожна з яких ретельно перемішували з карбонатом кальцію або магнію, а потім до кожної частині обережно додавали кислоту (табл. 8). Аналіз даних табл.8 показує, що отримання ацетатів із карбонатів призводить до зниження температури змерзання вугілля майже на 1 °С, у порівнянні з використанням ацетатів, які були отримані з оксидів. Можна зробити висновок, що це відбувається під впливом вуглекислого газу, який залишається розчиненим. Можливо, що основна маса газу при розчиненні у воді утворює льодяні кристалічні структури з молекул води та газу, так звані газові гідрати. Один об'єм води може зв'язувати у гідратний стан приблизно 164 об'єму газу. Газ утримується в каркасі льодяного кристалу за рахунок відносно слабких міжмолекулярних сил Ван-дер-Ваальса. Концентрація гідратної форми зростає при зниженні температури, та інтенсивність утворення гідратів збільшується.

Таблиця 8. Дані розрахунку кількості карбонатів металу та оцтової кислоти та температура змерзання вугілля.

Масова частка солі, %	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}$			$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mg}$			
	Маса СаСО ₃ , г	Маса кислоти, г	Температура змерзання вугілля, °С	Масова частка солі, %	Маса MgСО ₃ , г	Маса кислоти, г	Температура змерзання вугілля, °С
1,0	3,5	4,2	-5,7	1,0	3,3	4,6	-5,9
1,8	6,3	7,5	-6,9	1,8	5,9	8,4	-8,0
2,5	8,7	10,5	-9,2	2,5	8,2	11,7	-9,8
3,0	10,4	12,5	-10,5	3,0	9,8	13,9	-11,4
4,2	14,6	17,5	-12,6	4,2	13,7	19,5	-13,6
5,0	17,5	20,9	-13,9	5,0	16,3	23,3	-14,7

Коли температура повітря має позитивні значення, то на поверхні бульбашки газу утворюється однорідна, достатньо щільна гідратна плівка. При негативній температурі газогідратні утворення на поверхні льоду більш крихкі, з великою кількістю пор. При температурі від мінус 8 °С до мінус 10 °С накопичення гідратів відбувалося швидше, ніж в інтервалі температур від з мінус 3 °С та плюс 2 °С.

Гідрати між вуглекислим газом та водою, які утворюються на поверхні льоду мають рихлу та пористу будову, що сприяє збереженню сипкості вугілля. У зразку вугілля, який

насичений газом, поверхня вугілля буде взаємодіяти з CO₂, а не з мерзлою водою і, як наслідок, його розчинення у воді призведе до зменшення температури змерзання.

Кальцій та магній - ацетати, добре працюють як профілактичні засоби, та показали високу активність. Однак ці реагенти в Україні виробляються лише як медичні препарати, тому було запропоновано використання суміші ацетатів кальцію і магнію у співвідношенні 1:1, яку легко отримати з природного доломіту CaCO₃·MgCO₃. Поклади доломітів знаходяться в Донецької області та в Закарпатті.

Крім того, солі в суміші можуть підсилювати дію одна одної. Так, наприклад, 34,4 % розчин ацетату магнію має температуру евтектики мінус 29 °С, а в суміші з нітратом магнію (1:1) – мінус 38 °С. Ацетатну суміш отримували з порошку доломіту і 60 % оцтової кислоти:



Далі отриманий розчин по звичайній методиці змішували з вугіллям. Результати експерименту приведені в таблиці 9.

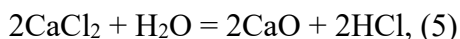
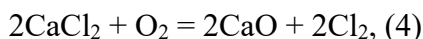
Таблиця 9. Температура змерзання вугілля, яке оброблено сумішшю ацетатів кальцію та магнію

Масова частка солі, %	Температура змерзання, °С	Масова частка солі, %	Температура змерзання, °С
1,0	- 7,1	2,5	- 11,4
1,8	- 8,5	3,0	- 13,3

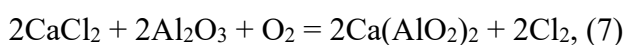
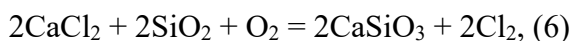
З табл. 9 слідує, що при використанні суміші солей температура змерзання вугілля знижується приблизно на 20–23 %. Це підтверджує висновок, що суміш ацетатів кальцію і магнію забезпечує зниження температури за рахунок синергетичної дії компонентів. Комбінація органічних солей заважає перетворенню води на кристали льоду, ускладнюючи можливість здобуття правильної кристалічної структури кристалу льоду.

Основною перевагою суміші ацетатів, вважається слабка корозійна дія на метал. Так, втрата металу металевих стрижнів упродовж 7 місяців в розчині суміші ацетатів складала 3 %, у порівнянні з розчином солей хлоридів – 15,3 % та дистильованою водою – 1,2 %. Іржа у всіх випадках на стрижнях почала з'являтися через три тижні. На стрижнях, занурених в розчин суміші ацетатів утворюється тонка і щільна окалина, а на стрижнях в розчині солі хлоридів – товста і рихла.

Перевагою ацетатів є також їх екологічна безпека. При застосуванні хлориду кальцію для обробки вугілля, яке далі використовується для коксування та піддається дії високих температур, можливим є розклад кальцій хлориду у присутності кисню повітря і пари води:



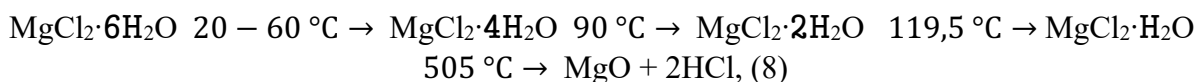
У присутності SiO₂ або Al₂O₃ при високих температурах будуть проходити реакції:



Помітне розкладання CaCl₂ у сухому і вологому повітрі буде проходити вище за 830 °С, у присутності SiO₂ – вище за 720 °С, у присутності Al₂O₃ вище за 800 °С.

З реакцій (4-7) слідує, що при високих температурах коксування можливий розклад кальцій хлориду, виділенням великої кількості хлору, який у присутності розпеченого вугілля може утворювати діоксин. Це погіршує екологічні умови виробництва.

Розклад гідрату магнію хлориду відбувається за схемою:



При температурах вище 505°C можливе виділення газоподібного HCl .

Ацетати на відміну від хлоридів мають низьку токсичність, під дією ґрунтових бактерій повністю розкладаються упродовж місяця та мають достатньо низьку температуру розкладання (табл. 10).

Таблиця 10. Температура розкладу ацетатів.

Назва речовини	Температура розкладання, $^\circ\text{C}$	Назва речовини	Температура розкладання, $^\circ\text{C}$
натрій ацетат,	120	кальцій ацетат,	160
калій ацетат,	292	магній ацетат,	323

При розкладанні ацетатів натрію і калію відбувається спочатку видалення кристалізаційної води, а потім розкладання з утворенням карбонатів і ацетону:



Ацетат кальцію та магнію розкладається при температурах 160°C та 323°C відповідно, також з утворення ацетону, якій швидко згорає:



За екологічною ефективністю реагенти на основі ацетатів не мають аналогів. Ацетатні реагенти безпечні для людини, підземних вод, тварин та рослин. Ацетати проходять повну біодеструкцію в водних системах упродовж обмеженого часу.

Висновки (Conclusions)

Охарактеризовані основні способи та засоби попередження змерзання вугілля при транспортуванні: зневоднення та сушка вугілля, переморожування вугілля, розморожування у спеціальних гаражах, а також з використанням профілактичних реагентів органічного та неорганічного походження. Визначено, що серед багатьох способів профілактики і боротьби з приморозанням, використання профілактичних засобів є найбільш ефективними.

В якості засобів проти змерзання були досліджені, хлориди кальцію і магнію (бішофіт), а також ацетати металів.

Спосіб заснований на тому, що міжкускова волога, заміщується розчином з низькою евтектичною точкою замерзання, а лід, що утворився, характеризується дефектною структурою, лускатою будовою і в результаті цього – малою механічною міцністю. При подальшому підвищенні концентрації хлоридів нижче евтектичної точки підвищується температура змерзання, тому необхідно підібрати оптимальні концентрації хлоридів, які залежать від температурних умов і гранулометричного складу вугілля.

Досліджено вплив ацетатів металів на змерзання вугілля та порівняння їх з хлоридами металів. Визначено, що всі солі зменшують температуру змерзання вугілля досить добре, але встановлено, що ацетатів в порівнянні з хлоридами необхідно додавати менше.

Також за екологічною ефективністю реагенти на основі ацетатів не мають аналогів. Ацетатні реагенти безпечні для людини, підземних вод, тварин та рослин, вони проходять повну біодеструкцію у водних системах упродовж обмеженого терміну часу. Завдяки заміні хлоридів на ацетати усуваються проблеми, пов'язані з хлористим забрудненням стічних вод та

