

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет
науки і технологій /УДУНТ/
ННІ Дніпровський металургійний інститут УДУНТ
Університет Аалто /Фінляндія/
Університет Алгарве Фаро /Португалія/
Технічний Університет - Варна /Болгарія/
Технічний Університет Відень /Австрія/
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
Дніпровський освітній центр /Україна/
Нікопольський факультет УДУНТ

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University
of Science and Technologies /USUST/
ESI Dnipro Metallurgical Institute of USUST
Aalto University / Finland /
Universidade do Algarve /Portugal/
Technical University – Varna /Bulgaria/
Technical University of Vienna /Austria/
State University "Kyiv Aviation Institute"
Dnipro Education Center /Ukraine/
Nikopol's Faculty of USUST



VIII Міжнародна конференція «ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАУЦІ ТА ОСВІТІ. ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД»

**20-24 грудня 2025 р.
м. Дніпро, Україна**

МАТЕРІАЛИ



VIII International Conference «INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN SCIENCE AND EDUCATION. EUROPEAN EXPERIENCE»

**December 20-24, 2025
Dnipro, Ukraine**

PROCEEDINGS

Дніпро
Dnipro
Журфонд
Jourfond
2025

Схвалено Вченою радою навчально-наукового Інституту Дніпровський металургійний інститут УДУНТ і редакційною радою конференції

Укладачі: Т.С. Хохлова, Ю.О. Ступак

До збірника матеріалів VIII Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (20-24 грудня 2025 р., Дніпро, Україна)* увійшло 29 доповідей (статті, тези), що надійшли до оргкомітету та були прийняті до опублікування.

Proceedings of the VIII International Conference «Innovative technologies in science and education. European experience» (December 20-24, 2025, Dnipro, Ukraine) includes 29 reports (articles, theses) received by the organizing committee and accepted for publication.

* конференцію було включено до Переліку МОНУ наукових конференцій з проблем вищої освіти та науки на 2024 рік (розділ I /Міжнародні конференції/, поз. 707), з проведенням у м. Гельсінкі (Фінляндія), але через складні обставини, пов'язані з воєнним станом, за узгодженням з титульними організаторами (ун-т Аалто, ун-т Алгарве) конференцію вирішили провести в повністю «заочному» форматі, у м. Дніпро (УДУНТ), без візду учасників до університету Аалто

**Верстку збірника здійснено з оригіналів,
наданих авторами в електронному вигляді.**

**Тексти доповідей / статей, тез / та їх назви в змісті відтворені мовами оригіналів,
в редакції, запропонованій авторами, або узгодженій з ними.**

**Укладачі збірника і видавець не несуть відповідальності
за зміст матеріалів, наданих їх авторами, а також якість формул та ілюстрацій,
виконаних з відхиленнями від вимог редакційної ради.**

РЕДАКЦІЙНА РАДА EDITORIAL BOARD

- Костянтин Сухий**, д.т.н., проф. (Український державний університет науки і технологій)
- Олександр Величко**, д.т.н., проф., член - кореспондент Національної академії наук України (Український державний університет науки і технологій / Дніпровський металургійний інститут, Україна)
- Драгомир Пламенов**, д-р., проф. (Технічний університет - Варна, Болгарія)
- Тетяна Хохлова**, к.т.н., проф. (Український державний університет науки і технологій / Дніпровський металургійний інститут, Україна)
- Кай Р. Ліліус**, д-р, проф. (Університет Аалто, Гельсінкі, Фінляндія)
- Валерій Іващенко**, д.т.н., проф. (Український державний університет науки і технологій / Дніпровський металургійний інститут, Україна)
- Ернст Козеснік**, д.т.н., проф. (Технічний Університет Відень, Австрія)
- Томас Диллінджер**, д.т.н., проф. (Технічний Університет Відень, Австрія)
- Володимир Кудін**, д.т.н., проф. (Київський національний університет ім. Т. Шевченка)
- Михайло Гасик**, д.т.н., проф. (Університет Аалто, Гельсінкі, Фінляндія)
- Рібейро Жонкалвес**, доктор філософії, проф. (Університет Алгарве, Фаро, Португалія)
- Адріано Примпао**, доктор філософії, проф. (Університет Алгарве, Фаро, Португалія)
- Генадій Швачич**, д.т.н., проф. (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна)
- Ельвіра Лузік**, д. пед. н., проф. (Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
- Іван Іванов**, д-р. інж., доц. (Технічний університет - Варна, Болгарія)
- Наталія Ладогубець**, к.пед.н., проф. (Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
- Юрій Ступак**, к.т.н., доц. (Український державний університет науки і технологій / Дніпровський металургійний інститут, Україна)
- Kostiantyn Sukhyi**, Dr. Sc., Prof. (Ukrainian State University of Science and Technologies)
- Alexander Velichko**, Dr. Sc., Prof., Corr. Member of Ukraine National Academy of Sciences (Ukrainian State University of Science and Technologies / Dnipro Metallurgical Institute, Ukraine)
- Drahomyr Plamenov**, Dr., Prof. (Technical University of Varna, Bulgaria)
- Tatyana Khokhlova**, Dr. Eng., Prof. (Ukrainian State University of Science and Technologies / Dnipro Metallurgical Institute, Ukraine)
- Kaj R. Lilius**, Dr. Sc., Prof. (Aalto University, Helsinki, Finland)
- Valery Ivashchenko**, Dr. Sc., Prof. (Ukrainian State University of Science and Technologies / Dnipro Metallurgical Institute, Ukraine)
- Ernst Kozeschnik**, Dipl.-ing. Dr. techn., Prof., (Technical University Wien, Austria)
- Thomas Dillinger**, Dipl.-ing Dr. techn., Prof., (Technical University Wien, Austria)
- Volodymyr Kudin**, Dr. Sc., Prof. (Taras Shevchenko National University of Kyiv)
- Michael Gasik**, Dr. Sc., Prof. (Aalto University, Helsinki, Finland)
- Ribeiro Joncalves**, PhD., Prof. (University of Algarve, Faro, Portugal)
- Adriano Primpao**, PhD, Prof (University of Algarve, Faro, Portugal)
- Henadii Shvachych**, Dr. Sc., Prof. (Dnipro University of Technology, Ukraine)
- Elvira Luzik**, Dr. Sc. (Pedagogical), Prof. (State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)
- Ivan Ivanov**, Dr. Eng., Assoc. Prof. (Technical University of Varna, Bulgaria)
- Nataliia Ladogubets**, Candidate of pedagogical sciences, Prof. (State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)
- Yurii Stupak**, Dr. Eng., Assoc. Prof. (Ukrainian State University of Science and Technologies / Dnipro Metallurgical Institute, Ukraine)

НАПРЯМИ РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ

СЕКЦІЯ 1.

Інноваційні технології в освіті

- основні тенденції розвитку вищої освіти - національна специфіка, проблеми, пріоритети;
- здобутки і проблеми вузів України щодо інтеграції в європейський та світовий освітній простір, міжнародне співробітництво та інтеграція в сфері освіти;
- проблеми взаємодії освітніх інституцій і самостійність університетів;
- інформаційні й комунікаційні технології в освіті та для освіти;
- розробка та імплементація професійних і освітніх стандартів;
- проблеми вдосконалення освітніх програм та їх підготовки до акредитаційної експертизи;
- академічна мобільність викладачів та студентів в умовах єдиного європейського освітнього простору;
- використання штучного інтелекту в процесі навчання – нові можливості, нові виклики;
- роль гуманітарної освіти у розвитку ключових компетенцій конкурентоспроможного фахівця;
- проблеми організації та підтримки навчального процесу в освітніх закладах в умовах надзвичайних ситуацій;
- сучасні освітні технології та забезпечення навчання в змішаному та он-лайн форматах, новітні підходи до організації дистанційного навчання та контролю його результатів.

СЕКЦІЯ 2.

Сучасні проблеми розвитку науки і виробництва

- наука та інновації в діяльності вищих навчальних закладів, проблеми інтеграції освіти і науки;
- проблеми взаємодії освіти, науки та виробництва (бізнесу), інвестиційно-інноваційні аспекти розвитку науки;
- сучасні фактори трансформації промисловості в умовах глобалізації та комп'ютеризації;
- транспорт, логістика та комунікації як важлива складова економічної стійкості та розвитку в сучасних умовах;
- перспективні конструкційні матеріали та сучасні технології обробки матеріалів;
- автоматизоване управління технологічними процесами в промисловості і на транспорті;
- інформатизація та комп'ютеризація в промисловості та у транспортній галузі, програмно-технічні комплекси та технології;
- проблеми сталого розвитку промисловості й транспортної інфраструктури у кризових умовах;
- проблеми економічної теорії та актуальні проблеми сучасної економіки в умовах нестабільності.

SUBJECTS OF CONFERENCE WORK

SECTION 1.

Innovative technologies in education

- the main tendencies of the development of higher education - national specifics, problems, priorities;
- achievements and problems of Ukraine higher education institutions regarding integration into the European and world educational space, international cooperation and integration in the field of education;
- problems of educational institutions interaction and independence of universities;
- information and communication technologies in education and for education;
- development and implementation of professional and educational standards;
- problems of educational programs improving and their preparation for accreditation examination;
- academic mobility of teachers and students in the conditions of a common European educational space;
- the use of artificial intelligence in the learning process - new opportunities, new challenges;
- the role of humanitarian education in the development of a competitive specialist key competencies;
- problems of the educational process organizing and supporting in educational institutions in emergency situations;
- modern educational technologies and provision of training in mixed and online formats, the latest approaches to the organization of distance learning and control of its results.

SECTION 2.

Modern problems of science and production development

- science and innovations in the activities of higher educational institutions, problems of integration of education and science;
- problems of the interaction of education, science and production (business), investment and innovation aspects of the development of science;
- modern factors of industrial transformation in the conditions of globalization and computerization;
- transport, logistics and communications as an important component of economic stability and development in modern conditions;
- promising construction materials and modern materials processing technologies;
- automated management of technological processes in industry and transport;
- informatization and computerization in industry and in the transport industry, software and technical complexes and technologies;
- problems of sustainable development of industry and transport infrastructure in crisis conditions;
- problems of economic theory and current problems of the modern economy in conditions of instability.

————— **Секція 1** —————

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ

ГОЛОВА - ЛУЗІК ЕЛЬВІРА ВАСИЛІВНА

докт. пед. наук, професор,
завідувач кафедри педагогіки та психології професійної освіти
Національний авіаційний університет /Україна/

————— **Section 1** —————

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN EDUCATION

CHAIRMAN – ELVIRA LUZIK

Dr. (Pedagogical), Prof.
Head of the Department of Pedagogy and Psychology of Vocational Education
of National Aviation University /Ukraine/

ПОЛІТИКА ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ СТУДЕНТАМИ У ВИЩІЙ ОСВІТІ: НОРМАТИВНІ ОСНОВИ ТА ПЕДАГОГІЧНІ ОРІЄНТИРИ

*Проф., докт. техн. наук, гарант ОПП «Металургія» В.Ф. Балакін,
ст. викл. Ю.М. Николаєнко, канд. техн. наук, доц. І.А. Соловійова,
доц., канд. техн. наук І.Й. Водін, канд. іст. наук, доц. О.А. Кузнецов*

Кафедра теорії, технології та автоматизації металургійних процесів НФ УДУНТ
Нікопольський факультет (НФ) УДУНТ
ННІ Дніпровський металургійний інститут (ДМетІ)

*Український державний університет науки і технологій (УДУНТ)
м. Дніпро, Україна*

Вступ. Цифрова трансформація вищої освіти є одним із визначальних процесів розвитку сучасного освітнього простору. Вона охоплює не лише впровадження електронних освітніх платформ і дистанційних форм навчання, а й глибоку зміну змісту освітніх програм, методів викладання, форм контролю та оцінювання результатів навчання. Особливу роль у цьому процесі відіграють технології штучного інтелекту (ШІ), які дедалі активніше інтегруються в навчальну, наукову та організаційну діяльність закладів вищої освіти.

Сучасні технології ШІ, зокрема системи обробки мови, інтелектуальні пошукові платформи, автоматизовані перекладачі, а також аналітичні та рекомендаційні алгоритми, відкривають нові можливості для персоналізації навчального процесу, розширення доступу до знань та розвитку навичок самостійної освітньої діяльності студентів. Разом із тим безсистемне або неконтрольоване використання таких інструментів здатне створювати суттєві ризики для забезпечення академічної доброчесності, зокрема у питаннях дотримання авторських прав, самостійності виконання навчальних і наукових робіт, а також об'єктивності оцінювання.

У сучасних умовах практика використання інструментів ШІ студентами часто випереджає формування чітких нормативних, етичних та педагогічних рамок їх застосування. Наявні положення про академічну доброчесність, як правило, не враховують специфіки генеративних технологій, що призводить до невизначеності меж допустимої допомоги ШІ в освітньому процесі. Це актуалізує потребу розроблення узгодженої політики використання ШІ в закладах вищої освіти, яка спрямована на поєднання інноваційного розвитку з дотриманням етичних стандартів.

Відповідно до Закону України «Про освіту» [1] академічна доброчесність визначається як фундаментальна умова забезпечення якості освіти та довіри до її результатів, що зумовлює необхідність переосмислення традиційних підходів до регулювання освітнього процесу в умовах активного впровадження технологій ШІ.