повітряного басейну.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, К.М.; методика, Ш.К.; формальний аналіз, Д.Н.; аналітичні дані, К.М.; візуалізація, Ш.К.; нагляд, К.М.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- An, D., & Wang, C. (2022). Regression Analysis for Coal Freezing Adhesive Strength in Transportation. *J Min Sci.*, 58, 731-740. <https://doi.org/10.1134/S1062739122050040>
- An, D., Chi, Y., & Wang, C. (2023). Interface Structures and Strength Characteristics of Coal Freezing Adhesion on Transportation Equipment in Cold Regions. *J Min Sci.*, 59, 358–367. <https://doi.org/10.1134/S106273912303002X>
- Emoto, M. (2005). Poslaniya vody: Tajnye kody kristallov lida. «ID Sofiya». 96s. <https://knygy.com.ua/index.php?productID=9785955008288>
- Ingram, G.R., & Rimstidt, J.D. (1984). Natural weathering of coal. *Fuel*, 63, 292-296 [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(84\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0016-2361(84)90002-4)
- Li, B., Huang, L., & Lv, X. (2021). Variation features of unfrozen water content of water-saturated coal under low freezing temperature. *Sci Rep.*, 11, 15398. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94943-6>
- Li, W., Wang, H., & Zhang, W. (2023). Damage and Deterioration Mechanism of Coal Gangue Mixed Pumice Aggregate Concrete Under Freeze–Thaw Cycles. *Int J Concr Struct Mater.*, 17, 57-62. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00619-y>
- Miroshnichenko, D.V., Desna, N.A., & Kaftan, Y.S. (2014). Oxidation of coal in industrial conditions. 2. Modification of the plastic and viscous properties in oxidation. *Coke and Chemistry*, 57, 375-380. <https://doi.org/10.3103/S1068364X14100056>
- Nwaka, D., Tahmasebi, A., Tian, L., & Yu, J. (2016). The effects of pore structure on the behavior of water in lignite coal and activated carbon. *J. Colloid Interface Sci.*, 477, 138–147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2016.05.048>
- Qiao W., Zhaofeng W., Shujun Ma., & Kangjia Z. (2021). Study on temperature variation of coal sample in process of freezing coring. *China Safety Science Journal*, 31(2), 76-81. <http://www.cssj.com.cn/EN/10.16265/j.cnki.issn 1003-3033.2021.02.011>
- Qin, L., Lin, S., & Lin, H. (2022). Unfrozen Water Content and Ice–Water Thawing Mechanism in Cryogenic Frozen Coal. *Nat Resour Res.*, 31, 2839-2851. <https://doi.org/10.1007/s11053-022-10104-0>
- Shmeltser, E.O., Kormer, M.V., Lyalyuk, V.P., & Lyakhova, I.A. (2021). Organosilicon Compounds for Prevention of Coal Freezing. *Coke and Chemistry*, 64(5), 185-189. <http://dx.doi.org/10.3103/S1068364X21050069>
- Sipilä, J., Auerkari, P., Holmström, S., Itkonen, J., & Aaltonen, K. (2012). Freezing of coal in the underground storage of a power plant. *Cold Regions Science and Technology*, 79-80(8), 38-42. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2012.03.007>

- Sun, Y., Zhai, C., & Qin, L. (2018). Coal pore characteristics at different freezing temperatures under conditions of freezing-thawing cycles. *Environ Earth Sci.*, 77, 525-536. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7693-y>
- Yue, J., Yue, G., & Wang, Z. (2019). Freezing method for rock cross-cut coal uncovering I: Mechanical properties of a frozen coal seam for preventing outburst. *Sci Rep.*, 9, 16397. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52879-y>
- Zenin, S. V., & Tyaglov B. V. (1994). Gidrofobnaya model struktury asociatov molekul vody. *Zhurn. fiz. himii.* 64(4), 636-641.
- Zhai C., Wu S., Liu S., Qin L., & Xu J. (2017). Experimental study on coal pore structure deterioration under freeze-thaw cycles. *Environmental Earth Sciences*, 76(15), 507-518. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-017-6829-9>



Founders: State University of Economics and Technology

ISSN: 3041-1246

E-mail: ete@duet.edu.ua Journal homepage: <https://ete.org.ua>

JEL: L610

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.11

Dependence of metal shears consumption on technological parameters of the process of shearing flat rolled metal products


Citation:

Seleznov, M., & Borovik, P. (2024). Dependence of metal shears consumption on technological parameters of the process of shearing flat rolled metal products "Economics and technical engineering. Vol. 2 No. 1 (2024), 133–144. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.11>

Maksym Seleznov

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: seleznov@kneu.dp.ua

 *ORCID iD: 0009-0009-6697-9358*

Pavlo Borovik

Prof. DSc, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

e-mail: borovik@snu.edu.ua

 *ORCID iD: 0000-0002-5353-2022*

Abstract: There is a growing demand for the flat-rolled steel products. In today's market we have the task for heavy engineering, which has a target making of equipment for such steel products manufacturing. At the same time, machines and mechanisms that are not directly involved in metal rolling, but ensure the performance of other operations are important components of the entire technological process and are aimed at producing metal products with specified characteristics constitute a significant part of the equipment produced for rolling mills of metallurgical enterprises specializing in the flat-rolled steel production. Among them, shears for longitudinal and transverse shearing, which are used to produce flat-rolled metal products of a given shape and size play a major role. Meanwhile, shears with single-slope (guillotine) and double-slope (chevron) knives usually used for metal strips and sheets transverse shearing and being the most complex equipment on rolling mills shearing lines are widely used. Therefore, timely and correct cost determination of such shears is very important in the context of machine-building production, developing technical and commercial proposals. A specialist ought to be able to determine their metal consumption in advance. Therefore, in this paper, a mathematical dependence allowing determining the shears metal consumption, taking into account the maximum shearing force and the maximum allowable width of the metal rolling was obtained based on the analysis of available data on the main characteristics of known shears. Meanwhile, further refinement and adaptation of the obtained dependence may be appropriate to use it in the automation tools development for designing the technology of shearing flat-rolled metal products with slope knife.

Keywords: flat rolled metal; shears; shearing; cost price; metal consumption; dependence.

Received: 12/03/2024

Accepted: 08/04/2024




JEL: L610

Dependence of metal shears consumption on technological parameters of the process of shearing flat rolled metal products

Maksym Seleznov

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: seleznov@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0009-6697-9358

Pavlo Borovik

Assoc. Prof., DSc, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

e-mail: borovik@snu.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-5353-2022

Abstract: There is a growing demand for flat-rolled steel products. In today's market we have the task for heavy engineering, which has a target making of equipment for such steel products manufacturing. At the same time, machines and mechanisms that are not directly involved in metal rolling but ensure the performance of other operations are important components of the entire technological process and are aimed at producing metal products with specified characteristics constitute a significant part of the equipment produced for rolling mills of metallurgical enterprises specializing in the flat-rolled steel production. Among them, shears for longitudinal and transverse shearing, which are used to produce flat-rolled metal products of a given shape and size play a major role. Meanwhile, shears with single-slope (guillotine) and double-slope (chevron) knives usually used for metal strips and sheets transverse shearing and being the most complex equipment on rolling mills shearing lines are widely used. Therefore, timely and correct cost determination of such shears is very important in the context of machine-building production, developing technical and commercial proposals. A specialist ought to be able to determine their metal consumption in advance. Therefore, in this paper, a mathematical dependence allowing determining the shears metal consumption, taking into account the maximum shearing force and the maximum allowable width of the metal rolling was obtained based on the analysis of available data on the main characteristics of known shears. Meanwhile, further refinement and adaptation of the obtained dependence may be appropriate to be used in the automation tools development for designing the technology of shearing flat-rolled metal products with a slope knife.


Keywords: flat rolled metal; shears; shearing; cost price; metal consumption; dependence.

Залежність металоємності ножиць від технологічних параметрів процесу розрізання плоского металопрокату

Максим Селезньов

к.т.н, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: seleznov@kneu.dp.ua

 ORCID ID: 0009-0009-6697-9358

Павло Боровик

доцент, д.т.н, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Київ, Україна

e-mail: borovik@snu.edu.ua

 ORCID ID: 0000-0002-5353-2022

Анотація: В умовах сучасного ринку, спостерігається зростання попиту на плоский металопрокат, тому виготовлення обладнання для виробництва такої металопродукції є актуальною проблемою важкого машинобудування. В той же час, значну частину обладнання, створюваного для прокатного виробництва металургійних підприємств, що спеціалізуються на виготовленні плоского металопрокату, складають машини та механізми, які не задіяні безпосередньо при прокатці металу, але забезпечують виконання інших операцій, які є важливими складовими всього технологічного процесу та спрямовані на отримання металопродукції з заданими характеристиками. Серед них важливе місце займають ножиці для поздовжнього та поперечного розрізання, які застосовуються для отримання плоского металопрокату заданої форми та розмірів. При цьому широке використання отримали ножиці з односхилим (гільйотинним) та двосхилим (шевронним) ножем, які, зазвичай використовуються для поперечного розрізання штаб або листів і є найбільш складним обладнанням ліній розрізання прокатних станів. Тому в умовах машинобудівного виробництва, при розробці техніко-комерційних пропозицій, велику роль має своєчасне та коректне визначення собівартості таких ножиць. Це потребує наявності у фахівця можливості попереднього визначення їх металоємності. Тому в межах даної роботи на базі проведеного аналізу наявних даних по основним характеристикам відомих ножиць, була отримана математична залежність, яка дозволяє визначити металоємність ножиць з урахуванням максимальної сили розрізання та максимально допустимої ширини плоского металопрокату. При цьому може бути доцільно подальше уточнення та адаптація отриманої залежності з метою її використання при розробці засобів автоматизації проектування технології розрізання плоского металопрокату похилим ножем.

Ключові слова: плоский металопрокат; ножиці; розрізання; собівартість; металоємність; залежність.

Вступ (Introduction)

Плоский металопрокат є значною частиною продукції металургійного виробництва, при цьому, в умовах сучасного ринку, спостерігається стійкий ріст попиту на цей вид металопродукції. В даних умовах є необхідність постійного вдосконалення обладнання, яке використовується для виробництва плоского металопрокату, з метою збільшення його продуктивності та підвищення якості готової продукції. Таким чином, виготовлення такого обладнання є актуальною проблемою важкого машинобудування.

Беручи до уваги сталий розвиток металургійного виробництва, перед машинобудівними підприємствами постає завдання своєчасної розробки актуальних та ефективних рішень при проектуванні обладнання, використовуваного для виробництва плоского металопрокату. При цьому зосередженість на виготовленні конкурентоспроможного обладнання є ключовим фактором розвитку машинобудівного виробництва, однак вимагає застосування сучасних підходів (*Sukov & Byvshev, 2013*), які зокрема передбачають автоматизацію виробничих процесів. Це дозволяє значно скоротити час необхідний на проектування та виготовлення обладнання.

При виготовленні металургійного обладнання, велику роль має адекватне та виважене визначення собівартості створюваного обладнання, що дозволяє ґрунтовно та своєчасно реагувати на можливі зміни кон'юнктури ринку. При цьому фахівцям з проектування обладнання часто доводиться діяти в умовах жорстких обмежень часу, тому швидкість прийняття рішень набуває великого значення. Це зумовлює необхідність створення математичних моделей та програмних продуктів на їх основі, які допоможуть більш ґрунтовно приймати якісні рішення в умовах виробництва та зменшити можливість збитків.

Слід зазначити, що значну частину обладнання, створюваного для прокатного виробництва металургійних підприємств, спрямованих на виготовлення плоского металопрокату, складають машини та механізми, які не задіяні безпосередньо при прокатці металу, але забезпечують дотримання показників якості (які є важливими складовими

ринкової вартості металопрокату) та, як наслідок, отримання металопродукції з заданими характеристиками. Загалом сам процес виробництва плоского металопрокату, безпосередньо, спрямований на отримання готового листа або штаби високої якості з мінімальними витратами і максимальною продуктивністю. Значну частку продукції яку випускає металургійна промисловість складає плоский металопрокат товщиною від 5 до 80 мм, шириною від 600 до 4800 мм, а також плити товщиною до 160 мм (Koh, 2022). Для виробництва такого металопрокату використовують прокатні стани великої одиничної потужності, при цьому залежно від різних умов (наприклад, марки сталі) технологічний процес виробництва може суттєво відрізнятись, однак незалежно від обраної технологічної схеми виробництва плоского металопрокату, вона, зазвичай, передбачає виконання операцій розрізання з метою забезпечення заданої форми та розмірів готової продукції. Ці операції, як правило, є складовою частиною технологічного процесу, виконуються на завершальних стадіях виробництва плоского металопрокату і мають безпосередній вплив на якість готової продукції. Тому постійне вдосконалення технології та обладнання процесів розрізання плоского металопрокату є важливою складовою отримання конкурентоспроможної продукції.

Операції розрізання також можуть застосовуватись для розділення на мірні частини розкатів на проміжних етапах технологічного процесу прокатки, але більш важливу роль, для забезпечення якості металопродукції, мають операції розрізання прокату на мірні довжини та обрізання бічних кромek плоского металопрокату для утворення кінцевої форми. З цією метою операції розрізання, насамперед, застосовують для видалення переднього і заднього некондиційних кінців розкату (рис. 1).

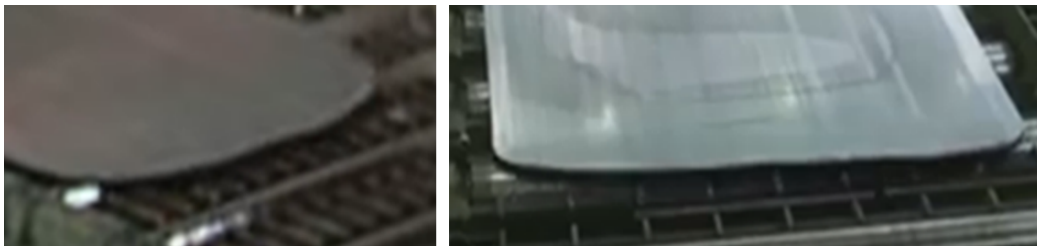


Рисунок 1. Фото некондиційних кінців розкату, які підлягають обрізанню

Для реалізації операцій розрізання, до складу сучасних прокатних станів включають різноманітне обладнання, а розділовий процес може здійснюватися як механічним, так і термічним способами. Слід зазначити, що механічний спосіб розрізання є найбільш ефективним, а його реалізація може здійснюватися шляхом різання, коли відбувається часткове видалення металу з зони розділення (Ishchenko A.A. & Kapustin S.V 2023), або шляхом здвигу металу, без часткового видалення металу з зони розділення.

Реалізація розділової операції механічним способом шляхом здвигу дозволяє отримувати металопродукцію високої якості з максимальною продуктивністю і мінімальними втратами металу. Крім того, застосування такого способу розрізання дозволяє виключити можливість виникнення нерівномірності механічних властивостей по перетину готового плоского металопрокату, яка має місце при застосуванні термічних способів розрізання, які, як правило, передбачають локальне перегрівання металу, що загалом суттєво знижує якість готової продукції.

Механічний спосіб розрізання плоского металопрокату шляхом здвигу, зазвичай передбачає використання ножиць різного типу (Vishtak & Kobylyansky, 2015). При цьому слід зазначити, що ножиці, які використовуються в лініях розрізання прокатних станів є машинами одними з найбільш складних по кінематиці та конструкції, що входять в комплекс прокатного стану. Такі агрегати (ножиці) суттєво різняться за призначенням, конструкцією та принципом дії. Зокрема, розрізняють ножиці для поперечного і поздовжнього розрізання. До першої групи зокрема відносяться ножиці з похилим ножом (гільйотинні), які застосовуються для поперечного розрізання як плоского так і сортового металопрокату (Grechany, 2017).

Конструктивно ножиці з похилим ножом для розрізання плоского металопрокату бувають двох типів: відкритого (показаного на рис. 2, а) та закритого (поданого на рис. 2, б).

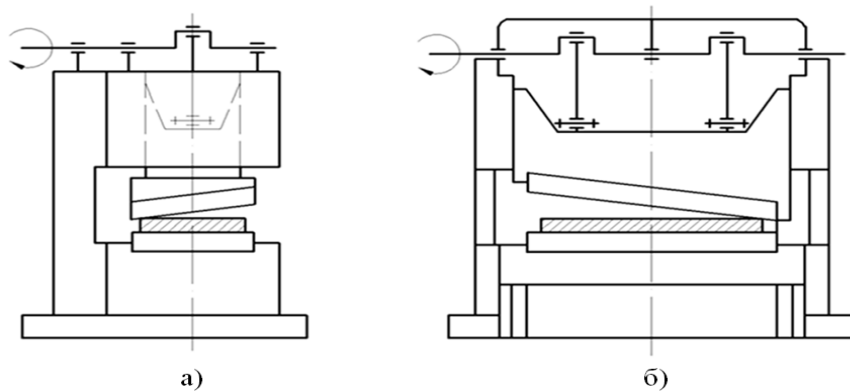


Рисунок 2. Схеми гільйотинних ножиць, відкритого (а) і закритого (б) типів, які використовуються для розрізання плоского металопрокату

Для реалізації операції поперечного розрізання у потоці прокатного стану застосовують, переважно, ножиці закритого типу, які мають дві станини, з'єднані знизу траверсою. У просвіті між станинами переміщується супорт із закріпленим на ньому ножом, при цьому рухомим може бути як верхній, так і нижній ніж. Застосування для розрізання плоского металопрокату похилого ножа забезпечує, поступовий локальний контакт між ножом та металопрокатом, що знижує силу розрізання за рахунок збільшення необхідного ходу ножа. При цьому досить розповсюдженим є використання ножиць з кутом нахилу ножа в межах $2^{\circ} \dots 3^{\circ}$. В той же час кут більше 5° використовується доволі обмежено через залишкові деформації у вигляді скручування плоского розрізаного металопрокату, а також утворення випуклості або вигину вузьких штаб (*Gustafsson et al., 2016*).

На рисунку 3, в якості прикладу, представлені гільйотинні ножиці з нижнім рухомим похилим ножом конструкції Новокраматорського машинобудівного заводу («НКМЗ», м. Краматорськ, Україна). Ці ножиці призначені для поперечного розрізання плоского металопрокату товщиною 6...10 мм та шириною 800...1800 мм. При цьому кут нахилу нижнього ножа складає 2° .

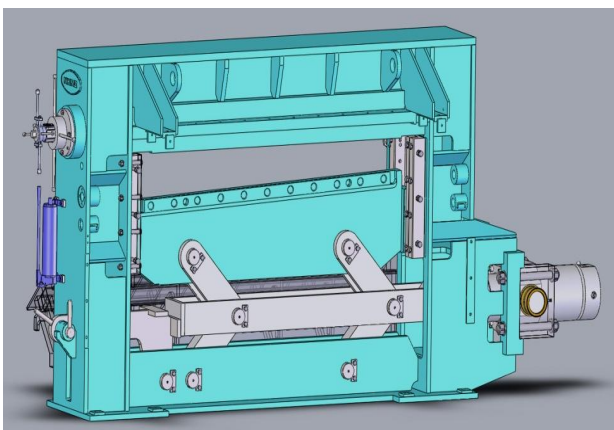


Рисунок 3. Конструкція ножиць для поперечного розрізання плоского металопрокату з нижнім рухомим похилим ножом («НКМЗ», м. Краматорськ, Україна)

Слід зазначити, що досить часто для поперечного розрізання плоского металопрокату використовують більш складний у виготовленні двосхилий ніж, який ще називають «шевронним». Схема розрізання плоского металопрокату таким ножом показана на рис. 4. Така реалізація процесу поперечного розрізання плоского металопрокату має певні переваги

в порівнянні з розрізанням звичайним гільйотинним ножем. Зокрема, в даному випадку, лист займає більш стійке положення внаслідок врівноваження горизонтальних складових сили розрізання, що потенційно дозволяє збільшити кут нахилу робочих кромки та зменшити необхідну величину переміщення ножа при розрізанні.

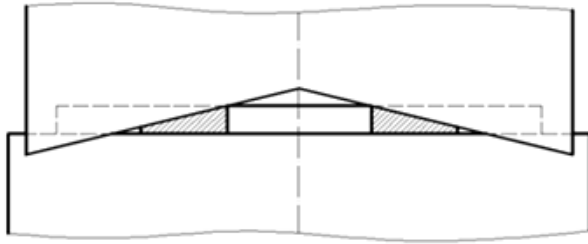


Рисунок 4. Схема розрізання плоского металопрокату двохилим (шевронним) ножем

У якості прикладу можна привести ножиці, які представлені на рисунку 5. Ці ножиці також розроблені співробітниками «НКМЗ», та передбачають використання шевронного ножа для поперечного розрізання плоского металопрокату товщиною 5...25 мм та шириною 1000...2350 мм. При цьому кут нахилу похилих поверхонь, при використанні шевронного ножа, становить 3° .