Основна частина. Нормативне регулювання освітньої сфери в Україні ґрунтується на положеннях Законів України «Про освіту» та «Про вищу освіту» [1-2], які визначають принципи якості освіти, академічної свободи, автономії закладів вищої освіти та відповідальності всіх учасників освітнього процесу. Стаття 42 Закону України «Про освіту» трактує академічну доброчесність як сукупність етичних принципів і правил поведінки, дотримання яких є обов'язковим для здобувачів освіти та педагогічних працівників. До основних порушень академічної доброчесності віднесено плагіат, фабрикацію, фальсифікацію, списування та інші форми академічного шахрайства.

У свою чергу, Закон України «Про вищу освіту» зобов'язує заклади вищої освіти створювати внутрішні системи забезпечення якості, здатні адаптуватися до умов цифровізації та впровадження новітніх технологій. У цьому контексті регулювання використання інструментів штучного інтелекту стає складовою інституційної політики якості освіти та академічної доброчесності.

Важливу роль відіграють рекомендаційні документи Міністерства освіти і науки України та Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти [3], які наголошують на необхідності формування культури академічної доброчесності, поєднання інноваційних підходів із дотриманням етичних стандартів і запровадження прозорих правил використання цифрових інструментів у навчальному процесі. Хоча такі документи мають рекомендаційний характер, вони широко використовуються як орієнтир для розроблення локальних нормативних актів закладів вищої освіти.

У міжнародному контексті аналогічні підходи відображені у документах ЮНЕСКО, зокрема в рекомендаціях щодо етичного використання штучного інтелекту в освіті, де наголошується на пріоритеті людської відповідальності, необхідність збереження академічної автономії та розвитку критичного мислення здобувачів освіти [4].

У сучасній системі вищої освіти важливо не лише встановити обмеження щодо використання ШІ, але й сформувати у студентів розуміння його педагогічно доцільних і відповідальних способів застосування. Європейський та український досвід свідчить, що ШІ доцільно розглядати як допоміжний інструмент, спрямований на підтримку навчального процесу та розвиток аналітичних, дослідницьких і мовних компетентностей студентів, а не як заміник їхньої інтелектуальної діяльності [5].

До педагогічно обґрунтованих напрямів використання ШІ належать:

– планування навчальної та наукової діяльності, зокрема створення попередніх планів курсових та кваліфікаційних робіт, структурування матеріалу, визначення ключових аспектів дослідження за умови подальшого самостійного опрацювання;

– роз'яснення складних теоретичних положень, що сприяє кращому розумінню навчального матеріалу за умови обов'язкового звернення до першоджерел і рекомендованої літератури;

– мовне та стилістичне редагування текстів із перевіркою граматики, стилю та логічної послідовності, при цьому студент повністю несе відповідальність за зміст, наукову точність і новизну матеріалу;

– підготовка до контрольних заходів, зокрема створення тренувальних тестів або коротких конспектів з метою самоперевірки та повторення матеріалу перед іспитами чи заліками;

– аналіз помилок і рефлексія результатів навчальної діяльності, що сприяє формуванню навичок самоконтролю та критичного мислення.

У кожному з цих випадків відповідальність за зміст, наукову коректність і результати навчальної діяльності покладається виключно на студента.

Використання ШІ студентами є недопустимим у випадках, коли він підміняє самостійну інтелектуальну діяльність або спотворює результати оцінювання навчальних досягнень. Такі практики суперечать принципам академічної доброчесності та негативно впливають на формування професійних компетентностей.

До основних недопустимих практик належать:

– подання повністю або переважно згенерованих текстів без суттєвого авторського опрацювання та без зазначення факту використання ШІ;

– використання інструментів ШІ під час контрольних заходів без дозволу викладача;

– генерування або використання вигаданих чи недостовірних джерел, даних і результатів досліджень;

– автоматичне формування висновків без власного аналізу;

– свідоме приховування факту залучення ШІ у випадках, коли це суперечить установленим правилам.

Практичні приклади дозволяють чітко окреслити межу між добросовісним і недобросовісним використанням ШІ. Так, застосування інструментів ШІ для автоматичного створення значної частини курсової роботи або її висновків без критичного осмислення та доопрацювання студентом є порушенням академічної доброчесності. Аналогічно використання ШІ під час іспитів чи тестування без дозволу викладача кваліфікується як академічне шахрайство. Включення до наукових робіт неперевірених або вигаданих джерел, згенерованих ШІ, порушує принципи наукової відповідальності автора.

Отже, недопустимість використання штучного інтелекту визначається не самим фактом його застосування, а характером і метою такого застосування. Це зумовлює необхідність чітких інституційних правил і системної просвітницької роботи щодо відповідального використання ШІ в освітньому процесі.

Метою інституційної політики використання ШІ є забезпечення етичного, відповідального і педагогічно обґрунтованого застосування ШІ у навчальній та дослідницькій діяльності студентів. Основними принципами такої політики є:

- дотримання академічної доброчесності;
- прозорість використання ШІ;
- персональна відповідальність за результатами навчання;
- розвиток критичного мислення та цифрової грамотності.

Викладачі відіграють ключову роль у визначенні допустимого рівня використання ШІ в межах конкретних навчальних дисциплін і впровадженні сучасних форм оцінювання, що мінімізують ризики академічних порушень.

Заклади вищої освіти, у свою чергу, мають інтегрувати політику використання ШІ в систему внутрішнього забезпечення якості освіти та забезпечувати механізми моніторингу і профілактики порушень академічної доброчесності.

Висновки

Штучний інтелект є важливим чинником модернізації вищої освіти та підвищення ефективності навчального процесу. Проте його застосування потребує чіткого нормативного, етичного та педагогічного регулювання. Формування інституційної політики використання ШІ студентами сприяє досягненню балансу між інноваційним розвитком освітнього середовища та збереженням принципів академічної доброчесності, що є передумовою підвищення якості вищої освіти в Україні та її інтеграції у європейський і світовий освітній простір. Запропоновані орієнтири можуть бути використані при розробленні локальних положень ЗВО щодо застосування ШІ.

Посилання

1. Закон України «Про освіту» від 05.09.2017 № 2145-VIII. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19>
2. Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>
3. Лист МОН України «Щодо рекомендацій з академічної доброчесності для закладів вищої освіти» від 23.10.2018 № 1/9-650. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v-650729-18#n211>
4. UNESCO. Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. Paris, 2021.
5. Туришева О.О., Дзикович О.В. Регулювання використання генеративного ШІ здобувачами вищої освіти: європейський і український досвід // Слобожанський науковий вісник. Серія: Філологія. – 2025. – № 11. – С. 173–179. – DOI: <https://doi.org/10.32782/philspu/2025.11.29>

ЦІННІСНІ ОРІЄНТИРИ ОСВІТИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕПОХИ

*Аспірант А.С. Братченко
Бердянський державний педагогічний університет
м. Запоріжжя, Україна*

Цифрова трансформація освіти є одним із ключових процесів сучасності, що визначає нові траєкторії розвитку освітньої системи. Вона охоплює не лише технічні інновації, а й зміну освітнього простору, його ціннісних орієнтирів та культурних практик. Використання інформаційних і комунікаційних технологій відкриває широкі можливості для персоналізованого та інклюзивного навчання, забезпечує доступ до глобальних освітніх ресурсів, сприяє розвитку медіаграмотності та критичного мислення [1]. Цифрові платформи дозволяють швидко оновлювати навчальні матеріали, поєднувати синхронні та асинхронні режими, підтримувати безперервність навчання навіть у кризових умовах [2]. Таким чином, цифровізація постає не як нейтральна модернізація, а як процес, що змінює саму природу освітнього середовища.

У закладах вищої освіти цифрові інструменти стають не лише засобом організації навчального процесу, а й фактором конкурентоспроможності майбутніх фахівців. Вони забезпечують академічну мобільність здобувачів освіти та викладачів, інтеграцію у європейський освітній простір, доступ до міжнародних дослідницьких баз та онлайн-курсів. Цифровізація сприяє розвитку міждисциплінарних програм, впровадженню нових форматів навчання (змішаного, дистанційного, проєктного), а також розширює можливості для співпраці між університетами, бізнесом і науковими інституціями. Водночас саме у вищій школі цифрові технології стають критично важливими для формування професійних компетентностей, адже вони визначають здатність випускників діяти у глобалізованому світі та відповідати вимогам сучасного ринку праці.

Однак технологічні інновації не можуть бути самодостатнім чинником розвитку освіти, адже вони потребують ціннісного підґрунтя. Людиноцентричний підхід у педагогіці виступає концептуальним орієнтиром, що ставить у центр формування особистості через культурні смисли та соціальну взаємодію. Українські науковці наголошують, що саме така модель забезпечує інтеграцію когнітивних і аксіологічних компонентів, зберігаючи цілісність освітнього процесу [3]. У національному контексті ціннісна основа освіти конкретизується через державні стандарти, узгоджені з європейськими рекомендаціями щодо ключових компетентностей [4]. Це означає, що цифрова трансформація має спиратися не лише на технологічні інновації, а й на нормативно закріплені ціннісні орієнтири, які визначають гуманітарний каркас освітньої системи.

Попри очевидні переваги, цифровізація породжує низку ризиків, які мають багатовимірний характер. Найбільш очевидним є явище цифрової

нерівності, коли учні та студенти з менш забезпечених сімей або регіонів мають обмежений доступ до сучасних технологій, що формує нову «цифрову стратифікацію» [5]. Це означає, що можливості для використання цифрових інструментів нерівномірно розподілені, а отже, освітні результати значною мірою залежать від соціально-економічного контексту. Іншим викликом є інформаційне перевантаження: надмірна кількість матеріалів, часто неструктурованих, призводить до поверхневого засвоєння знань, зниження мотивації та когнітивного виснаження [1;2]. У цифровому середовищі знання нерідко подаються у фрагментарній формі, позбавленій культурних та етичних орієнтирів, що може спричинити редукцію гуманітарного змісту [4]. Технікоцентричний підхід здатний витіснити гуманітарні дисципліни, що загрожує втраті культурної ідентичності та критичного мислення. Не менш значущим є психологічний вимір: постійна взаємодія з цифровими платформами спричиняє емоційне виснаження, стрес і зниження стійкості до інформаційних впливів [1]. Нарешті, інтеграція цифрових технологій потребує значних фінансових та кадрових ресурсів, а також системної підтримки викладачів, що створює додаткові організаційні виклики.

Особливо важливо підкреслити, що якщо цим проблемам не приділяти належної уваги на рівні базової середньої школи, то у вищій освіті їхнє виправлення вимагатиме значно більших витрат (фінансових, часових та організаційних). Недостатня підготовка учнів до роботи з цифровими ресурсами, відсутність навичок критичного мислення чи саморегуляції ускладнюють навчання у виші та знижують якість підготовки фахівців. Таким чином, базова школа виступає фундаментом, на якому вибудовується вся система вищої освіти. Якщо цей фундамент є слабким, то університети змушені витрачати додаткові ресурси на корекцію прогалів, що знижує ефективність освітнього процесу та уповільнює інтеграцію у міжнародний освітній простір.

Подолання викликів цифрової трансформації освіти потребує не лише технічних рішень, а й переосмислення самої логіки освітнього процесу. Якщо цифровізація змінює структуру навчання, то відповіддю має бути інтеграція технологій у гуманітарну парадигму, а не їхнє протиставлення. Важливо забезпечити баланс між технологічними інноваціями та гуманітарними цінностями: цифрові інструменти мають не витіснити гуманітарні предмети, а доповнювати їх, створюючи нові можливості для критичного аналізу, культурної інтерпретації та соціальної взаємодії. У базовій школі це означає необхідність систематизації навчальних матеріалів, впровадження соціально-емоційного навчання (SEL), розвитку медіаграмотності та створення гнучких моделей доступу до ресурсів. У вищій освіті – інвестиції у цифрову інфраструктуру, інтеграцію технологій у науково-дослідницьку діяльність та професійні стандарти, підтримку академічної мобільності, а також розвиток програм підвищення кваліфікації викладачів у сфері цифрової педагогіки.

Таким чином, цифрова епоха відкриває нові можливості для індивідуалізації та інклюзії, але водночас створює ризики соціальної

нерівності, когнітивного перевантаження та психологічних викликів. Її ефективність залежить від здатності освітньої системи поєднувати технологічні інновації з гуманітарними цінностями. Якщо ці проблеми не вирішувати на рівні базової школи, то у вищій освіті їхнє подолання вимагатиме значно більших ресурсів. Лише за умови гармонійного поєднання технологій і гуманітарної парадигми цифрова трансформація стане ресурсом для розвитку конкурентоспроможної особистості та стійкої освітньої системи XXI століття.

Висновки

1. Необхідно враховувати проблеми цифрової нерівності, інформаційного перевантаження та редукції гуманітарного змісту на ранніх етапах освіти, адже їх ігнорування призводить до значно більших фінансових, часових та організаційних витрат у вищій школі.

2. Слід забезпечити гармонійне поєднання технологій із гуманітарними цінностями як необхідну умову для формування особистості, здатної мислити критично, діяти відповідально та інтегруватися у глобальний освітній простір.

3. Подолання ризиків цифровізації потребує системного підходу, що включає розвиток медіаграмотності, соціально-емоційного навчання, інвестиції у цифрову інфраструктуру та підтримку викладачів. Це забезпечить стійкість освітньої системи XXI століття.