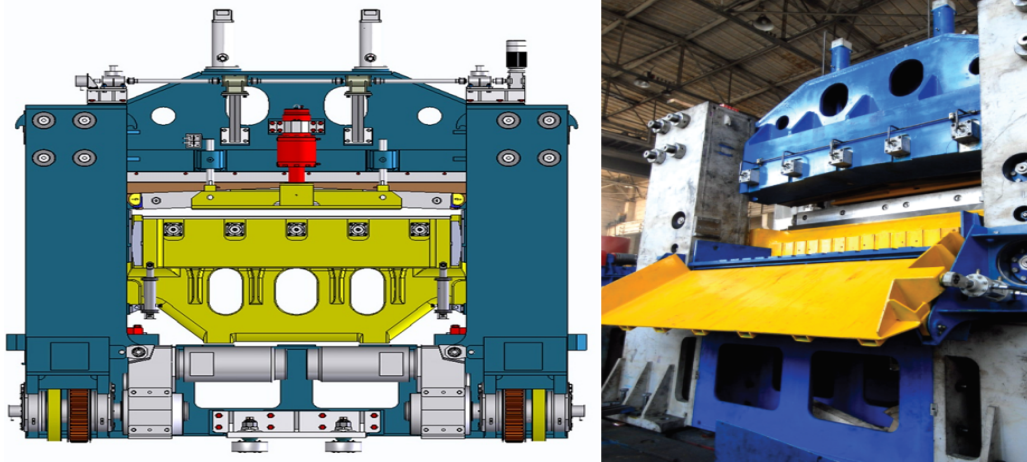


Рисунок 5. Конструкція ножиць для поперечного розрізання плоского металопрокату з шевронним ножем («НКМЗ», м. Краматорськ, Україна)

Отже, ножиці для поперечного розрізання плоского металопрокату є важливим та затребуваним обладнанням, яке використовують при виробництві плоского металопрокату. Їх виготовлення, в умовах машинобудівного виробництва, потребує, при розробці техніко-комерційних пропозицій на поставку обладнання ліній розрізання плоского металопрокату, зокрема ножиць з похилим ножем, мати інструменти для виконання адекватної попередньої оцінки наявних техніко-економічних рішень. Ця вимога потребує від інженера-конструктора досить широкого та всебічного розуміння як самого технологічного процесу розрізання, так і технічних рішень, що можуть бути використані для його вдосконалення. Крім того, є необхідність моделювання широкого спектру можливих припустимих умов реалізації процесу розрізання з метою встановлення загальних вимог та виявлення оптимальних технологічних параметрів (Grechany et al., 2021). Відповідно це, передбачає розробку та використання математичних моделей процесу розрізання (Gustafsson et al., 2014). Дані моделі мають враховувати якісну та комерційну складову виготовлення обладнання для розрізання металопрокату.

Вочевидь, що енергосилові показники операції розрізання є вагомими факторами, які впливають на собівартість обладнання. Зокрема, для процесу поперечного розрізання

плоского металопрокату на ножицях з похилим ножом, одним з найважливіших технологічних параметрів є максимальна сила розрізання. При цьому, з огляду на існуючі методики, можна стверджувати, що ця величина залежить від комплексу пов'язаних технологічних параметрів процесу розрізання, які включають товщину та механічні властивості металопрокату, а також кут нахилу ножа. Максимальні значення сили розрізання мають місце при розрізанні плоского металопрокату максимальної закладеної в проєкті товщини та з максимальними значеннями межі міцності розрізуваного матеріалу.

Відповідно металоємність ножиць для поперечного розрізання плоского металопрокату буде залежати від ширини розрізуваного листа чи штаби, та механічних властивостей матеріалу з якого вони виготовлені. Отже, при проєктуванні ножиць важливо мати математичну модель залежності металоємності проєктованих ножиць від значення максимальної сили розрізання та ширини розрізуваного плоского металопрокату. Наявність такої математичної моделі дозволить більш обґрунтовано та об'єктивно приймати рішення при висуненні техніко-комерційних пропозицій на поставку обладнання процесу поперечного розрізання плоского металопрокату.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

В умовах машинобудівного виробництва, при попередній оцінці собівартості ножиць для поперечного розрізання плоского металопрокату, необхідно мати уявлення про їх металоємність, що на даному етапі уявляється можливим лише шляхом пошуку схожих аналогів, та подальшої експертної оцінки з урахуванням удільної собівартості. Однак такий підхід, особливо в умовах жорстких обмежень у часі, може призвести до суттєвої похибки при визначенні собівартості та, як наслідок, зменшенню рентабельності виробництва, або навіть отриманню збиткового контракту. Тому, при розробці техніко-комерційних пропозицій на поставку обладнання ліній розрізання плоского металопрокату прокатних станів, доцільно використовувати математичні моделі, які дозволяють попередньо оцінювати металоємність проєктованих ножиць в залежності від технологічних умов реалізації розділової операції.

Проведений аналіз даних з джерела (*Leonov et al., 1972*) дозволяє отримати набір основних технологічних параметрів відомих ножиць з похилим ножом, які використовуються для розрізання плоского металопрокату. Сформований набір даних, який представлений у таблиці 1, може бути використаний для отримання математичної моделі розподілу значень металоємності ножиць в залежності від максимальної сили розрізання та найбільшої ширини розрізуваного плоского металопрокату.

Таблиця 1. Технологічні параметри відомих ножиць з похилим ножом, які використовуються для розрізання плоского металопрокату

№ з/п	Модель відомих ножиць	Максимальна ширина розрізуваного плоского металопрокату, мм	Максимальна товщина розрізуваного плоского металопрокату (при межі міцності 500 МПа), мм	Кут нахилу ножа	Маса відомих ножиць, кг
1	НБ331 4	1600	2,5	1°20'	3100
2	НГ474	2000	4	1°20'	3600
3	Н3218 6	2000	6,3	1°30'	5360
4	Н3218 Б	3200	6,3	1°30'	10000
5	Н3121	2000	12,5	2°10'	8650
6	Н3211	3200	12,5	1°40'	20000
7	НБ478	3200	16	2°10'	24000
8	Н481А	3200	20	2°10'	33150
9	Н482	3200	25	2°50'	37900
10	Н483	3200	32	3°	40570

11	2513	4000	6	1°10'	15400
12	4310	3000	13	1°45'	16100
13	6210R	3000	16	1°45'	26300
14	6210	3000	20	2°20'	26300
15	10010	3000	25	3°	35500
16	100-10-S	3000	32	3°20'	37200

Слід зазначити, що для отримання адекватної математичної моделі, металоемність ножиць доцільно представити у співвідношенні до максимально допустимої ширини розрізуваного плоского металопрокату.

Таким чином, використовуючи дані з таблиці 1 на початковому етапі був отриманий відповідний розподіл, який представлений на рисунку 6. При цьому значення максимальної сили розрізання розраховувалось з використанням методики поданої в роботі (Seleznov, 2013) відповідно до характеристик ножиць вказаних в таблиці 1.

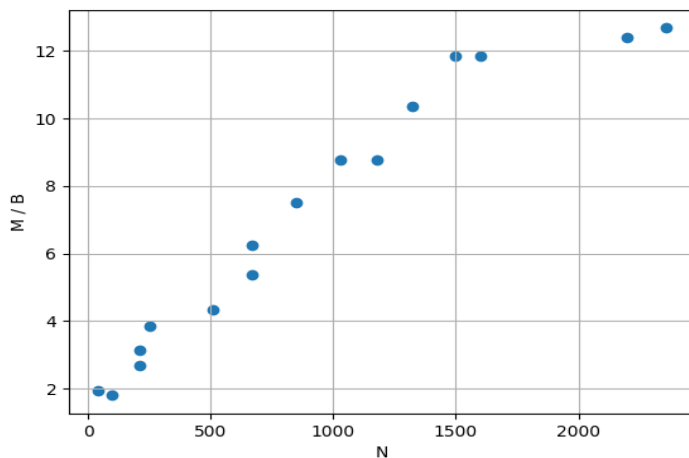


Рисунок 6. Розподіл значень маси існуючих ножиць M (представленої у співвідношенні до максимальної ширини B плоского металопрокату) в залежності від величини максимально допустимої сили розрізання N (кН)

Загальний аналіз розподілу, представленого на рис. 6, дозволяє попередньо встановити, що між зазначеними величинами дійсно вбачається явно виражений зв'язок, який має нелінійний характер, але може бути встановлений за рахунок застосування процедури лінеаризації. При цьому очевидно, що для опису залежності може бути підібраний математичний вираз, який дозволить визначати металоемність проєктованих ножиць з урахуванням максимально допустимого значення сили розрізання та максимальної ширини розрізуваного плоского металопрокату. Це в подальшому може бути використано, в умовах машинобудівного виробництва, при розробці техніко-комерційних пропозицій на поставку обладнання ліній розрізання плоского металопрокату.

Результати (Results)

На базі проведеного аналізу характеристик відомих ножиць для розрізання плоского металопрокату похилим ножом, в рамках даної роботи була отримана математична модель, що описує залежність маси проєктованих ножиць M (представленої у співвідношенні до найбільшої допустимої ширини B розрізуваного плоского металопрокату) від величини максимальної сили розрізання N . Ця залежність має наступний вигляд:

$$\frac{M}{B} = 0,39 + 0,04 \cdot N^{0,49} \cdot \ln(N), \quad (1)$$

де M – маса ножиць для розрізання плоского металопрокату похилим ножом, кг.;
 B – максимально допустима ширина розрізуваного плоского металопрокату, мм.
 N – максимально допустима сила розрізання, кН.

При цьому окремо слід зазначити, що константи рівняння (1) визначалися з використанням методу найменших квадратів.

На рисунку 7, для наочності, представлений попередньо отриманий розподіл (див. рис. 6) разом з відповідною залежністю, отриманою за допомогою виразу (1). Якість отриманої математичної моделі загально можна оцінити на підставі визначення коефіцієнту детермінації, який в даному випадку складає $R^2 = 0,963$, що свідчить про високу міру залежності варіації маси проєктованих ножиць від значення максимальної сили розрізання.