Посилання

1. Алексеєнко Т. Навчальні втрати учнів базової середньої школи: основні механізми подолання. У: Дидактико-методичний супровід подолання навчальних втрат у початковій і базовій середній освіті. Київ: Інститут педагогіки НАПН України, 2024. С. 204–220. DOI: <https://doi.org/10.32405/mono-lomza-kyiv-2024-3-3>
2. Петрук О., Алексеєнко Т., Барановська О. та ін. Втрати у навчанні молодших школярів: бачення проблеми педагогами й батьками. *Український педагогічний журнал*. 2024. № 4. С. 135–143. DOI: <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2024-4-135-143>
3. Державна служба якості освіти України. Пропозиції та рекомендації за результатами загальнодержавного моніторингового дослідження якості освіти у закладах загальної середньої освіти в умовах воєнного стану (II етап, 2023/2024 навчальний рік). Київ, 2024. 39 с. URL: <https://sqe.gov.ua/konsolidovani-propozicii-z-podolann> (дата звернення 26.10.2025)
4. Social and emotional learning. Teaching and Learning Toolkit. London: EEF, 2025. URL: <https://educationendowmentfoundation.org.uk/education-evidence/teaching-learning-toolkit/social-and-emotional-learning> (дата звернення 27.10.2025)
5. Education at a Glance 2025. Paris: OECD Publishing, 2025. URL: https://www.oecd.org/en/publications/education-at-a-glance-2025_1c0d9c79-en.html. (дата звернення 27.10.2025)
6. What you need to know about education in emergencies. Paris: UNESCO, 2025. URL: <https://www.unesco.org/en/emergencies/education/need-know>. (дата звернення 26.10.2025)

АДАПТИВНИЙ ПІДХІД У ВИКЛАДАННІ ВЕТЕРИНАРНИХ ДИСЦИПЛІН ЗА ДОПОМОГОЮ МОДЕЛІ «ПЕРЕВЕРНУТОГО КЛАСУ» (FLIPPED CLASS)

*Докт. пед. наук, проф. Г.В. Єльнікова, аспірантка І.Є. Скороходова
ННІ «Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна,
м. Харків, Україна*

В сучасних умовах, коли цифрова освіта набуває все більшого значення, а вимоги до професійної підготовки ветеринарних лікарів зростають, особливої актуальності набувають інноваційні педагогічні підходи до викладання спеціальних дисциплін в закладах освіти. Одним із них є модель «перевернутого класу». Її суть полягає в тому, що вивчення теоретичного матеріалу відбувається самостійно здобувачами освіти в онлайн-форматі, тоді як аудиторні заняття присвячуються активному обговоренню, практичному застосуванню знань та відпрацюванню професійних компетентностей. Цей метод повною мірою відповідає принципам адаптивного навчання, зосередженого на особистісних потребах кожного здобувача освіти, розвитку самостійності, критичного мислення та вміння приймати рішення. Галузь ветеринарної медицини, де тісно переплітаються фундаментальні знання та практичні навички, є ідеальним полем для успішного впровадження перевернутого навчання.

«Перевернутий клас» (Flipped Class) - це педагогічна модель, що змінює традиційну логіку навчання. Теоретичний матеріал вивчається здобувачами освіти поза аудиторією (як правило, через цифрові ресурси), що звільняє аудиторний час для інтерактивної, діяльнісної роботи. Під час аудиторної роботи викладачі беруть на себе роль модератора, який направляє здобувачів освіти до глибинного обговорення та практичного застосування теорії. Це дозволяє їм сфокусуватися на відпрацюванні тих умінь, які будуть використані в ході майбутніх лабораторних і практичних робіт. [1, 6]

Засновниками моделі перевернутого класу вважаються два вчителі - Бергман Джонатан (Jonathan Bergman) і Семс Аарон (Aaron Sams), які в 2006 році спочатку вигадали, як забезпечити своїми лекціями спортсменів, які часто відсутні на заняттях, а потім перевтілили цю ідею в новий освітній напрямок.

Концепція перевернутого навчання пройшла декілька етапів розвитку. Завершальним етапом розвитку є концепція де центром освітнього процесу стає здобувач освіти, а всі навчальні стратегії підпорядковані головній меті - сформувати глибокі й тривалі знання. Цей підхід дозволяє викладачам відійти від ролі центра уваги, аби повноцінно реалізувати студентоцентричні принципи. Таким чином, головне завдання викладача - забезпечити якісний і

змістовний навчальний досвід, а формат перевернутого класу виступає ефективним інструментом для досягнення цієї мети. Автори зазначають, що для успішного впровадження концепції «перевернутого класу» необхідно ретельно адаптувати її під особливості конкретного освітнього середовища. Вони наголошують, що це закономірно є тривалим процесом, який потребує часу та еволюційних змін, а не миттєвого рішення для швидкого підтвердження ефективності методу. Крім того, підкреслюється цінність особистого педагогічного досвіду впродовж цього процесу та висловлюють переконання, що такі зусилля є цілком виправданими, оскільки сама концепція варта поступового впровадження в освітню практику. [3]

Реалізація «перевернутого класу» в зарубіжній освіті приймає різні форми: орієнтований на дискусію перевернутий клас (The Discussion-Oriented Flipped Classroom); типовий перевернутий клас (The Standard Inverted Classroom); псевдоперевернутий клас (The Faux-Flipped Classroom); груповий перевернутий клас (The Group-Based Flipped Classroom); віртуальний перевернутий клас (The Virtual Flipped Classroom); сфокусований на демонстрації перевернутий клас (The Demonstration-Focused Flipped Classroom); «перевернутий» вчитель (Flipping The Teacher). Ключовим інструментом для їх реалізації є мультимедійні подкасти (відео та аудіо) та записані лекції. Подібні матеріали виконують подвійну функцію: є джерелом теоретичних знань і одночасно стимулюють здобувачів освіти до їх глибокої обробки, творчого застосування та аналізу в нових умовах. [7]

Філософія «перевернутого класу» прагне сформувати не пасивного слухача, а активного, вмотивованого здобувача освіти, який володіє навичками критичного мислення, командного вирішення завдань та конструктивної комунікації. Щоб досягти цього, метод будується на таксономії Блума: первинне ознайомлення з матеріалом (запам'ятовування і розуміння) здійснюється здобувачами освіти самостійно вдома. Це забезпечує можливість перепризначення аудиторного часу для виконання складніших інтелектуальних завдань - практичного застосування знань, їх аналізу, творчого переосмислення та оцінки, що і є ключовим аспектом активного засвоєння навчального матеріалу. Виконуючи ці різнорівневі дії, здобувачі освіти отримують безпосередній зворотний зв'язок і підтримку як від викладача, так і від колег, що значно підвищує ефективність навчання. [4]

Існує кілька підходів для реалізації технології «перевернутого класу», які можна умовно поділити на три типи:

1. Базовий (класичний) підхід: зберігається традиційна послідовність: спочатку теорія, потім переходять до практичних завдань.
2. Розширений (просунутий) підхід: поглиблює знання з теми та вдосконалює навички співпраці та спілкування.

3. Інверсійний (комбінований) підхід: ефективно готує майбутніх фахівців до реалій професійного середовища, де прийняття рішень часто відбувається в умовах дефіциту інформації та високого рівня невизначеності. [5]

Основні елементи адаптивного підходу в «перевернутому класі»:

1. Формування компетенцій - аналіз освітнього матеріалу з подальшою структуризацією та корекцією орієнтації на отримання практичних навичок.
2. Розвиток самоконтролю - здатність самостійно оцінювати та регулювати свій навчальний процес та вносити необхідні корективи без сторонньої допомоги.
3. Самоосвіта - при виникненні труднощів з опануванням нового матеріалу самостійно шукати відповіді на конкретні питання у підручниках, посібниках, інтернет ресурсах.
4. Рішучість і адаптивність - забезпечує розвиток навичок прийняття рішень у нестабільних і непередбачуваних професійних ситуаціях.
5. Гнучке середовище навчання - надає можливість здобувачам освіти навчатись коли і де вони хочуть, дозволяючи їм поєднувати навчання, роботу та соціальні зобов'язання.
6. Feedback викладача та здобувачів освіти - надання інформації на основі безпосереднього спостереження, яке покращує продуктивність та створює середовище, для розвитку. [2]

Впровадження моделі «перевернутого класу» полягає у тому, що теоретичний матеріал виноситься на самостійне вивчення до проведення заняття, тоді як аудиторний час використовується для практичного закріплення знань, розв'язування проблемних ситуацій, обговорень і виконання лабораторних робіт. Застосування конспектів-конструкторів дозволяє створити умови для розвитку навичок самостійної роботи. Здобувачі освіти активніше використовують додаткову літературу, оскільки часто стикаються з необхідністю заповнити пропущені блоки, які не завжди повністю висвітлюються під час заняття. Це стимулює їх до пошуку інформації, до формування власних пояснень, що відповідає ідеї розвитку автодидактики. Викладачі у цьому випадку виступають не як єдине джерело знань, а як консультанти й наставники, що скеровують процес, перевіряють правильність висновків і допомагають, якщо виникають труднощі. Такий підхід змінює психологічний клімат занять: замість напруги і очікування оцінки з'являється атмосфера співпраці, у якій здобувачі освіти відчують себе співтворцями навчального процесу.

При викладанні спеціальних дисципліни галузі ветеринарної медицини в закладі фахової передвищої освіти важливим організаційно-методичним принципом є впровадження моделі «перевернутого навчання». Вона дозволяє змістити акценти: замість пасивного слухання лекцій здобувачі освіти отримують доступ до навчальних матеріалів заздалегідь і самостійно готуються до практичного заняття. Викладачі надають короткі відеолекції,

презентації, методичні вказівки у середовищі Google Classroom, що дозволяє їм ознайомитися з темою у зручному темпі. Після попереднього ознайомлення з темою здобувачі освіти приходять на заняття, де мають змогу занотувати свої знання у вигляді схем, таблиць у конструкторі. Це значно підвищує ефективність роботи, оскільки викладачі зосереджують увагу на поясненні складних моментів і наданні індивідуальної допомоги. Конспект-конструктор, як інструмент навчання, являє собою структуровану форму подання навчального матеріалу, що містить не лише інформаційні блоки, але й порожні схеми, таблиці, графи для самостійного заповнення. Завдяки цьому здобувач освіти має змогу не просто читати й переписувати, а активно відтворювати й систематизувати знання, формуючи власну картину навчального матеріалу. Використання конспект-конструкторів сприяє кращій систематизації знань і знижує рівень механічного відтворення матеріалу, що дозволяє здобувачам освіти співвідносити попереднє розуміння матеріалу з реальними спостереженнями та результатами досліджень. У такий спосіб формується цикл навчання: ознайомлення з інформацією, осмислення, практичне застосування, систематизація у вигляді конспекту. Здобувачі освіти не просто виконують завдання за інструкцією, а отримують можливість самостійно шукати відповіді на запитання, розробляти власні пояснення та проводити міні-дослідження. Наприклад, під час лабораторних занять із тваринництва з годівлею здобувачі освіти не лише складають стандартний раціон, а й самостійно підбирають корми, розробляють програми годівлі тварин за періодами виробничого циклу, роблять висновки, які потім порівнюють з науковими даними. Це формує критичне мислення і вміння робити наукові узагальнення. Під час вивчення анатомії і фізіології студенти отримують конструктор із зображенням непідписаних схем органів, таблицями для внесення характеристик їх функцій і графами для заповнення результатів власних спостережень під час розтину. Це спонукає здобувачів освіти до активної участі, адже вони повинні систематизувати власні знання, використовуючи матеріал заняття. Така діяльність не лише розвиває уважність, але й допомагає краще закріплювати інформацію, оскільки відбувається її повторне осмислення під час внесення у власний конструктор.

Приклад конспект - конструктора:

Тема: Будова травної системи у тварин

Мета проведення заняття: Ознайомитись та порівняти будову травної системи у тварин.

Завдання 1. Загальна схема травної системи тварин



Завдання 2. Підписати основні відділи травної системи ссавців

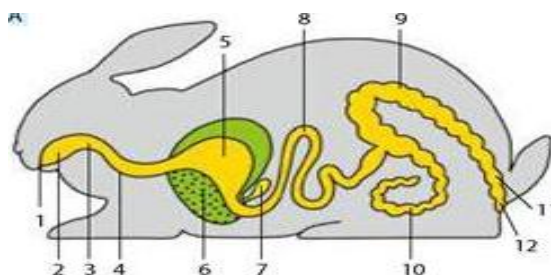


Рис. 1 Загальна схема травної системи ссавців [8]:

- | | |
|----|-----|
| 1. | 7. |
| 2. | 8. |
| 3. | 9. |
| 4. | 10. |
| 5. | 11. |
| 6. | 12. |

Завдання 3. Назвати відділи травної системи жуйних тварин за номерами

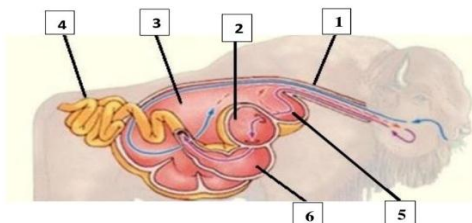


Рис. 2 Загальна схема травної системи жуйних[8]

- | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> сітка | <input type="checkbox"/> стравохід | <input type="checkbox"/> кишечник |
| <input type="checkbox"/> сичуг | <input type="checkbox"/> рубець | <input type="checkbox"/> книжка |

Завдання 4. Назвати відділи травної системи коня за номерами



Рис 3. Загальна схема травної системи коня[6]

- | | | |
|--|--|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> пряма кишка | <input type="checkbox"/> мала ободова кишка | <input type="checkbox"/> сліпа кишка |
| <input type="checkbox"/> тонкий кишечник | <input type="checkbox"/> поперечно-ободова кишка | <input type="checkbox"/> шлунок |

Завдання 5. Заповніть таблицю.