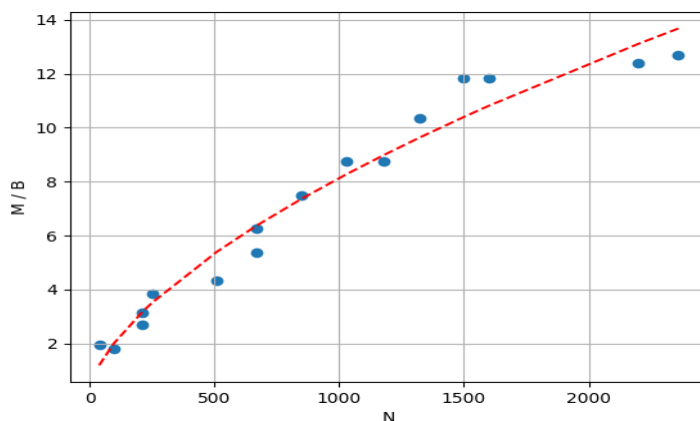


Рисунок 7. Модельований та реальний розподіли значень маси ножиць M (представленої у відношенні до максимальної ширини B , розрізуваного плоского металопрокату) в залежності від величини максимально допустимої сили розрізання N (кН)

З виразу (1) очевидно, що для визначення металоємності проєктованих ножиць для розрізання плоского металопрокату похилим ножом остаточно може бути використаний наступний математичний вираз:

$$M = B(0,39 + 0,04 \cdot N^{0,49} \cdot \ln(N)), \quad (2)$$

Використання виразу (2) дозволяє попередньо оцінити металоємність проєктованих ножиць для поперечного розрізання плоского металопрокату похилим ножом, що, в умовах машинобудівного виробництва, дозволить більш обґрунтовано висувати нові та корегувати наявні техніко-економічні рішення щодо виготовлення та поставки обладнання ліній поперечного розрізання плоского металопрокату.

Також вираз (2) в подальшому може бути використаний при створенні програмного забезпечення, яке потенційно дозволить фахівцям отримати зручний інтерфейс для автоматизованого розрахунку необхідних технологічних параметрів процесу розрізання плоского металопрокату на ножицях з похилим ножом, який, завдяки проведеному дослідженню, може бути доповнений можливістю прогнозування металоємності проєктованих ножиць. Це може бути використано для визначення оптимальних технологічних умов реалізації процесу поперечного розрізання плоского металопрокату, та оцінки можливості зменшення собівартості проєктованих ножиць з урахуванням можливого впливу на якість готової продукції.

Слід зазначити, що отримана математична модель потенційно може бути використана при проектуванні ножиць для поперечного розрізання як з односхилим (гільйотинним), так і з двосхилим (шевронним) ножем, оскільки ці ножиці досить часто мають спільні основні конструктивні ознаки та принцип дії. При цьому, ефективне використання отриманої математичної моделі, в даному випадку, може потребувати її подальшого уточнення та адаптації під інші типи ножиць. Це може бути особливо корисно при необхідності висування техніко-комерційних пропозицій, які передбачають виготовлення ножиць різних типів.

Висновки (Conclusions)

Ножиці для розрізання плоского металопрокату є невід'ємною складовою комплексу технологічного обладнання прокатного виробництва листового металу. Головною задачею машинобудівного виробництва, при розробленні техніко-комерційних пропозицій на поставку обладнання ліній розрізання прокату в умовах прокатних станів, є створення можливостей для швидкого та максимально точного визначення собівартості пропонованого технологічного обладнання. Це потребує наявності у інженера-конструктора можливості попереднього визначення металоємності проєктованих ножиць, які є основною складовою обладнання ліній розрізання плоского металопрокату.

На теперішній час попереднє визначення металоємності ножиць для розрізання плоского металопрокату можливе шляхом експертної оцінки, яка ґрунтується на існуючих аналогах. Однак такий підхід потребує узагальнення та систематизації, щоб виключити елементи суб'єктивізму та можливість суттєвої похибки при визначенні собівартості обладнання і, як наслідок, підвищити рентабельність виробництва. Тому в межах даної роботи на базі проведеного аналізу наявних фактичних даних по основним характеристикам відомих ножиць, була розроблена математична модель, яка дозволяє визначити металоємність проєктованих ножиць з похилим ножем, та здатна враховувати максимальну силу розрізання та максимальну ширину розрізуваного плоского металопрокату.

Отримана математична модель може бути ефективною при застосуванні для попередньої оцінки металоємності проєктованих ножиць при розробці техніко-комерційних пропозицій на поставку обладнання ліній розрізання плоского металопрокату на ножицях з похилим ножем. З її допомогою потенційно може визначитися металоємність ножиць як з односхилим (гільйотинним), так і двосхилим (шевронним) ножем. При цьому може бути необхідне подальше уточнення отриманої залежності шляхом розширення та актуалізації вихідного набору даних.

Використання отриманої математичної моделі дозволяє більш ефективно та обґрунтовано сформулювати собівартість необхідних до проектування ножиць та оцінити можливість зменшення їх кінцевої вартості з урахуванням металоємності обладнання та основних технологічних показників операції розрізання плоского металопрокату. Крім того, можливе подальше використання отриманої математичної моделі при розробці програмних засобів автоматизованого проектування технології розрізання плоского металопрокату на ножицях похилим ножем.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, С.М.; формальний аналіз, С.М. та Б.П.; Методологія, С.М. та Б.П.; візуалізація, С.М; оригінальна чернетка, С.М; перегляд і редагування Б.П. Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Grechany, O.M. (2017). Obgruntuvannya vyboru tekhnichnykh parametriv hiliotynnykh nozhyts prokatnoho stanu. *Metalurhiia*, 2 (38), 126–130. <https://dspace.znu.edu.ua/jspui/handle/12345/481>
- Grechany, O.M., Vasylenko, T. O., Vlasov, A. O., & Karmazin, M. O. (2021). Analiz mozhyvykh shliakhiv pidvyschennia produktyvnosti obladnannia potokovykh liniy prokatnykh tsekhiv. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 3 (78), 36–42. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2021_3_6
- Gustafsson, E., Karlsson, L., & Oldenburg, M. (2016). Experimental study of forces and energies during shearing of steel sheet with angled tools. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 11, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40712-016-0063-1>
- Gustafsson, E., Oldenburg, M., & Jansson, A. (2014). Design and validation of a sheet metal shearing experimental procedure. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(11), 2468–2477. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.05.013>
- Ishchenko A.A.&Kapustin S.V (2023). Analiz sposobiv rozkroiu zahotovok v liniakh prokatnykh staniv. *Nauka ta vyrobnytstvo*, (25), 20–26. <https://doi.org/10.31498/2522-9990252023286596>
- Koh, A.K. (2022). Oglyad suchasnih товстолістових прокатних станів для виробництва товстих листів. *Mizhnarodna naukova internet-konferenciya «Informacijne suspilstvo: tehnologichni, ekonomichni ta tehnicni aspekti stanovlennya»*, 65 67–71. http://konferenciaonline.org.ua/data/downloads/file_1652961131.pdf#page=67
- Leonov, Y.S., Fuha, H.P., Krylov, H.L., & Pesotskyi, V.H. (1972). Nozhnytsi dlia rezky lystovoho i sortovoho prokata. M.: Mashynostroenye. 376 pp.
- Seleznov, M.E. (2013). Opredelenie maksimalnogo usiliya pri poperechnoj rezke tolstolistovykh raskatov shevronnym nozhom slozhnoy formy. *Sbornik nauchnykh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*, 41, 173–178. http://nbuv.gov.ua/UJRN/sntdgtu_2013_41_29
- Sukov, G.S., & Byvshev, A.P. (2013). Novoe effektivnoe plyus nezasluzhenno zabytoe staroe. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1), 4–6. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_6%281%29_2
- Vishtak I.V., &Kobylyansky, E.O. (2015). Ohliad obladnannia dlia mekhanichnoi obrobky metalu. *Bulletin of engineering and transport*, 2, 15–22. <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/view/20/23>




JEL: L640

DOI: 10.62911/ete.2024.02.01.12


Reducing the likelihood of material hanging when loading a coarse crusher


Citation:

Zaselskyi, I., Zaitsev, H., Shefer, V. & Havrylov, E. (2024). Reducing the likelihood of material hanging when loading a coarse crusher. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering". Vol. 2 No. 1 (2024), 145–157. <https://doi.org/10.62911/ete.2024.02.01.12>

Ihor Zaselskiy
Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: zaselskiy_iv@duet.edu.ua
 ORCID iD: 0000-0002-4834-4027

Hennadii Zaitsev
PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Volodymyr Shefer
Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: shefer_vo_23861@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0009-0007-0200-9251

Eduard Havrylov
Postgr, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine
e-mail: havrylov_eh_23862@kneu.dp.ua
 ORCID iD: 0009-0009-4293-3902

Received: 11/03/2024

Accepted: 10/04/2024

Abstract: Many years of experience in the operation of coarse cone crushers of the type KKD 1500/180 at a number of enterprises of Metinvest Kryvyi Rih has shown that when mineral raw materials are loaded into the flowing part of the crusher feed path, uneven feeding occurs as a result of large elongated pieces hanging in the intake pit, which leads to significant periods of idle and unproductive operation of crushers, resulting in significant unproductive costs for their elimination. The aim of the work was to conduct laboratory studies related to determining the reduction of the probability of formation of stable forms of material suspension when loading it into a coarse crusher. To achieve this goal, an empirical-analytical research method was used, where the hypothesis was put forward that the probability of the appearance of hang-ups in the crusher feed path can be significantly affected by the configuration of a specially configured deflector grate located in the intake pit of the raw material fed by weight to the crusher entrance. To test this hypothesis, laboratory devices have been developed that can simulate the processes of material suspension in the crusher feed path in two-dimensional and three-dimensional forms. As a result of the laboratory experiments, it was found that the configuration of the deflector grid does affect the probability of hang-ups in the feed path and their probability of hang-ups in the two-dimensional laboratory setup was reduced by 20%, and in the three-dimensional one - by 24.1% compared to the currently existing crusher feed path. The analysis of the results shows that the lowest probability of hang-ups in the three-dimensional laboratory model is provided by a transverse grate in a row with one longitudinal rod. Moreover, the contour formed by the entry points of the transverse rods of the grating into the side wall of the receiving pit should be equidistant to the contour of the rock cushion on the same wall. The distance between the equidistant and the forming curve should be at least two maximum rock block sizes. The use of such a grid can significantly reduce unproductive downtime of the crusher and significantly reduce the material costs involved in the process of crushing mineral raw materials.

Keywords: crusher; feed path; probability of sticking; deflector grate; equidistant.




JEL: L640

Reducing the likelihood of material hanging when loading a coarse crusher

Ihor Zaselskiy

Assoc. Prof. PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: zaselskiy_iv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-4834-4027

Hennadii Zaitsev

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Volodymyr Shefer

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: shefer_vo_23861@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0007-0200-9251

Eduard Havrylov

Postgr., State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: havrylov_eh_23862@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0009-4293-3902


Abstract: Many years of experience in the operation of coarse cone crushers of the type KKD 1500/180 at a number of enterprises of Metinvest Kryvyi Rih has shown that when mineral raw materials are loaded into the flowing part of the crusher feed path, uneven feeding occurs as a result of large elongated pieces hanging in the intake pit, which leads to significant periods of idle and unproductive operation of crushers, resulting in significant unproductive costs for their elimination. The aim of the work was to conduct laboratory studies related to determining the reduction of the probability of formation of stable forms of material suspension when loading it into a coarse crusher. To achieve this goal, an empirical-analytical research method was used, where the hypothesis was put forward that the probability of the appearance of hang-ups in the crusher feed path can be significantly affected by the configuration of a specially configured deflector grate located in the intake pit of the raw material fed by weight to the crusher entrance. To test this hypothesis, laboratory devices have been developed that can simulate the processes of material suspension in the crusher feed path in two-dimensional and three-dimensional forms. As a result of the laboratory experiments, it was found that the configuration of the deflector grid does affect the probability of hang-ups in the feed path and their probability of hang-ups in the two-dimensional laboratory setup was reduced by 20%, and in the three-dimensional one - by 24.1% compared to the currently existing crusher feed path. The analysis of the results shows that the lowest probability of hang-ups in the three-dimensional laboratory model is provided by a transverse grate in a row with one longitudinal rod. Moreover, the contour formed by the entry points of the transverse rods of the grating into the side wall of the receiving pit should be equidistant to the contour of the rock cushion on the same wall. The distance between the equidistant and the forming curve should be at least two maximum rock block sizes. The use of such a grid can significantly reduce unproductive downtime of the crusher and significantly reduce the material costs involved in the process of crushing mineral raw materials.
Keywords: crusher; feed path; probability of sticking; deflector grate; equidistant.

Зменшення ймовірності зависання матеріалу при завантаженні дробарки крупного дроблення

Ігор Засельський

доцент, к.т.н, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: zaselskyi_iv@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0002-4834-4027

Геннадій Зайцев

к т.н, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: zaitsev@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Володимир Шефер

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: shefer_vo_23861@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0007-0200-9251

Едуард Гаврилов

аспірант, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: havrylov_ah_23862@kneu.dp.ua

 ORCID iD: 0009-0009-4293-3902

Анотація: Багаторічний досвід експлуатації конусних дробарок крупного дроблення типу ККД 1500/180 на ряді підприємств компанії «Метінвест» у місті Кривий Ріг показав, що при завантаженні мінеральної сировини у проточну частину живильного тракту дробарок виникає нерівномірна її подача в результаті зависання великих шматків подовженої форми в приймальній ямі, внаслідок цього спостерігаються суттєві періоди холостої і непродуктивної роботи дробарок, що призводить до суттєвих непродуктивних витрат на їх усунення. Метою роботи було проведення лабораторних досліджень, пов'язаних з визначенням зменшення ймовірності утворення стійких форм зависання матеріалу при завантаженні його в конусну дробарку крупного дроблення. Для досягнення поставленої мети використовувався емпірично-аналітичний метод дослідження, що підтверджує гіпотезу про ймовірність появи зависань в тракті живлення дробарки і на це може суттєво вплинути конфігурація спеціально зконфігурованої дефлекторної решітки, розташованої в приймальній ямі сировини, що подається силою ваги на вхід у дробарку. Для перевірки висунутої гіпотези були розроблені лабораторні пристрої, в яких можуть моделюватися процеси виникнення зависання матеріалу в тракті живлення дробарки в двовимірній та тривимірній формах. У результаті проведених лабораторних експериментів встановлено, що конфігурація рефлекторної решітки дійсно впливає на ймовірність появи зависань в тракті живлення і їх ймовірність зависань в двовимірній лабораторній установці вдалося знизити на 20%, а в тривимірній – на 24,1% порівняно з існуючим на даний час трактом живлення дробарки. Аналіз отриманих результатів показує, що найменша ймовірність зависань у тривимірній лабораторній моделі дає поперечна решітка в один ряд з одним повздовжнім стрижнем. Причому контур, утворений точками входу поперечних стрижнів решітки у бокову стінку приймальної ями, повинен бути еквідистантним контуру породної подушки на ту ж стінку. Відстань між еквідистантою і кривою, що утворилася, повинна дорівнювати не менше, чим двом максимальним розмірам породної брили. Використання такої решітки може суттєво знизити непродуктивні простой дробарки і суттєво зменшити матеріальні витрати, які йдуть на процес дроблення мінеральної сировини.

Ключові слова: дробарка; тракт живлення; ймовірність зависання; дефлекторна решітка; еквідистанта.

Вступ (Introduction)

Процес підготовки видобутої мінеральної сировини на великих залізорудних підприємствах починається зі стадії крупного дроблення на конусних дробарках типу ККД-1500/180. Застосування в циклі переділу мінеральної сировини конусних дробарок пояснюється тим, що ці дробарки мають значну перевагу перед іншими конструкціями дробарок, а саме: висока продуктивність, яка пояснюється відсутністю холостого ходу, безперервним процесом дроблення, здійснюваним, якщо у її зів постійно подається необхідна мінеральна сировина.

На підприємствах, що займаються збагаченням залізорудної сировини, наприклад, компанія «Метінвест» у Кривому Розі робить все необхідне, щоб забезпечити таку безперервну подачу сировини на вході до дробарок ККД-1500/180. Проте, як показує практика, досягти безперервної подачі мінеральної сировини на вході в дробарку вдається далеко не завжди, тому що відбувається зависання в результаті заклинювання найбільш крупних шматків сировини на вході до дробарки. Внаслідок цього спостерігаються суттєві періоди холостої і непродуктивної роботи дробарок навіть до моменту звільнення приймальної ями від завалів.

Завали, внаслідок зависання гірської породи, походять від того, що видобута гірська порода, яка вивантажується з думпкарів до приймальних ям дробарок (див. рис. 1), має широкий розкид у розмірах та формі шматків мінеральної сировини. Неминуча наявність великих шматків подовженої форми мінеральної сировини призводить до випадкового утворення зависань у каналі живлення, а розбирання виниклих зависань за допомогою кранового обладнання, навіть за високого професіоналізму операторів, призводить до відчутних витрат часу.



Рисунок 1. Зліва направо, зверху вниз – процес послідовної ліквідації зависання в живильному тракті дробарки

Вказані обставини не дозволяють проводити безперервний процес розвантаження думпкарів, заповнення приймальної ями доверху стає неможливим через неспроможність дістатися до завислих шматків під товщею матеріалу, що знаходиться в ямі. Все це призводить до того, що основна перевага дробарок типу ККД не може бути повністю реалізована.

Таким чином, проблема зменшення ймовірності форм зависання шматкової мінеральної сировини, що випадково утворюються, є дуже актуальною.

Проблемам зависання сипких матеріалів присвячено багато наукових та інженерних досліджень як вітчизняних так і закордонних авторів (*Loveikinetal., 2010*), (*Kompanieishchykovetal., 2017*), (*Volokhetal., 2019*). Однак досліджень, що стосуються зависань сипкого матеріалу при завантаженні його в конусні дробарки крупного дроблення проведено не було.

З наведеного витікає, що для збільшення ефективності роботи всього циклу дроблення мінеральної сировини потрібно суттєво зменшити ймовірність утворення стійких форм зависання. Саме на це був спрямований запропонований пристрій (дефлектор), розглянутий у статті, що дозволяє структурувати матеріал у приймальній ямі.

Метою роботи було проведення лабораторних досліджень, пов'язаних з визначенням зменшення ймовірності утворення стійких форм зависання матеріалу при завантаженні його в конусну дробарку крупного дроблення.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Завантаження мінеральної сировини в дробарку крупного дроблення проводиться самопливом у її відкритий зів під дією сили гравітації. При цьому зів дробарки розташовується в днищі приймальної ями, а сама дробарка встановлена під ямою (*Smyrnovetal., 2012*), (*Smyrnovetal., 2013*), (*Sokur et al., 2017*), (*Sokur et al., 2020*). У кутових зонах ями утворюється подушка з дрібнокускової сировини, а стінки подушки утворюють приймальну вирву, куди і засипається мінеральна сировина з думпкарів.

Мінеральна сировина вологістю до 5%, що подається у вирву, має суттєвий розкид за формою і крупністю її шматків, який можна спостерігати на рис. 1 та гранулометричному складі, який наведено у табл.1.

Таблиця 1. Гранулометричний вміст сировини у думпкарі

Крупність, мм	1200	1030	860	690	520	350	180	10
Відносний вміст в об'ємі, що спостерігається, %	1	1	5	8	18	25	25	17

Завантаження такого різномірного за крупністю і формою шматкового матеріалу призводить до того, що в деяких випадках шматки сировини утворюють сталі форми зависання. При цьому живлення дробарок припиняється, що призводить до суттєвих ресурсних втрат. Взагалі через утворення форм зависання в тракті живлення ефективність рудопідготовки суттєво зменшується, при цьому таке зменшення має ймовірнісний характер.

З теорії ймовірностей відомо, що на ймовірність несприятливого результату можна вплинути, якщо створити невідповідний розподіл деякої величини (*Sliusarchuk, 2005*), (*Naikoetal., 2020*).

Внаслідок того, що брили переважно мають видовжену форму, з'являється можливість встановити дефлектор визначеної конструкції, за допомогою якого вдасться примусово структурувати потік шматкової сировини у приймальну вирву за параметром їх форми і розташування. Дефлектор в широкій частині приймальної вирви загальмує рух виключно великих шматків, залишаючи можливість усім іншим, більш дрібним шматкам, рухатися безперешкодно. Дрібні шматки будуть поглинені дробаркою, а великі, прийшовши до зіву дробарки пізніше дрібних, матимуть меншу ймовірність утворення форм зависання за рахунок викладення в потоку за напрямом до зіву.

Концепція дефлектора полягає в тому, що у вирву, встановлюється решітка зі спеціально підібраними параметрами, які умовно наведені на рис. 2. Параметрами решітки являються розмір комірки решітки (d) та відстань (h) між її ярусами. Величину визначення параметрів

решітки для досягнення найменшої ймовірності зависання рудної породи було метою спеціально поставлених експериментальних досліджень.