Таблиця 1. Основні функції відділів травної системи

Відділ	Основні функції	
Ротова порожнина		
Шлунок	ссавці	Жуйні тварини
Тонкий відділ кишечника		
Товстий відділ кишечника		

Завдання 6. Дайте визначення терміну:

Зубна формула _____

Вкажіть зубну формулу видів тварин:

ВРХ _____

Коні _____

Свині _____

Собаки _____

Завдання 7. Заповнити таблицю для 2 тварин на власний вибір

Таблиця 2. Порівняльна характеристика травної системи

Вид тварини		
Тип живлення		
Особливості травної системи		

Висновок _____

Застосування моделі «перевернутого класу» у підготовці ветеринарних фахівців виступає результативним засобом активного навчання, який передбачає гнучкий підхід і адаптацію освітнього процесу до запитів і особливостей сучасних здобувачів освіти. Перевагою моделі «перевернутого навчання» є трансформація традиційної ролі викладача і здобувача освіти та цілеспрямоване формування професійних компетентностей, таких як самостійність, відповідальність, навички командної взаємодії, критичне мислення та вміння приймати рішення і працювати в складних і мінливих умовах ветеринарної практики. Виконання завдань у форматі «перевернутого класу» з використанням конспектів-конструкторів сприяють колективному пошуку рішень і це створює атмосферу взаємопідтримки, що позитивно впливає на адаптацію здобувачів освіти до вивчення спеціальних дисциплін.

Висновки.

Нова організація занять дозволяє викладачам бачити, як здобувачі освіти мислять у процесі виконання завдань, як формують висновки, які кроки робить у процесі аналізу. Це дає змогу більш індивідуалізовано підходити до оцінювання, надавати адресні рекомендації і швидше виявляти труднощі в процесі навчання.

Посилання

1. Alison J Catterall, Louisa Mitchard, Sam Brown, Lucy Gray, Abi Miles, Sarah Baillie (2024) Journal of Veterinary Medical Education Режим доступу: <https://utppublishing.com/doi/10.3138/jvme-2024-0059>
2. Jug, R., Jiang, X., and Bean, S.M. (2019). Giving and Receiving Effective Feedback: A Review Article and How-To Guide. Arch Pathol Lab Med., 143, 244-250. Режим доступу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30102068/>
3. Overmyer, G. R. (2014). The Flipped Classroom Model for College Algebra: Effects on Student Achievement (Doctoral dissertation). Fort Collins: Colorado

State University. Режим доступу: <https://mountainscholar.org/items/7a99ebb1-1ff9-4184-9011-cc15e2b4cb0e>

4. Андерсон Л.В., Кратволь Д.Р.(2001) Таксономія навчання, викладання та оцінювання: перегляд таксономії освітніх цілей Блума, скорочене видання. Вайт-Плейнс: Лонгман;
5. Гончар Н.П., Задоріна О.М., Лопатинська Н.А.(2022) «Ефективність навчання за моделлю «перевернутий клас» в процесі навчання студентів педагогічних спеціальностей» с.82-87 Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/innped_2022_45_18
6. Куруц Н.В., Сойма Д.Ю., Фельбаба-Клушина Л.М. Основи сільськогосподарських тварин: навчальний посібник /– Ужгород: ВидавництвоУжНУ «Говерла», 2023. – 107 с. Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/de0333e3-9055-4f4c-baf7-5abdd19c6c34/content>
7. Модель навчання «Перевернутий клас»: змінюємо освітній процес (2018) Режим доступу: <https://naurok.com.ua/post/model-navchannya-perevernutyi-klas-zminyuemo-osvitniy-proces>
8. Соболев Валерій. Біологія : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. / – Кам'янець-Подільський : Абетка, 2015. –288 с. : іл. ISBN 978-966-682-371-0. Режим доступу: <https://svarog.cx/product/biologiya-7-klas-sobol-v-i/>

**ПЕРЕОСМИСЛЕННЯ ІНШОМОВНОЇ ОСВІТИ У ВИЩІЙ ШКОЛІ
В ЕПОХУ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ:
ВІД ЗАСВОЄННЯ КОНТЕНТУ
ДО РОЗВИТКУ КРИТИЧНОЇ ШІ-ГРАМОТНОСТІ**

*Доц., канд. філол. наук Т. В. Кирпита, ст. викладач Т. А. Давидова
Український державний університет науки і технологій*

м. Дніпро, Україна

Ст. викл. С. І. Левицька

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

м. Дніпро, Україна

Хоча сплеск суспільної уваги до генеративного штучного інтелекту (GenAI) спостерігається протягом останніх років, концептуальні засади цієї технології були закладені ще у 1950-му році з появою тесту Алана Тьюрінга. Тьюрінг висунув гіпотезу, що машину можна вважати інтелектуальною, якщо її відповіді на запитання стають невідрізними від людських. Попри те, що перші генеративні моделі розроблялися ще у 1960–70-х роках, значний технологічний прогрес відбувся лише у 1990-х із впровадженням методів глибокого навчання (Deep Learning). Саме вони дозволили синтезувати реалістичний текст та мовлення, що максимально наближені до природних.

Нова хвиля популярності технології пов'язана з виходом моделі GPT-3 від OpenAI, на базі якої функціонує ChatGPT — інструмент, що безповоротно змінив сучасний освітній ландшафт. Сьогодні викладачі ВНЗ опинилися перед необхідністю підготовки студентів до середовища, де колаборація людини та ШІ стає нормою.

Стрімке впровадження великих мовних моделей (LLMs), таких як ChatGPT, Claude та Gemini, радикально трансформує ландшафт вищої філологічної та педагогічної освіти. Традиційна мета навчання іноземних мов — досягнення лінгвістичної точності (accuracy) та швидкості мовлення (fluency) — потребує перегляду, оскільки сучасні алгоритми здатні генерувати граматично бездоганні тексти та здійснювати високоякісний переклад. Це ставить перед викладачами ВНЗ виклик: як адаптувати методику навчання, щоб зберегти когнітивну залученість студентів та забезпечити формування фахових компетенцій.

Переосмислення іншомовної освіти у вищій школі в епоху генеративного ШІ передбачає перехід від традиційного засвоєння контенту до розвитку критичної ШІ-грамотності, де студенти навчаються оцінювати ШІ-виходи, етично їх використовувати та інтегрувати в мовленнєву практику. Генеративний ШІ, як ChatGPT, трансформує викладання іноземних мов, пропонуючи персоналізовані завдання, імерсивні симуляції та інструменти для міжкультурної комунікації, але вимагає від викладачів високого рівня ШІ-грамотності. Дослідження показують кореляцію між ШІ-грамотністю викладачів і покращенням критичного мислення студентів у мовних дебатах чи аналізі текстів

В умовах доступності інтелектуальних інструментів вивчення мови має фокусуватися не лише на лінгвістичних знаннях, а й на здатності критично оцінювати результати роботи ШІ. Це включає розуміння обмежень алгоритмів, виявлення «галюцинацій», аналіз стилістичних нюансів та соціокультурного контексту, який часто ігнорується машиною. Критична ШІ-грамотність охоплює технічні, педагогічні, етичні та критичні аспекти: оцінку ШІ-генерованого контенту, розуміння упереджень алгоритмів та деколонізаторський підхід у багатомовних контекстах. У іншомовній освіті це означає використання ШІ для зв'язку рідної мови (L1) з іноземною (L2), аналізу дискурсу та розвитку навичок перевірки джерел. Викладачі з високою ШІ-грамотністю сприяють студент-центричному навчанню, де ШІ слугує інструментом для глибокого аргументування та досліджень.

Відбувається і трансформація ролі викладача від джерела знань до дизайнера навчального досвіду. У новій парадигмі викладач ВНЗ виступає куратором взаємодії «людина-машина». Пріоритетом стає розробка завдань, що вимагають високорівневого мислення (аналіз, синтез, оцінка згідно з таксономією Блума), де ШІ використовується як «Сократівський репетитор» (Socratic Tutor) для стимулювання дискусії, а не як інструмент для автоматичного виконання вправ.

Трансформація ролі викладача в епоху генеративного ШІ передбачає перехід до фасилітації, де педагог створює персоналізовані траєкторії, курує

ШІ-інструменти та розвиває критичне мислення студентів. Генеративний ШІ бере на себе рутину (генерація контенту, перевірка), звільняючи викладача для творчого моделювання взаємодій «студент-ШІ-дизайнер», як у моделях персоналізованого навчання іноземних мов. Це узгоджується з вашим фокусом на бізнес-дискурсі та ШІ в професійній англійській, де викладач стає архітектором симуляцій комунікації.

Сучасні дослідники говорять про такі нові ролі викладача:

- Дизайнер досвіду: викладач створює гібридні сценарії з ШІ-симуляціями (рольові ігри, дебати), адаптуючи до індивідуальних потреб, наприклад, культурні нюанси в іншомовному дискурсі.
- Фасилітатор рефлексії: викладач керує аналізом ШІ-виходів, розвиваючи навички виявлення упереджень та етичного використання, замість лекцій.
- Куратор екосистеми: викладач інтегрує інструменти як ШІ-викладач чи співрозмовник, забезпечуючи баланс з людським контактом для когнітивного діалогу.

Методики формування оцінювання навичок роботи з генеративним ШІ фокусуються на циклі «де студенти є, куди йдуть і як рухатися вперед», використовуючи ШІ для миттєвого зворотного зв'язку, рубрики для prompt engineering та тести на ШІ-грамотність як GLAT. У іншомовній освіті це адаптується через аналіз ШІ-генерованих текстів на культурні упередження, дебати про етику та портфоліо з ітеративними промптами. Цей підхід узгоджується з вашим досвідом персоналізації в професійній англійській, де ШІ посилює дискурс-аналіз.

Ключові методики використання ШІ для формування оцінювання включають:

- Рубрики на основі структурованого ланцюжка думок (RubiSCoT) — розбивають оцінку на аналітичні критерії (prompt quality, критична рефлексія, етика), з ШІ-генерацією персоналізованого фідбеку, що узгоджується з людськими оцінками на 90%.
- Тести ШІ-грамотності (GLAT) — вимірюють знання алгоритмів, виявлення упереджень та практичні навички, передбачаючи успіх у ШІ-завданнях краще за самооцінку.
- Процесні логи та рефлексії — студенти документують взаємодію з ШІ (промпти, ітерації, правки), оцінюючи унікальний голос та когнітивне залучення.

Етичний аспект та прозорість навчання також мають дуже вагомe значення. Теоретичний огляд підкреслює необхідність розробки нових стандартів академічної доброчесності. Важливим є не заборона ШІ, а інтеграція практик «прозорого авторства», де студенти демонструють шлях створення тексту: від промпт-інженерії до фінального редагування та верифікації джерел.

Викладач-дизайнер забезпечує прозорість алгоритмів через розкриття джерел даних, маркування ШІ-контенту та дискусії про упередження, зберігаючи довіру студентів. У іншомовній освіті це означає навчання

етичному prompt engineering, де студенти рефлексують над культурними біасами в іншомовних текстах, та прозорі політики використання ШІ в оцінці. Прозорість посилює критичну грамотність, перетворюючи ризики на можливості для етичного дискурс-аналізу в бізнес-англійській.

Генеративний ШІ реконструює ланцюг «викладання-навчання-освіта» через механізм «генерація контенту-взаємодія-ітерація», покращуючи персоналізацію та імерсію в іноземних мовах. Студенти демонструють значні покращення в глибині аргументів, якості досліджень та критичній оцінці джерел ($p < 0.05$). Це узгоджується з нашим досвідом у викладанні професійної англійської, де ШІ підтримує персоналізоване навчання бізнес-дискурсу

Висновки:

Таким чином, інтеграція штучного інтелекту у процес навчання іноземних мов у ВНЗ не має зводитися до простого використання нових сервісів. Це системна зміна, яка вимагає перегляду навчальних планів у бік розвитку стратегічної комунікативної компетенції та інтелектуальної автономії студентів. ШІ має розглядатися не як заміник людського мислення, а як когнітивний підсилювач, що дозволяє глибше зануритися у прагматику та культуру мови.

Посилання

1. Гейченко, К. І., & Цупікова, О. А. (2025). Інтеграція технологій штучного інтелекту у процес мовної підготовки іноземних студентів-нефілологів. *Вісник науки та освіти (Серія «Філологія», Серія «Педагогіка», Серія «Соціологія», Серія «Культура і мистецтво», Серія «Історія та археологія»)*. Вип. 4. 1126–1137. [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-4\(34\)-1126-1137](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-4(34)-1126-1137).
2. Осарчук, К. В. (2024). Використання штучного інтелекту у викладанні німецької мови як іноземної: інноваційні підходи. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: «Педагогіка». № 4*.
3. Жукевич, І., Спірічева, О. (2024). Трансформація вивчення іноземних мов: штучний інтелект як інструмент розвитку мовленнєвих навичок студентів. *International Science Journal of Education & Linguistics. Vol. 3. No. 3.* 45–55. doi: 10.46299/j.isjel.20240303.06.
4. Мельник, А. (2023). Використання чат-боту CHATGPT у практичній мовній підготовці майбутніх викладачів англійської мови. *Вісник Національного університету "Чернігівський колегіум" імені ТГ Шевченка, 177(21), 100–107*.
5. Yan, Li (2025) AI Literacy and Pedagogical Transformation: Exploring the Influence on College Language Teaching. *British Journal of Education 13, (8), 43–50*.
6. You, Y. & Zhang, Y. (2025). Developing AI literacies and negotiating professional identities: a study of pre-service English teachers in a ChatGPT-facilitated pedagogy. *Journal of China Computer-Assisted Language Learning, 5(2), 260–286.* <https://doi.org/10.1515/jccall-2025-0007>

ВИДАТНІ ПОСТАТІ ВІТЧИЗНЯНОЇ ІСТОРІЇ. ВЕЛИКА КИЇВСЬКА КНЯГИНЯ ОЛЬГА

Доц., канд. іст. наук О.А. Кузнецов
Український державний університет науки та технологій
м. Дніпро, Україна

Духовна єдність будь-якої нації ґрунтується на її історичній пам'яті, і для того, щоб ця єдність відбулася, минуле треба приймати цілком, нічого з неї не виморюючи, нічого в ньому не відкидаючи і не приклеюючи жодних ярликів. Адже наш історичний зір є головним інструментом осмислення сьогодення. Торкаючись проблем історичного минулого, стикаємося з тим, як часто нетерпимість, упередженість, а часом притаманна багатьом просте невігластво в трактуванні історії в оцінках минулих подій стають причиною нерозуміння та фатальних розбіжностей у сприйнятті реалій сьогодення. Але мудрість будь-якого народу якраз у тому полягає, щоб у скрутну хвилину піднятися над усім приватним, буденним і відчутти себе як ціле. Ця здатність глибоко притаманна українській нації. Інакше як би вона могла пережити незлічені негаразди і жорстокі випробування, що випали на її частку, і незважаючи ні на що залишитися українською нацією.

Постановка проблеми. Все наростаючий інтерес до рідної історії спонукає людей звертатися до давніх історичних досліджень, і перш за все Н.М. Карамзіна, С.М. Соловйова, В.М. Татищев, В.О. Ключевського, які було перевидано, оскільки пізні – і дореволюційні, і післяреволюційні – присвячені головним чином вивченню соціально-економічних засад держави.

Слід наголосити, що однією з необхідних та найважливіших умов повноцінного пізнання історії є вивчення та розуміння доль та вирішальних вчинків історичних особистостей – політичної еліти, діячів Церкви, просвітителів, творців культури. У цьому випадку ми не торкаємося дискусійної проблеми ролі особистості в історії. Це окрема, потребує окремих досліджень, складна та багатогранна проблема.

Мова йде про те, що тільки з відтворенням історично доль, поведінки та свідомості особистостей можна розкрити, а простежити хід історії у всій його багатосторонній, але єдиній комплексній повноті – від зрушень в економіці та побуті до зміни світорозуміння та вищих духовних цінностей. Саме цим зрештою привертають загальну увагу дослідження М. Карамзіна «Історія держави Російського» та «Історія Росії з найдавніших часів» С. Соловйова, де історичні персоналії так чи інакше перебувають у центрі дослідження та оповідання. Зокрема, і Карамзін, і Соловйов у тому мірою відтворили особистості перших правителів Русі – Кия, Рюрика, Аскольда, Олега, Ігоря, Ольги і Святослава.

Важливо враховувати, що перший том праці Соловйова, де йшлося про цих князів, було закінчено 1850 року. Не можна не відзначити і той факт, що Соловйов був тоді молодим, тридцятилітнім істориком. За 175-річний період,

що минув з того часу, історична наука поповнилася новими фактами, збагатилася новими відкриттями, отримала численні факти IX-X століть. З іншого боку, з'ясовано та осмислена низка головних ситуацій та тенденцій тієї епохи. Наприклад, сутність та роль могутньої Хазарської держави, а також справжній характер взаємовідносин Київської Русі та Візантійської імперії. Слід зазначити, що це були дві провідні визначальні сили в тодішній Східній Європі, а також західній частині Азії.

Актуальність дослідження.

Визначаючи актуальність теми, автор перш за все виходив з того, що історію слід визначити як галузь науки, що вивчає минулі події, а також як хроніку різних глобальних та регіональних подій, культур, народів, цивілізацій та епох. Дослідження історії сприяє втіленню практично у всіх сферах людського життя та досягнення від перших цивілізацій до наших днів. Крім того, для більш повного уявлення та розуміння діяльності державних інститутів та установ знання історії є обов'язковим.

Витоки слова «історія» сягають античних часів і несуть у собі значення «оповідання минуле». Будь-який народ, який не пам'ятає свою історію, втрачає свою унікальність, культуру та сенс свого існування. Кожен громадянин своєї держави має знати події минулого свого народу, країни та людства загалом. Ознайомлення з власним минулим здатне допомогти зрозуміти та вирішити багато проблем суспільства, уникнути помилок та йти правильним шляхом розвитку.

Історія багатогранна і розповідає про різні сфери життєдіяльності людини, формування особистості, лідера, національного героя. Саме до цієї категорії суспільства віднесемо перших слов'янських князів, які вписали золотими літерами свої імена в історію Вітчизни, а Православна Церква канонізувала багатьох з них [1].

Своєрідне місце історії відводив В.О. Ключевський наголошуючи, що історія не вчителька, а наглядка, наставниця життя, вона нічого не вчить, а лише карає за незнання уроків». «Історія вчить навіть тих, хто в неї не вчиться: їх вона проучує за невігластво і зневагу». "Народ, який не пам'ятає свого минулого, не має майбутнього".

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема, що розглядається по праву, займає одне з провідних тем історичних досліджень вчених істориків уже протягом кількох століть. Це пояснюється низкою обставин. По-перше, вітчизняна історична наука значно розширила джерельну основу досліджуваного періоду. Для дослідників стали доступні давні слов'янські літописні склепіння, державні документи – укази, закони, законодавчі акти, що свідчать про процеси державного будівництва, приватне листування, хроніки європейських істориків, дорожні нотатки та щоденники мандрівників.

По-друге, кожен історичний етап життя держави знаходив нове осмислення справжніх та минулих подій, нове тлумачення, аналіз та прогнозування можливих наслідків. На кожному історичному відрізку часу

з'являлися нові, молоді вчені, які завдяки новітнім відкриттям у галузі природничих наук збагатили історію новими методами дослідження, що дозволяло значно розширити джерельну базу історичного процесу.

По-третє, у всі періоди історії правляча еліта кожного народу мала великий вплив на його долю. У більшості випадків, пробившись в ряди еліти, завдяки видатним здібностям чи просто збігу обставин, ті чи інші особистості намагалися не просто закріпитися у її складі, але і забезпечити надовго (в ідеалі назавжди), присутність для своєї родини. Спадковість правлячої еліти забезпечувалася відповідним вихованням, освітою і традиціями. Навіть найдемократичніші суспільства не можуть уникнути цього феномену, який у певні моменти можна віднести до негативних факторів, котрі не сприяють поступу. Відкритість демократичних процесів дозволяє долати ці фактори, коли видатна особистість здатна переконати суспільство, яке робить свідомий вибір на її користь у порівнянні з рядовим представником еліти, стартові позиції якого були значно кращими.

Так само фрагментарно досліджені проблеми, пов'язані з різноманітними аспектами діяльності князівського стану. Кращі з праць на цю тему, на наш погляд, належать В. Хвойка [2], О. Преснякову [3], О. Рапову [4], А. Поппе [5]. Першою спробою комплексного дослідження князівського стану домонгольського періоду були праці О. Толочка [6]. Прикладом комплексного дослідження еліти суспільства кінця XIV – середини XVII ст., включаючи князівську верству, на матеріалах Волині та Центральної України стали блискучі монографії Н. Яковенко [7]. Дослідження О. Толочка та Н. Яковенко, Л. Войтовича [8], И. Шекера [9] вийшли на фактично непідготовленому ґрунті при відсутності теоретичних розробок з ряду серйозних проблем від феодалізму чи взагалі суспільних відносин у ранньому та пізньому середньовіччі до проблем землеволодіння, ментальності, культурологічних феноменів, генеалогії і хронології. Багато з цих питань було поставлено вперше саме у їхніх працях. Але чимало аспектів залишаються дискусійними і на сьогодні.

Досить проблемними та недостатньо дослідженими залишаються питання заснування першими київськими князями стольного граду. Згідно з літописом, засновником «матері міст російських» був представник слов'янського племені полян князь Кій. Немає сумніву, що літопис описує реальні історичні події. На думку Б. Рибаківа друга частина літописного тексту, присвячений спеціально Кию, не фольклорним сюжетом із трьома героями, а розповіддю, в якій виступають сліди точної історичної традиції. Історик пише, що ми постає древній попередник Святослава, «великий князь» Київський, діяльність якого тяглася до берегів Дунаю, а дипломатичні зв'язки – до Царгорода [10].

Світова імперія середньовіччя – Візантія, чие зневажливе ставлення до інших і особливо «варварських» народів було нормою зовнішньої політики, не без здивування відкривала нові країни. "Відкриття" Русі, як про це писав константинопольський патріарх Фотій, відбулося в 860 р., коли біля стін

Царгорода з'явилася потужна російська ескадра. Облога міста стала своєрідною точкою відліку слов'янської історії в грецьких хроніках, про що наголошується в «Повісті минулих літ» [11].

У межах цієї статті неможливо уявити широкий історіографічний аналіз цієї проблеми. Зазначимо лише те, що вона продовжує перебувати у центрі уваги наукових інтересів вітчизняних істориків, і останню точку далеко ще не поставлено.

Метою цієї статті є проаналізувати державну діяльність перших слов'янських князів, які заклали основи створення могутньої ранньофеодальної держави Київська Русь.

Виклад основного матеріалу дослідження.

З «Історії...» Соловйова можна дізнатися тільки те, що до середини IX століття придніпровські слов'янські племена платили данину хазарам, а невдовзі, у 880-х роках, Олег, що прийшов з півночі, підпорядкував цих данників хозар собі. З цього приводу Соловйов справедливо зауважував, що треба було очікувати ворожого зіткнення Русі з хозарами, але, очевидно, до літописця не дійшло переказу про ці події. Можливо, зіткнення й не було, оскільки самі хозари були зайняті сильною боротьбою з печенігами. Проте, «зіткнення» з хозарами, на думку Соловйова, сталося лише через вісімдесят років. На той час князь Святослав мав відомості, що в'ятичі, що населяли східну частину Київської Русі, платять данину хазарам, розгромив їх кагана, і взяв його головне місто.

У більш ніж столітній боротьбі з Хазарським каганатом Русь зазнала і тяжких поразок, і великих перемог. Давно вже складається переконання, що саме те, що протиборство знайшло художнє втілення в слов'янському героїчному епосі – богатирських билинах, хоча первісне ім'я ворогів – хозари – згодом замінилися у множині були ім'ям пізніших ворогів Русі – монголо-татар.

У центрі епосу перебуває не переможець хозар Святослав, яке син – князь Володимир, проте попри нищівний удар, завданий хазарам Святославом, останній переможний похід ними довелося зробити саме Володимирі. У його «Пам'ять та похвалі», складеній у своїй основі ще у XI ст. ченцем Києво-Печерського монастиря Яковом, повідомляється про перемогу Володимира над хозарами та накладенням на них данини. Цей похід згадано також в арабських хроніках кінця X ст. та відноситься до 985 року. Боротьба з хозарами зайняла щонайменше півтора століття. І лише в ситуації цієї боротьби, яка нерозривно пов'язана з темою «Русь та Візантія», можна зрозуміти діяльність княгині Ольги.

У 944 р. князь Русі Ігор був жорстоко вбитий племенем древлян, що збунтувався, з якого він намагався зібрати «зайву» данину. Син його Святослав, який народився наприкінці 930-х років, був ще дитиною, і правителькою стала вдова Ігоря Ольга. Монах Яків писав: «Тілом дружина суті, що мають чоловічу мудрість». І, судячи з її справ, Ольга мала не тільки мудрість, але й видатну силу духу, і воістину не жіночу волю і відвагу.

Виходячи з літописних дат, Ольга на час свого правління була вже дуже літньою жінкою, бо її заручення з Ігорем віднесено в літописі до 903 р. і, отже, в 944 р. їй було не менше 55 років, а Святослава вона ніби народила незадовго до свого п'ятдесятиріччя. Ці «невідповідності» відзначали В. Татищев, Н. Карамзін. Проте свідомо неспроможна хронологія так чи інакше використовується і досі. Цю хронологію виправдовують різними домислами. Зокрема, вона підтримується в церковній літературі, де вважають недоречним будь-який «перегляд» дат, що увійшли в життя святої Ольги.

Звертаючись до відомостей літопису, слід враховувати, що «Повість...», що дійшла до нас, була складена у 1110-х роках – тобто через півтора століття після часу Ольги та Святослава. У найдавніших слов'янських творах, ченця Якова, митрополита Іларіона, створені набагато раніше «Повісті...», із династії Рюриковичів названі лише князі Ігор, Святослав та Володимир. Можливо, через століття з гаком уже не було точного знання про те, чиїм сином був Ігор. Але згодом, бажаючи продемонструвати єдність династії, Ігоря оголосили сином Рюрика, що неправдоподібно оскільки між смертю Рюрика, за літописом 879 р., і народженням Станіслава, 937-938 роки, який нібито є його онуком, минуло 60 років. Немає сумнівів у тому, що Ігор справді був нащадком Рюрика.