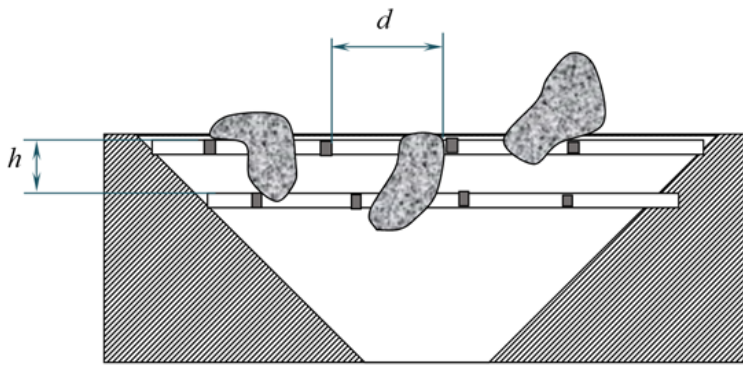


Рисунок 2. Принципова схема пристрою для структурування потоку кускового матеріалу при його завантаженні у зів дробарки

Результати (Results)

Для проведення попередніх досліджень впливу конфігурації решітки дефлектора на ймовірність зависання рудної породи була зроблена спочатку двовимірна лабораторна установка (рис. 3).

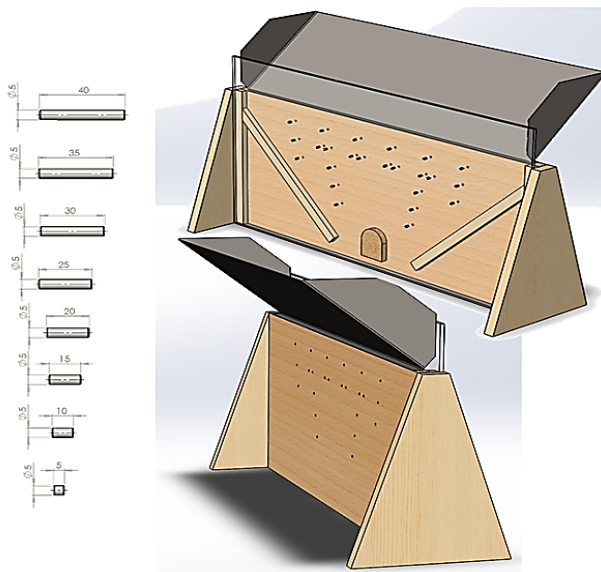


Рисунок 3. Загальний вид двовимірної лабораторної установки і елементів імітуючих матеріал (зліва), що підготовлені до проведення досліджень

Її двовимірність оправдана тим, що будь-яку форму просторового масиву можна уявити сукупністю його плоских форм по відповідним перерізам. У даному випадку використано повздовжній переріз по площині симетрії приймальної ями.

Лабораторна установка була виконана в масштабі 1:46 по відношенню до розмірів, що вказані на креслениках приймальної ями дробильної фабрики. Лабораторна установка (див. рис.3) складається з двох паралельних пластин, одна з яких є прозорою. Пластини розташовані одна від одної на відстані 6 мм і утворюють між собою щілину. Пластини всередині щілини мають поверхні, що у зазначеному масштабі відповідають контурам проточної частини приймальної вирви, і обтічника верхньої опори дробарки. Для завантаження щілина має металевий лист, завдяки якому в неї випадковим чином засипається матеріал, що імітує

реальні подовжені куски мінеральної сировини. Матеріал представляє собою відрізки сталевого дроту діаметром 5 мм і мають довжину та концентрацію у відповідності з гранулометричним складом гірської породи.

Обидві пластини мають наскрізні отвори, розсвердлені, як показано на рисунку. В будь-який з цих отворів можна вставляти цвяхи діаметром 2 мм, що є імітацією тіла дефлекторної решітки. Розмір і концентрація матеріалу масштабовано за допомогою фотографій породи у думпках. У таблиці 2 представлено гранулометричний склад досліджуваного матеріалу.

Таблиця 2. Гранулометричний склад досліджуваного матеріалу

Крупність елемента, мм	40	35	30	25	20	15	10	5
Відносний вміст в об'ємі, що спостерігається, %	1	1	5	8	18	25	25	17

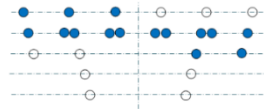
Експерименти полягали у підрахунку ймовірності утворення зависань при тій чи іншій конфігурації встановлених цвяхів. Слід зазначити, що на різних етапах лабораторні дослідження проводились серіями по декілька дослідів в кожній з них і їх кількість для отримання достовірних показників визначалась у відповідності до вимог теорії математичної статистики (*Vasylenko et al., 2011*), (*Ieremenko et al., 2013*).

В табл. 3 представлені результати досліджень, що були проведені для різноманітних конфігурацій розміщення цвяхів лабораторної установки та визначена ймовірність утворення зависань в кожному з випадків для двомірної моделі.

Таблиця 3. Результати досліджень про зниження зависань в дефлекторній решітці від розміщення цвяхів двомірної моделі

№ Серії експерименту в	Схема розміщення цвяхів на макеті установки	Кількість експериментів із зависаннями в серії	Ймовірність зависань, %
1		14	46,7
2		13	43,3
3		13	43,3
4		13	26,7
5		12	40
6		12	40

7



16

50,3

Як видно з наведених результатів, конфігурація розміщення цвяхів дефлекторної решітки може суттєво знизити ймовірність виникнення зависань у тракті живлення дробарки. Так, розташування чотирьох цвяхів в центрі решітки дозволяє знизити ймовірність зависань до 26,71 % (див. 4 експеримент).

Після проведення експериментів з двовимірною моделлю були виконані експерименти з застосуванням тривимірної лабораторної установки, яка для одного з серії експериментів наведена на рис. 4.



Рисунок 4. Лабораторна модель для шостої серії експериментів, яка дала найменшу ймовірність виникнення зависань матеріалу

Лабораторна установка виконана в масштабі 1:80 по відношенню до розмірів приймальної ями дробильної фабрики.

Для створення завантажувальної вирви був застосований гранітний відсів, у якого кут природнього відкосу збігається з залізною рудою дрібної фракції, що є рудною подушкою у приймальній ямі. Модель також має отвори в стінках коробки, для встановлення загороджувальних елементів дефлекторної решітки.

В якості матеріалу був використаний щебінь, форма і гранулометричний склад якого масштабуються з вмістом залізної руди у думпках та наведений в табл. 4.

Таблиця 4. Гранулометричний склад матеріалу, використаного у дослідах

Крупність шматків, мм	31	22	18	15	12	8	7	6	5
Вміст, %	3,2	3,2	6,5	6,5	3,2	9,7	22,5	19,4	25,8

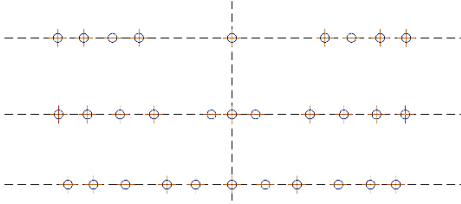
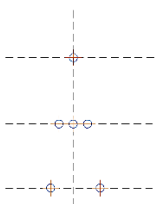
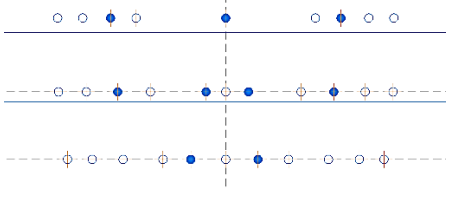
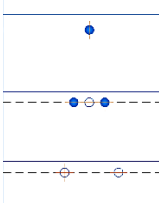
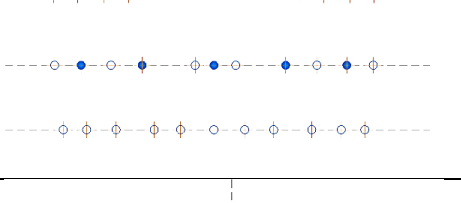
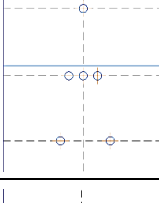
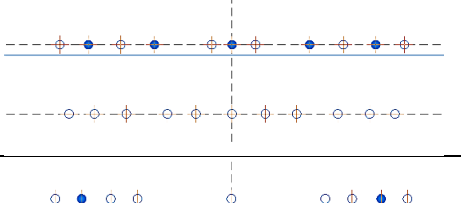
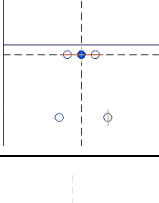
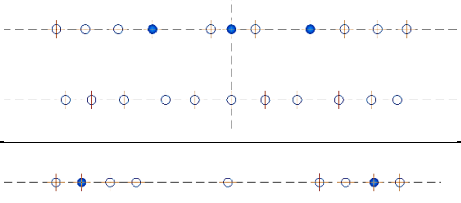
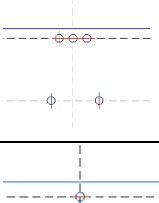
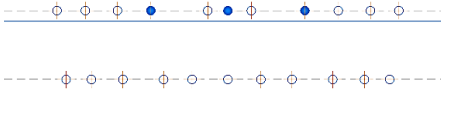
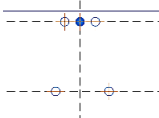
Всього було проведено 21 попередніх експериментів відповідно до шести конфігурацій решітки. Результати експериментів наведено в табл. 5.

За результатами експериментів було визначено, що найменшу ймовірність зависань має конфігурація решітки з шостої серії експериментів, яка склала 28,6%.

Далі були проведені ще додаткові 62 експерименти саме з цією конфігурацією решітки, а також для порівняння стільки ж для випадку з повною відсутністю решітки.