У літописі одруження Ігоря на Ользі віднесено до 903 року. далі стверджується, що в 913-му р. він став князем, в 914-му р. воював з деревлянами, в 915-му «прийшли вперше печеніги на Російську землю», в 920-му Ігоря. Протягом від 920 до 941 року у літописі немає жодної події, що з ім'ям Ігоря. Звичайно, зробити висновок, що насправді цей князь воював з деревлянами не в 910-х, а в 940-х роках, коли і сталося зіткнення для Ігоря.

Слід визнати, що Ігор загинув від руки деревлян ще в досить молодому віці, і Ольга була молодою вдовою, про що свідчить і її величезна енергія (вона здійснила цілу низку різноманітних і значних діянь), і її очевидний розвиток, зміна її переконань і самої поведінки, що яскраво виразилося протягом 940-960-х років.

Про молодість Ольги свідчить той факт, що Святослав був єдиним сином, якого вона встигла одружитися з Ігорем. У договорі Ігоря з Візантією перераховано послі від Ігоря, малолітнього Святослава, Ольги, двох племінників Ігоря.

Отже, в 944 р., що опинилася при владі після загибелі Ігоря Ользі, було менше тридцяти років; синові її – років 7-8.

Час смерті відомий цілком точно: дату смерті Ольги у Києві зберегла церква – 11 липня 969 року; Святослав загинув біля дніпровських порогів у березні 972 р. Таким чином «період Ольги і Святослава» - це лише чверть століття, але за такий короткий термін відбулося надзвичайно багато визначних подій.

До 944 р. Ольга була лише дружиною та матір'ю, але в одному, зовні незначному, факті висловилося її воля – в імені, яке отримав її син.

На Русі з кінця 830-х років правила «варязька» - тобто норманська, скандинавська династія, представники якої носили й відповідні неслов'янські імена – Рюрик, Аскольд, Олег, Ігор, що викликало і викликає у деяких істориків обурення.

Справа в тому, що в історії чи не будь-якої середньовічної держави були такі періоди, коли влада мала «чужорідну» династію. Так, наприклад, у Європі правила династії Каролінгів, Бурбонів, Габсбургів чи Азії – Чингісханів, Тимуридов. Ця перевага «іноземних» правителів має причини: тут і «нейтральність» зайвих правителів щодо різних верств населення країни, та його певна відчуженість від цього населення, і завжди високо цінувалася в династії довго тривалість, древність. Династія зрештою зростається з країною, де вона править. І ім'я Святослава ясно свідчило про це зрощення.

Відповідно до «Повісті минулих років», Ігореві привели дружину з Пскова. Вона була російською княжною - дочкою князя псковських кривичів і носила спочатку ім'я Прекраса. Ім'я цілком ймовірне; так, у російсько-візантійському договорі 944 р. згадано ім'я такого ж складу - Передслава. Ігор же вважав за краще називати дружину скандинавським і навіть «своїм» ім'ям Ольга (жіночий варіант імені Олег). Але сина вона назвала все ж таки російським ім'ям, і це було, без сумніву, істотним фактом, що наочно виразив «обрусіння» династії; наступних князів Київських звали Ярополк, Володимир, Святополк, Ярослав, Ізяслав.

Важливо зауважити, якщо серед учасників договору князя Олега з Візантією ще немає слов'янських імен, то в пізнішому договорі Ігоря брали участь, крім посла його сина Святослава - послы Володислава і Передслави.

Водночас Ольгу спочатку оточують варяги – воєвода Ігоря Свенельд та Асмунд, вихователь Святослава.

Є підстави вважати, що на початку дії Ольги багато в чому залежали від найближчих сподвижників її загиблого чоловіка - Свенельда та Асмунда. Пізніше вони пішли з юним Святославом у Північну Русь, і Ольга почала правити самостійно. Характерно, що воєвода з лівобережжя Дніпра, який згодом рятував, у 968 р., Ольгу та Київ від набігавши печенігів, носив ім'я Претич.

Але перше знамените діяння Ольги та молодого Святослава – жорстока розправа з древлянами, які зазнали Ігоря. Це було виразом невідворотного заповіту кривної помсти, властивий німецьким, зокрема скандинавським, етносам, але зовсім характерний для Русі. Не можна не звернути увагу на те, що це свого роду унікальна сторінка російської історії. Більше того, нічого схожого немає і в подальшій поведінці Ольги. Тому й складається уявлення, що у своєму першому діянні княгиня керувалася вимогами варязького оточення свого покійного чоловіка.

Опинившись правителькою за малолітнього сина, Ольга мала діяти у важкій ситуації. Доля Русі вже задовго до того ніби вагалася між двома полюсами - потужною і висококультурною Візантійською імперією і не менш потужною, але не володівшою розвиненою культурою Хазарським каганатом,

центр якого був у пониззі Волги, а зона влади простягалася від Уралу до Дніпра і від Кавказу.

Русь від початку тяглася до Візантії. «Повість временних літ» повідомляє, що перший князь Південної Русі Кій ходив до Константинополя. Це відбулося наприкінці VIII ст. за імператора Костянтина VI та імператриці Ірини – тобто за півтора століття до Ольги, яка, у свою чергу, приходила до візантійського імператора Костянтина VII Багрянородного. Достеменно відомо, що у 838 р. Константинополь прибули послы імператора Північної Русі. Південна Русь на той час була вже підвладна Хазарському каганату.

У 930-х роках Русь була у тісному союзі з Візантією, ясно свідчить той факт, що у 934 та 935 роках сотні російських воїнів у складі візантійських ескадр брали участь в обороні італійських володінь Імперії.

Наприкінці 930-х років російське військо на чолі з князем Олегом за домовленістю з Константинополем здійснило напад на один із найважливіших центрів Хазарського каганату – Самкерц на Таманському півострові. Важливо, що з 840-х років, відносини Візантії і Хазарії були вкрай ворожі.

Хазарський каганат зумів у 940 році завдати тяжкої поразки Русі і, у свою чергу, змусити її воювати з Візантією. Протягом 941 р. Русь здійснила похід на Константинополь, закінчився невдало. У хозарському розповіді, що дійшов до нас, про ці події протягом 930-940-х років правителем Русі названий саме Олег, тим часом в російському літописі в якості такого виступає Ігор. Дослідники цього періоду вважали, що мова повинна йти про спільно діючих верховного князя Ігоря і підлеглого йому князя Олега, який тоді ж загинув.

Однак у хозарському джерелі Олег поіменований «царем Русії», і, отже, саме Олег стояв тоді на чолі, хоча в поході на Константинополь брав участь і наступник Ігор. Після своєї поразки під стінами Константинополя Олег із частиною війська рушив до хозарів, які й послали його до цього походу. Далі, на настійну вимогу хозар Олег попрямував у Закавказзі, до кордонів Ірану, де загинув у битві з мусульманами. Про це повідомляється не лише в хозарському творі, а й у оповіданні місцевого правителя – іранця Марзбана ібн Мухаммеда. Після загибелі Олега його дружину очолив і повів назад до Києва, до Ігоря, що вже правив там, воєводу Свенельду.

Ігор уклав із Візантією договір, повністю відновив союзницькі справи та спрямований проти Хазарського каганату. У договорі передбачалося, що київський князь перешкоджатиме хазарам руйнувати Корсунську область – візантійські володіння у Криму. Той факт, що Візантія тоді була кровно зацікавлена у союзниках у боротьбі з Хазарським каганатом, не підлягає жодному сумніву.

Ігор навряд чи встиг якось виконати умови договору, оскільки невдовзі було вбито деревлянами.

Ряд істориків вважають, що до початка правління Ольги, Київ, незважаючи на підтримку Візантії, був суттєво залежний від Хазарського

каганату. На середину X ст. склалася така ситуація, яка характеризувалася наявністю у Києві хозарської адміністрації та хозарського гарнізону, а в місті, у 940-950-х роках була хозарська фортеця Самбатас. Це спонукало Ольгу мати свою резиденцію не в Києві, а в фортеці Вишгород, розташованому на високому березі Дніпра. Як свідчать археологічні дослідження, за розпорядженням Ольги, у фортеці були створені залізоробні та залізо обробні майстерні. Металургів, які там утворили цілий квартал.

Далі, Ольга прагне встановити найближчі відносини з Візантією і для цього, в 946 році вона, у супроводі великої делегації, відвідала Константинополь. Існує протокольний запис прийому Ольги візантійським імператором. У складі її посольства було понад 100 осіб. Там вона вела переговори з Костянтином VII Багрянородним. Зміст залишився невідомим, офіційної угоди не укладено[12, с.42.]. Поїздка Ольги була цілком закономірною. Ігор, який уклав найважливіший договір з Візантією загинув, другий підписувач документу, імператор Роман I був повалений з престолу 16 грудня 944 р., і цілком природно, що наступники колишніх правителів – княгиня Ольга та імператор Костянтин VII – поспішали підтвердити договір.

Як свідчать візантійські джерела у 949 році київські дружинники беруть участь у візантійському поході на захоплений арабами острів Крит, у битвах з арабами у 954 та 956 роках.

Водночас поведінка Ольги наприкінці 940-х – на початку 960-х років ясно виявляється, що небезпека з боку Хазарського каганату не зникла. Резиденція Ольги перебувала у неприступній Вишгородській фортеці. Багатозначно і згадка у літописі про розподіл данини, накладеної Ольгою на підкорених деревлян – «дві частини данини йде Києву, а третя – Вишгороду Ользі». Є всі підстави вважати, що дві третини данини забирали хозарські збирачі податків.

Надзвичайно багатозначним є той факт, що юний Святослав на початку правління Ольги виявився далеко на півночі, в Немограді, тобто в так званій Старій Ладозі, розташованій за 200 км на північ від Новгороду на березі «Великого озера Нево». До останнього часу вважалася, що йдеться про Новгород. Нові археологічні дослідження показали, що «нове» місто тога ще просто не існувало. Ольга після своєї візантійської подорожі вирушила до Невогорода, де й залишила сина зі Свенельдом і Асмудом, щоб уберегти його від хозар, і дати йому можливість підготувати тут, далеко від ворога, могутнє військо, здатне перемогти. Підготовка зайняла багато часу, але натомість удар, завданий згодом Святославом Хазарському каганату, був цілковитим.

Таким чином, не претендуючи на глибоке дослідження цієї проблеми, зупиняючись лише на окремих фактах державної діяльності перших київських князів, зазначимо, що за часів правління внутрішньополітичні заходи княгині Ольги сприяли об'єднанню східнослов'янських племен у єдину державу. У зовнішньополітичній діяльності княгиня Ольга визначила нові підходи, віддаючи перевагу мирним засобам перед воєнними.

У своїй державотворчій діяльності князь Святослав приділяв увагу активній зовнішній політиці, яка мала переважно завойовницьку спрямованість.

Численні війни Святослава призвели до виснаження Київської Русі; було втрачено дипломатичні зв'язки з провідними християнськими державами, налагоджені Ольгою.

Зі смертю Святослава в історії ранньофеодальної держави завершилася доба далеких воєнних походів. Наступники князя-воїна зосередилися на освоєнні раніше завойованих земель та подальшій розбудові держави.

Посилання

1. Голубинский Е. Е, История канонизации святых в Русской Церкви. Изд. 2-е. М., 1903. С. 13.
2. Хвойка В.В. Древние обитатели Среднего Приднепровья. — К., 1913.
3. Пресняков А. Е. Княжое право в Древней Руси. — Петроград, 1909; Пресняков А. Е. Княжое право в Древней Руси. Очерки по истории X–XII столетии. Лекции по русской истории. Киевская Русь / Подготовка текста, статьи и прим. Д. и. н. М. Б. Свердлов. — Москва, 1993.
4. Рапов О. М. Княжеские владения на Руси в X – первой половине XIII в. — Москва, 1977.
5. Poppe A. O tytule wielkoksiążęcym na Rusi w XI wieku. — Warszawa, 1968.
6. Толочко О. П. До питання про сакральні чинники становлення князівської влади на Русі у IX–X ст. // Археологія. — 1990. — № 1. — С. 51–63; Його ж. Особливості міжсеньйоральних відносин у період феодальної роздробленості Давньої Русі XII–XIII ст. // Феодалізм в Україні. — Київ, — 1990. — С. 8 – 41; Його ж. Князь в Древней Руси: власть, собственность, идеология. — К.: — 1992; Його ж. Русь: держава і образ держави. — Київ. — 1994; Його ж. "Князь-обочич" та "король-орач": східноєвропейські паралелі до давньоруських генеалогічних легенд // Старожитності Русі-України. — Київ, 1994. — С. 10–215.
7. Яковенко Н. М. Українська шляхта з кінця XIV до середини XVIII ст. (Волинь і Центральна Україна). — Київ, 1993; Її ж. Паралельний світ. Дослідження з історії уявлень та ідей в Україні XVI–XVII ст. — Київ, 2002.
8. Войтович Л. В. Генеалогія династії Рюриковичів. — Київ, 1991; Його ж. Волинська земля князівських часів (X–XII ст.) // Проблеми історичної географії України. Збірник наукових праць. — Київ, 1991; Його ж. Удільні князівства Рюриковичів і Гедиміновичів у XII–XVI ст. — Львів, 1996; Його ж. Удільні князівства Рюриковичів і Гедиміновичів у XII–XVI ст. Таблиці - Львів, 1996.
9. Шекера І. М. Київська Русь XI ст. у міжнародних відносинах. — К.: Наукова думка, 1967.
10. Рибаків Б. А. Перші століття слов'янської історії. — К., 1964. — С. 147–157.
11. Повість врем'яних літ: Літопис (За Іпатським списком) / Пер. з давньоруської, післяслово, комент. В. В. Яременка. — К.: Рад. письменник, 1990. — 558 с.
12. Толочко П. П. Древняя Русь. Очерки социально-политической истории. — Киев, 1987. — С.42-43.

ВИЩА ТЕХНІЧНА ОСВІТА ЯК ОБ'ЄКТ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Канд. пед. наук Н.В. Ладозубець, проф., докт. пед. наук Е.В. Лузік
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
м. Київ, Україна

Постановка проблеми. Розвиток вищої технічної освіти залежить від глобальних проблем сучасності, інформаційно-технологічної революції. Розвиток знань і концентрація обсягу набутих умінь та навичок мають відбуватися неперервним чином на основі законів природи і відображати процеси природного розвитку оскільки закони світобудови мають циклічну структуру і відтворюють фундаментальні закономірності природи. Відомі фахівці з педагогічної психології відмічають, що ускладнення, з якими стикається молода людина при розумінні та інтерпретації технічних текстів, є й на сьогодні не розв'язаним питанням у процесі забезпечення навчальної діяльності студентів вищих навчальних закладів, у змістовому спілкуванні поміж викладачами і студентами.

У той же час, педагогічна взаємодія може бути продуктивною лише за умови, коли студент має адекватне, відповідне задуму викладача розуміння, яке не викривляється хибно сприйнятою інформацією.

Необхідним сучасним засобом підвищення якості вищої технічної освіти є систематичне використання нових інформаційних технологій як при вивченні загальних курсів загальноосвітніх та спеціальних предметів, так і особливо при розв'язанні прикладних задач, проведенні науково-дослідної роботи. Ефективна підготовка студентів вищих технічних навчальних закладів може бути забезпечена при реалізації системного і комплексного підходу в організації навчального процесу. В результаті цих нововведень оцінювання буде зведено до системного автоматизованого збирання інформації кожного структурного елемента дослідження, її закріплення з подальшою обробкою за допомогою інформаційних технологій.

Нами була поставлена **мета** – встановити особливості побудови алгоритмічної моделі навчальної діяльності в системі вищої технічної освіти.

Об'єктом дослідження виступив процес оцінки вищої технічної освіти фахівців авіаційного профілю.

Дійсна освіта студента не можлива без усвідомлення ним своєї особистої ролі у навколишньому світі, без усвідомлення ролі і місця майбутньої професії, а також відповідних знань і компетентностей, якими він опанував, у власній подальшій професійній діяльності. Ми схильні вважати, що людина виступає інструментом пізнання і що у цьому, вочевидь, полягає головна сутність її існування. Синергетика, як наука що вивчає процеси самоорганізації у живій та неживій природі здатна дати відповіді на запитання, пов'язані із преференціями особистості. Адже головний результат

процесу навчання – здатність до продукування нових знань та до самоосвіти упродовж усього життя.

Змістове перегрупування нормативної інформації та формування бази даних на основі моніторингових досліджень, що проводяться на постійній основі, дозволяють використовувати більш ефективний засіб контролю стану навчальної діяльності.

Як результат проведених моніторингових досліджень виникає проблема забезпечення процесу оптимального прийняття рішень, що потребує створення на основі сучасної обчислювальної техніки та її системного забезпечення автоматизованих робочих місць інтерпретаторів результатів моніторингових досліджень. Це дозволяє підключати фахівців (експертів) у процес прийняття рішень у діалоговому режимі та, опираючись на проміжкові поточні результати, використовувати апріорну інформацію і експертні оцінки; ініціювати питання до експертів у формі, яка звичайна для їхньої предметної галузі; звертатися до досвіду розв'язаних задач і банків довідкової інформації [1].

Проведені у цьому напрямку дослідження показали [2, 3], що застосування інформаційних технологій для автоматизованої оцінки стану та обробки інформації, яка одержана у процесі моніторингу, суттєво підвищують якість обстеження об'єкту.

Моніторинг навчальної діяльності потребує створення адаптованого під конкретні умови функціонування апаратно-програмного комплексу (АПК), який має бути укомплектованим відповідним математичним, програмним та апаратним забезпеченням, необхідними методичними матеріалами.

Математичне забезпечення системи моніторингу бажано будувати на принципах та методах стохастичної обробки інформації в умовах неповних даних і невизначеності. Це необхідно для того, щоб знаходити оптимальні рішення з використанням випадкових процесів, теорії ризику та теорії суб'єктивного аналізу.

На початковому етапі моніторингових досліджень можуть бути використані стандартні пакети обробки статистичної інформації SPSS або STATISTIC[4-6].

Основними блоками алгоритмічної моделі системи моніторингу навчальної діяльності будуть наступні блоки:

- попереднього математичного моделювання навчальної діяльності на основі моделей;
- декомпозиції навчальної діяльності за окремим її видами;
- класифікації, збирання та сортування моніторингової інформації;
- ініціалізації, керування та коректування системи моніторингу;
- математичних досліджень та прогнозування поточного стану;
- моделювання можливих керуючих рішень та їх наслідків;

- розробки рекомендацій за проектами готових альтернативних керуючих рішень з притягненням у процес вироблення альтернатив представників наукової та педагогічної спільноти;

- остаточного прийняття керуючих рішень на основі аналізу альтернатив і поточного стану досліджуваного навчального процесу.

Одним з головних результатів моніторингових досліджень є прогнозування стану навчальної діяльності. Ефективність прогнозування на основі системи моніторингу може бути оціненою за вірогідністю, терміном прогнозу та вартістю практичної реалізації.

При функціонуванні система моніторингу навчальної діяльності активно використовує: процедури послідовного аналізу при виборі контрольованих параметрів; технічні засоби та обчислювальні методи обробки поточної інформації; еталони, прогнозів математичні методи навчальної діяльності; систему одержання інформації у реальному масштабі часу; багаторівневий системний аналіз поточної інформації; концентрацію поточної інформації досліджень у вигляді бази даних у ПЕОМ.

У загальному випадку суть методу послідовного аналізу для організації експертної системи аналізу результатів обробки даних моніторингових досліджень складається у багатоетапності процедури прийняття остаточного керуючого рішення.

Спочатку, за допомогою математичного моделювання, на основі попередньої інформації, оцінюється поточний стан навчальної діяльності в цілому, її окремих видів. Таким чином визначається відповідність навчання вимогам освіти конкретного навчального закладу.

Якщо це встановити не можливо, то продовжується збирання даних за допомогою системи моніторингу з притягненням додаткових досліджень, математичних методів та технічних засобів. Це дає можливість одержувати додаткову інформацію в умовах неповної та нечіткої вхідної інформації. На цьому етапі разом з кількісними даними враховується і якісна інформація, притягуються додаткові інформаційні ресурси.

Необхідною умовою підвищення точності оцінювання навчальної діяльності, що проводиться з використанням імовірнісних методів, є облік часової і просторової кореляції інформації, яка отримується у процесі моніторингу.

Як міру різноманітності системи, що характеризується імовірнісним розподілом p_1, \dots, p_N в теорії інформації, статистичній фізиці та

термодинаміці, прийнято використовувати ентропію $H = -\sum_{i=1}^N p_i \ln p_i$, що являє собою математичне сподівання логарифма ймовірності перебування системи у довільному стані, взяте зі знаком "-".

Якщо для деякого номера стану i відповідна ймовірність $p_i = 1$ (тобто до множини альтернатив включено лише один вид підготовки з системи

технічної освіти), то ентропія такого плану підготовки дорівнює нулю. Це значення є мінімально можливим (від'ємною ентропія бути не може) і характеризує повну відсутність різноманітності у такому (на практиці, звичайно, неможливого) розподілі часу за видами підготовок. Якщо всім видам підготовки з системи технічної освіти визначено однакову кількість годин, тобто $n_i = n/N$, то ентропія такого розподілу дорівнює $H = \ln N$. Це значення є максимально можливим, воно відповідає найбільшій можливій різноманітності навчального процесу.

Зрозуміло, що реальний процес навчальної діяльності повинен по своїй різноманітності розміщуватись посередині між мінімальними та максимальними допустимими значеннями.

Окрім того, використання переваг суб'єкта на множині альтернатив а також методів суб'єктивного аналізу в системі вищої технічної освіти ефективно впливає на професійне становлення фахівців авіаційного профілю, формує особисті та професійні якості, сприяє саморозвитку та самореалізації.

Для постійно діючих нормативних правил, що визначають та регулюють навчальну діяльність, кореляційні зв'язки між системою керування та реакцією об'єкту на це керуюче діяння можна враховувати за допомогою апарату кореляційного аналізу.

Найбільш точні результати для визначення коефіцієнту кореляції між двома випадковими величинами можуть бути одержані на основі обробки даних у вигляді часових рядів, що ґрунтуються на байєсовому підході. У цьому випадку коефіцієнт кореляції визначається за загально прийнятими методиками та чисельними алгоритмами.

Оцінювати реакцію запізнювання навчальної діяльності під час змін у системі керування можна, якщо розглядати це запізнювання як квазістаціонарний випадковий процес. При цьому одним з основних завдань є визначення ступеню відповідності між теоретичною кривою розподілу імовірності, її видом (нормальний закон розподілу, трапецеїдальна форма, дельтообразна, кутова) та статистичним розподілом одержаних даних, а також характеристик цього розподілу: математичного очікування, дисперсії, коефіцієнту варіації.

Використання моніторингу дозволяє контролювати виконання завдання від його становлення до видачі результатів, змінювати та модифікувати код розв'язування, розширювати область автоматизації завдяки можливості осіб, які приймають рішення, активно впливати на хід вирішення задач.

На основі цих результатів відповідні організації та працівники навчально-аналітичних підрозділів роблять відповідні висновки про характер можливих управлінських рішень, терміни їх прийняття та виконання. Ці рішення повинні сприяти підвищенню рівня успішності студентів, якості навчання, а також зниженню кількості відрахованих студентів за результатами поточного контролю.

Відповідно до науково-обґрунтованої структури й змісту моделей операторів особливо складних систем керування (Р. Н. Макаров, Л. В. Герасименко) наприклад сучасний льотчик, що отримує вищу технічну освіту, має володіти: функціональною та психологічною готовністю до професійної діяльності, розвинутими евристичними компонентами діяльності, оперативною пам'яттю й мисленням, здатністю вирішувати проблемні задачі, аналізувати та правильно оцінювати обстановку в стресогенних умовах діяльності, грамотно приймати й надійно реалізовувати рішення в особливих та критичних ситуаціях тощо.

Дидактичний принцип узагальненості знань передбачає доцільність зведення багатообразних часткових і конкретних знань до загальних знань про класи, типи і види об'єктів і процесів, з якими має справу даний напрям освіти, а застосування теорії активних систем, де ядром, головним елементом є людина – суб'єкт, дозволяє виявити пріоритетні напрями розвитку технічної освіти як об'єкту наукового дослідження.

Посилання

1. Grynyuk, S., Kovtun, O., Sultanova, L., Zheludenko, M., Zasluzhena, A., & Zaytseva, I. (2022). Distance learning during the COVID-19 pandemic: the experience of Ukraine's higher education system. *The Electronic Journal of e-Learning*, 20(3), 242-256. <https://doi.org/10.34190/ejel.20.3.2198>.
2. Kovtun, O., Kokarieva, A., & Khaidari, N. (2022). Modeling a repertoire of pilots' professional communication skills for meeting flight safety and aviation security challenges. In: Guda, A. (eds) *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. Lecture Notes in Networks and Systems*, 510, 1069-1078. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_109.
3. Luzik, E., Ladohubets, N., Konoplianyk, L. (2024). Developing future aviation specialists' readiness for professional activity through System-Synergetic Diagnostic Technologies. In: Ostroumov, I., Zaliskyi, M. (eds), *Advances in Civil Aviation Systems Development. ACASD 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 992, pp. 353-363. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_26.
4. Stevens J. *Applied Multivariate Statistics for the Technical Science* (2nd edn) / Stevens J. –Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.- 2022. – 764 p.
5. Bobrytska, V.I., Krasylnykova, H.V., Ladohubets, N.V., Vorona, L.I., & Lysokon, I.O. (2023). Involvement of stakeholders in the transformation of educational services via taking advantage of extra-curriculum educational activities in the settings of education reform. *International Journal of Educational Methodology*, 9(1), 107-122. <https://doi.org/10.12973/ijem.9.1.107>.
6. Malykhin, O., Aristova, N., & Opaliuk, T. (2023). Global competence development among computer engineering and information technology undergraduates in the English language classroom. *Environment. Technologies. Resources: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 2, 162-168. <https://doi.org/10.17770/etr2023vol2.7226>.

ПРОФЕСОР АНДРІЙ ПАВЛОВИЧ ВИНОГРАДОВ ТА ЙОГО РОЛЬ У СТАНОВЛЕННІ ВИЩОЇ ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ НА ПРИДНІПРОВ'І

*Проф., канд. техн. наук М.А. Мироненко
Український державний університет науки і технологій
м. Дніпро, Україна*

У жовтні 2025 року виповнилося 150 років від дня народження видатного вченого та організатора вищої технічної освіти на Придніпров'ї, доктора технічних наук, професора Андрія Павловича Виноградова (1875 - 1933). У статті розглянуто основні етапи біографії вченого-металурга та його вплив на розвиток вищої школи на теренах Придніпровського краю.

Народився майбутній вчений 2 жовтня (14 за нов.ст.) 1875 р. в старовинному місті Суздаль в багатодітній родині чиновника. Батько Андрія Виноградова був секретарем земської управи і відійшов у вічність, коли хлопчаків виповнилося лише вісім років [1].