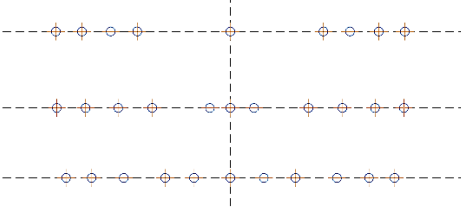
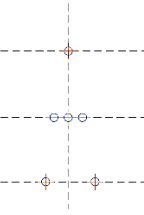
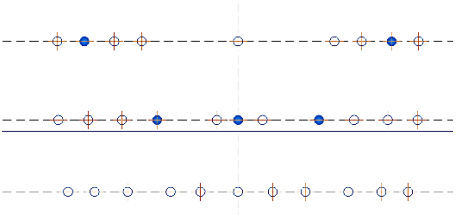
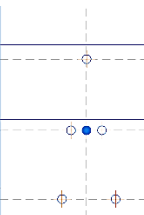
У даному випадку при вірогідності достовірного результату 95 % по критерію «прохідний чи непрохідний» канал живлення дробарки, було проведено всього 83 експерименти, за розрахунками згідно з (Nechaievetal., 2005), (Hryshchuk, 2008), (Tusheva, 2014). Розрахунки ймовірності появи зависання в тракті дробарки для цих двох серій експериментів наведено в табл. 6, лабораторна модель для експериментів, які дали найменшу ймовірність виникнення зависань, показана на рис. 4.

Таблиця 5. Результати експериментів з тривимірної моделі

№ Серії	Схема розташування стрижнів		Кількість експериментів із зависаннями в серії	Ймовірність зависань, %
	Головний вид	Вид з боку		
1			12	51,7
2			14	66,7
3			11	52,4
4			17	81,0
5			12	42,9
6			14	28,6

Аналіз отриманих результатів показує, що найменшу ймовірність зависань у тривимірній лабораторній моделі є поперечна решітка в один ряд з одним поздовжнім стрижнем. Причому контур, утворений точками входу поперечних стрижнів решітки у бокову стінку приймальної ями повинен бути еквідистантним контуру породної подушки на ту ж стінку. Як видно з рис. 4, відстань між еквідистантою і утворюючою кривою, що утворилася, дорівнює двом максимальним розмірам породної брили.

Таблиця 6. Загальні результати за урахуванням додаткових експериментів

№ Серії	Схема розташування шпажок		Кількість експериментів із зависаннями в серії	Ймовірність зависань, %
	Головний вид	Вид з боку		
1			43	51,8
6			23	27,7

Для реалізації технічного рішення запропонованого за схемою № 6, в якості конструктивного матеріалу обираємо залізничну рейку Р75.

Монтаж рейок виконується за певним порядком, який наведений на рис. 5. А саме, рейка 1 вкладається поздовжньо. Після чого встановлюються на кронштейни і до неї у вузлах перетину приєднуються нижні поперечні рейки 2 і їх ув'язка у вузлах перетину виконується за допомогою підкладної деталі знизу, та скоб зверху, які стискаються різьбовим з'єднанням (див. рис. 6).

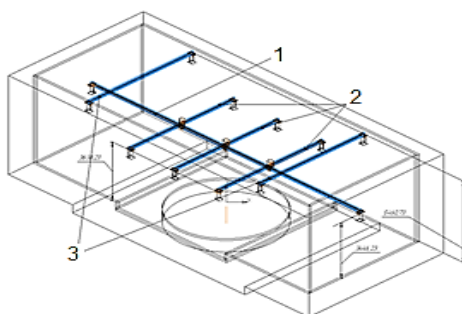


Рисунок 5. Схема укладки рейок

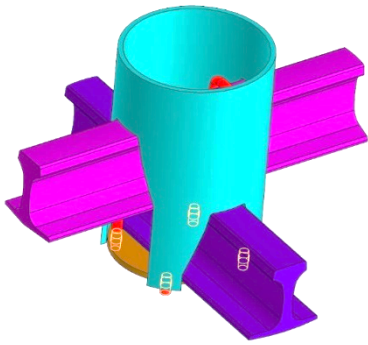


Рисунок 6. Зв'язок рейок із захисним кожухом

Вузли з'єднання захищаються циліндричними кожухами, внутрішня порожнина яких у робочому стані завалюються дрібною фракцією. Останніми встановлюються поперечні рейки 3 верхнього рівня. При експлуатації дефлекторної решітки одразу після її монтажу кути приймальної ями засипаються рудним матеріалом, утворюючи рудну подушку у вигляді завантажувальної вирви з природним укосом стінок, що дозволяє зручніше зруйнувати або вилучити негабаритні шматки різноманітними методами і засобами. (Terentiev,2018), (Novak,2020).

Висновки (Conclusions)

У процесі проведених лабораторних досліджень вперше зроблена спроба вирішити проблему зменшення суттєвих непродуктивних втрат часу, яка має місце при подачі вихідної сировини на вхід в конусну дробарку ККД-1500/180 внаслідок виникнення зависань окремих крупних шматків сировини у проточній частині живильного тракту дробарки.

Вперше висунута гіпотеза, що на ймовірність появи зависань в тракті живлення дробарки може суттєво вплинути конфігурація спеціально сконфігурованої дефлекторної решітки, розташованої в приймальній ямі сировини.

Для перевірки висунутої гіпотези проведені експериментальні дослідження впливу конфігурації дефлекторної решітки на ймовірність утворення зависань в тракті живлення дробарки.

Результати проведених лабораторних досліджень показали, що конфігурація дефлекторної решітки дійсно впливає на ймовірність появи зависань у тракті живлення – ймовірність утворення зависань в двовимірній лабораторній установці вдалося знизити на 20%, а в тривимірній – на 24,1 % відносно існуючого на даний час тракту живлення дробарки.

Аналіз отриманих результатів доводить, що найменшу ймовірність зависань у тривимірній лабораторній моделі дає поперечна решітка в один ряд з одним повздовжнім стрижнем. Причому контур, утворений точками входу поперечних стрижнів решітки у бокову стінку приймальної ями повинен бути еквідистантним контуру породної подушки на ту ж стінку. Відстань між еквідистантною кривою, що утворилася, повинна дорівнювати двом максимальним розмірам породної брили.

На основі результатів досліджень запропонована конструктивна схема дефлекторної решітки з її конструктивними елементами, що дозволить суттєво знизити непродуктивність простої конусної дробарки крупного дроблення.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Концептуалізація, адміністрація проекту, З.І.; перевірка, формальний аналіз, З.Г.; методика, програмне забезпечення, Ш.В.; візуалізація, аналітичні дані, Г.Е.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Hryshchuk Yu.S. (2008) *Osnovy naukovykh doslidzhen*. NTU KhPI
<http://web.kpi.kharkov.ua/ea/wp-content/uploads/sites/25/2017/02/OND-Ukr.pdf>
- Ieremenko V.S., Kuts Yu.V., Mokiichuk V.M., Samoilenko O.V. (2013) *Statystychnyi analiz danykh vymiriuvan*. NAU.
<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/1e99dc7d-33a1-48a3-8cbf-9f5747564b2b/content>
- Kompanieishchykov, I.S. Kovernyk, S.P., Hanzulenko S.M., Zlobin, V.V. (2017). *Systema usunennia zavysan sypkoho materialu u pryimalnykh bunkerakh*. *Metallurhiia : Zbirnyk naukovykh prats*, 2 (38), 111-115.
https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/478/1/Metallurgy_38_21.pdf
- Loveikin V.S., Shymko, L.S. Yaroshenko, V.V. (2010). *Ohliad doslidzhen vytku sypkyykh materialiv*. *Zahalno derzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, vol. 40, chast. I. 324-333.
<https://core.ac.uk/download/pdf/42032866.pdf>
- Naiko D.A., Shevchuk O.F. (2020). *Teoriia ymovirnosti i tamatematychna statystyka*. TOV TVORY.
<http://repository.vsau.org/getfile.php/24513.pdf>
- Nechaiev, V. P.; Beridze, T. M.; Kononenko, V. V.; Riabushenko, N. V.; Bradul, O. M. (2005) *Teoriia planuvannia eksperymentu: navch. posib*. Kondor.
http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe
- Sliusarchuk P.V. (2005) *Teoriia ymovirnosti ta matematychna statystyka*. Karpaty.
<https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/30615>
- Smyrnov, V. O., Biletskyi, V. S. Sholda, R.O. (2013) *Pererobka korysnykh kopalyn*. Skhidnyi vydavnychiy dim.
<https://core.ac.uk/download/pdf/162886491.pdf>
- Smyrnov, V. O., Biletskyi, V. S. (2012). *Pidhotovchi protses y zbahachennia korysnykh kopalyn*. Skhidnyi vydavnychiy dim.
<https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/07b8eef6-8d1e-4ceb-ba65-9d26e2baa366/content>
- Sokur, M.I., Biletskyi, V.S., Yehurnov O. I., Vorobiov, O. M., Smyrnov, V.O., Bozhyk, D.P. (2017). *Pidhotovka korysnykh kopalyn do zbahachennia*. PP Shcherbatykh O.V.
<https://core.ac.uk/download/pdf/161792606.pdf>
- Sokur, M.I., Biletskyi, V.S., Vedmid, I.A., Robota, Ye.M. (2020). *Rudopidhotovka : droblennia, podribnennia, klasyfikatsiia*. PP Shcherbatykh O.V.
[http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=Сокыр%20M\\$#](http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=EC&P21DBN=EC&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=Сокыр%20M$#)
- Tusheva V. V. (2014) *Osnovy naukovykh doslidzhen*. Fedorko.
<https://dspace.hnpu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a1eb793d-1a0b-4dbb-b865-64cee8ed1e7a/content>
- Vasylenko O. A., Sencha I. A. (2011) *Matemachno-statystychni metody analizu u prykladnykh doslidzhenniakh*. ONAZ im. O. S. Popova.

- http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/Vasylenko_Sencha_Matem._statyst.metydy_2011.pdf
- Volokh, V. O., Lohvynenko, M. V., Poliakov, B. A. (2019). Prystrii dlia usuchennia zaivysannia sypkoho materialua boruinuvanniay ohosvodu. *Technical service of agriculture, forestry and transpor tsystems*, 16, 102-109. <http://ts.khntusg.com.ua/index.php/ts/article/view/41/37>
- Novak, A. I., Hnieushev, V. O. (2020). Sposib ryinyvannya girskyx porid vibychom. *Visnyk Nationality universita vodnogo gospodarstva and prirodokorystuvannia*, 2, 193-202. <https://ep3.nuwm.edu.ua/19769/>
<https://doi.org/10.31713/vt2202018>
- Terentiev, O. M., Krychcov A. I., Kleschov A. I., Gontar P. A. (2018). Plazmo mexanical ryinyvannia vyboiyv. *KPI Sicorskogo*. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23339>