Після успішного закінчення початкового училища і гімназії в м. Шуя, майбутній вчений був відправлений для проходження військової повинності в Шуйському повіті Володимирського намісництва у 1897 році та під час проходження військово-лікарської комісії був визнаним повністю непридатним до неї та звільнений назавжди від військової служби. Це засвідчує запис у «Формулярному спискові про службу» (далі – «Формуляр»), який авторові статті пощастило дослідити у фондах народного музею історії ДМетІ у липні 2023 року. Цей вельми пізнавальний документ було укладено у травні 1918 року й у ньому позначено, що гірничий інженер Андрій Павлович Виноградов на той час обіймав посаду доцента по кафедрі металургії Катеринославського гірничого інституту (КГІ).

Тепер, спираючись на вказане документальне джерело, відтворимо події життя вченого, починаючи від 1899 року. Цю дату обрано не випадково, адже саме 4 червня (за ст.ст.) 1899 року у Петергофі, замиській резиденції царя Миколи II було остаточно визначено щодо започаткування у Катеринославі вищого гірничого училища (КВГУ) – першого закладу вищої технічної освіти на наших теренах.

Невеличкий історичний відступ від основного тексту, який багато чого пояснює щодо питання організації навчального процесу в вищому навчальному закладі у ХІХ ст. Вступні іспити до нового навчального закладу проводили члени приймальної комісії, відібрані з числа викладачів місцевої гімназії та реального училища. Екзаменаційна сесія розпочалась 15 вересня і до неї було допущено 177 чоловіків із числа 352 осіб, що подали заяви. Для навчання було зараховано лише 77 чоловіків і не було зараховано жодної жінки. Серед щасливих першокурсників був і студент Андрій Виноградов [2].

Власне відкриття КВГУ відбулось 30 вересня (13 жовтня за н.ст.) 1899 р. Для занять були виділені кімнати у приміщенні Потьомкінського палацу, а в самому навчальному закладі заняття відбувались за кабінетною системою,

адже у перші роки кафедр не було створено, а існували лише два відділення – гірниче та заводське. Керівником останнього було призначено на початку 1900 року талановитого інженера-металурга і педагога, випускника Петербурзького гірничого інституту Михайла Олександровича Павлова – у майбутньому видатного вченого-металурга і академіка [2].

У 1903 році відбувся перший випуск. Завершили КВГУ 16 чоловіків – 8 отримали дипломи гірничих інженерів, а інші 8 – інженерів-металургів. Серед останніх восьми був і А.П. Виноградов (дипл. № 6990 від 13 листоп. 1903 р.), який під час навчання виявив неабиякий талант до наукової праці та був рекомендований до залишення на роботу до кабінету металургії (рис. 1) [2].



Рис. 1 Андрій Виноградов – випускник КВГУ, 1903 р.

У «Формулярі» жодним чином не пояснюється, яким чином молодий чоловік із Володимирського намісництва опиняється на берегах повноводного Дніпра. Відповідь знаходимо у статті [1]. Як стверджує її автор, у 1897 році Андрій Виноградов стає студентом медичного факультету Московського університету. Від самого початку молодий чоловік поринає у вир студентського життя, однією зі складових якого були різноманітні заворушення й відстоювання прав і свобод людини і громадянина.

Після одного з таких студентських страйків А. Виноградова у 1899 році розпорядженням Московського генерал-губернатора було відраховано з другого курсу і вислано із Москви «без права проживання в університетських містах, а також у містах з вищими навчальними закладами» [1].

Саме завдяки такій примсі долі двадцятичотирирічний молодий чоловік став студентом у Катеринославі, адже на момент його заслання у місті не було вищого навчального закладу.

Та повернімося до змісту «Формуляра». Молодий гірничий інженер Андрій Виноградов не поспішає відгукуватися на заманливу пропозицію викладачів училища щодо роботи лаборантом при кабінеті металургії під керівництвом П.Г. Рубіна [4], а вирішує набути практичного досвіду, працюючи на заводах у містах Верхньодніпровську та Петрозаводську (1904 – 1907 рр.).

Із 1 серпня 1907 року А.П. Виноградова було запрошено до КВГУ на посаду асистента кафедри металургії. Молодий чоловік погоджується, адже в його особистому житті також відбулись чималі зміни.

Як впливає з інформації у «Формулярі» 8 січня 1903 року ще студент Андрій Виноградов одружився з донькою протоієрея Анною Федорівною Лебедевою, яка народилась 25 січня 1878 року. В щасливому шлюбі у молодят народилося троє дітей – старший син Федір народився 1 вересня 1904 року; донька Олександра народилась 11 липня 1906 року та молодший син Гліб, який народився 2 травня 1908 року. [2]

У професійному житті вченого відбувалось кар'єрне зростання. Із перетворенням КВГУ в 1912 році на гірничий інститут А.П. Виноградов отримує підвищення та обіймає посаду старшого лаборанта кафедри металургії (рис. 2). Як талановитому вченому йому було надано право на відрядження у складі делегації на з'їзд діячів гірничої, металургійної та машинобудівної справи, який відбувався у Санкт-Петербурзі з 21 грудня 1912 по 7 січня 1913 року.



А. П. ВІНОГРАДОВ, 1912 г

Рис. 2 А.П. Виноградов – працівник кафедри металургії КГІ, 1912 р.

Від 1 січня 1913 року А.П. Виноградова було призначено на посаду в.о. доцента кафедри металургії КГІ. Нова посада передбачала відрядження на літні місяці на підприємства Поволжя та Уралу на яких виготовляють мідь.

Під час зборів працівників гірничого факультету КГІ 22 листопада 1917 року А.П. Виноградова обрали на посаду доцента кафедри металургії. Того ж таки року вченим було прочитано лекцію «Про прокатку», друкований примірник якої зберігається у бібліотеці ДМетІ і налічує 29 сторінок тексту, а також вкладки з епіюрами, графіками та планами прокатних цехів (рис. 3).

Наполеглива праця вченого двічі у цей період була відзначена урядовими нагородами: у 1908 році орденом Святого Станіслава III-го ступеня та орденом Святої Анни III-го ступеня у 1915 році.

У 1919 році А.П. Виноградов захищає дисертацію на тему «М'який булат та походження булатного візерунку» й отримує вчене звання ад'юнкта металургії та призначається на посаду професора.

У 1920 році професора Виноградова Наркоматом просвіти було призначено на посаду заступника директора Катеринославського гірничого інституту з навчальної роботи. Починається насичений повсякденними важливими педагогічними та науковими справами етап в житті вченого. Від липня 1921 року А.П. Виноградов керує створеною ним же кафедрою механіко-термічної обробки металів. При ній же було створено першу в Україні металографічну лабораторію, а задачі термомеханічної обробки прокату стали надзавданням для металургійної науки й дотеперішнього часу.

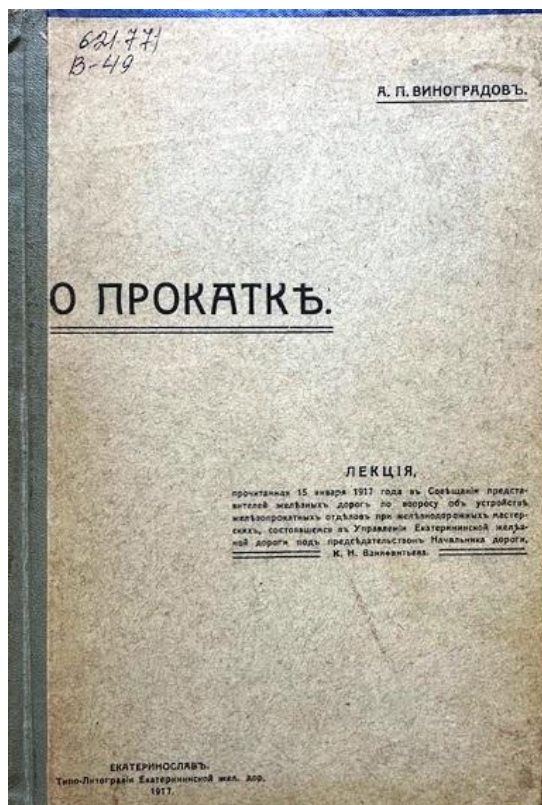


Рис. 3 Титульна сторінка лекції А.П. Виноградова «Про прокатку», 1917 р.

Крім того, професор Виноградов виявляє себе талановитим лектором та невтомним пошукувачем талантів серед обдарованої студентської молоді. У 1920-х він очолює металургійну предметну комісію, читає лекції з курсу прокатного виробництва, керує процесом дипломного проектування у вечірніх робітничих технікумах при Брянському та Дніпровському металургійних заводах. Невтомно читає лекції на курсах підвищення кваліфікації інженерів та техніків. Саме професора Виноградова можна по праву вважати тією людиною, яка відкрила світ науки для студентів Олександра Чекмарьова, Кирила Стародубова та Павла Ємельяненка. Згодом ці молоді люди перевершили своїми досягненнями вчителя.

Професор Виноградов 1925 року виїздив у наукове відрядження до Німеччини – знайомився на металургійних заводах з досвідом роботи інженерів та колег вчених. Ця поїздка за декілька років виявиться для нього фатальною.

У серпні 1927 року А.П. Виноградова призначають уповноваженим Головнауки Народного комісаріату просвіти.

У 1928 році під егідою проф. Виноградова вийшов друком «Вісник науково-технічного студентського гуртка» – предтеча створеного ним же роком пізніше журналу «ДоМеЗ» (рис. 4), який уже 1930-го року викликав шквал критики ленінградських та московських вчених через свою надмірну популярність серед читачів. Виявилось, що тираж цього по-суті місцевого видання перевищував накладі багатьох аналогічних столичних видань, причому разом узятих.

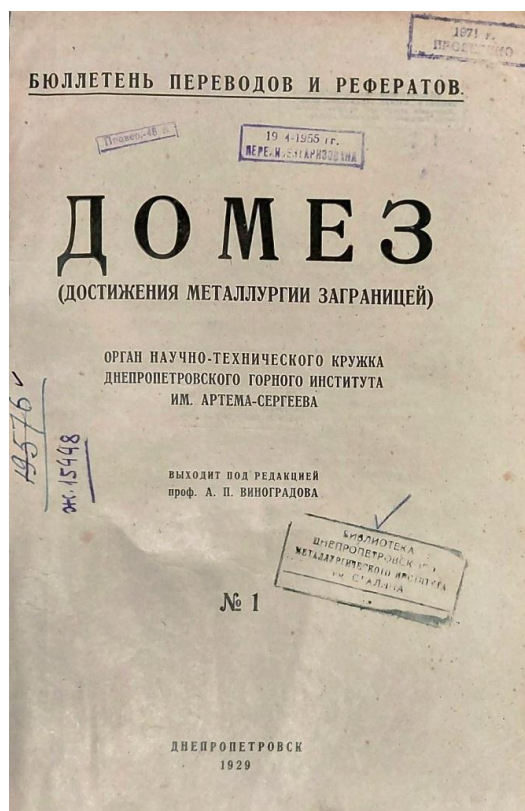
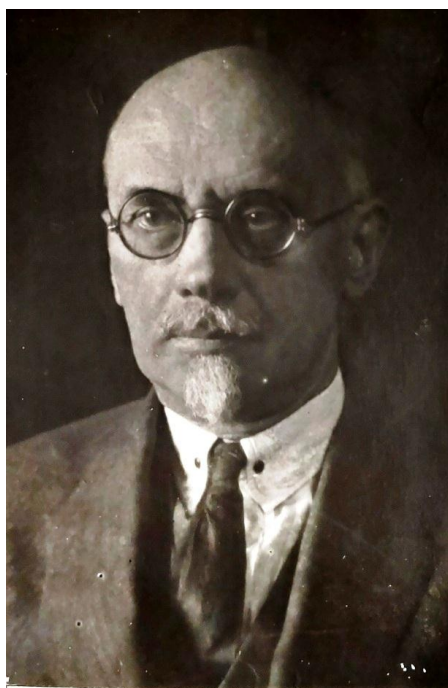


Рис. 4. Титульна сторінка першого примірника журналу «ДоМеЗ», 1929 р.

При утворенні навесні 1930 року Дніпропетровського металургійного інституту професор Виноградов був призначений заступником заснованої ним кафедри прокатного виробництва та металографії.

На початку 1931 року був заарештований НКВС із звинуваченням як «німецький шпигун». У застінках НКВС зазнав важких моральних та фізичних тортур. Звинувачення повністю відкинув, своєї вини не визнав і був звільнений. Професора А.П. Виноградова було реабілітовано у 1993 році.

А ось як про цей факт пише відома краєзнавиця та доктор історичних наук Ганна Швидько у нарисі про П.Г. Рубіна: «Незважаючи на активну наукову діяльність П.Г. Рубіна, практичне значення його досліджень для народного господарства країни, революційні заслуги, наприкінці 1930 р. (коли він уже працював у Дніпропетровському металургійному інституті) вченого заарештували за сфабрикованою в місцевому управлінні ГПУ-НКВД справою «Інженерного Центру» і навіть встигли винести вирок – вища міра покарання. Але вчасно надійшли з Москви два документи за підписами Сталіна та Молотова, якими заборонявся арешт особливо цінних фахівців без узгодження з керівництвом Народного Комісаріату важкої промисловості. П.Г. Рубін, як і професор А.П. Виноградов (випускник КВГУ 1903 р.), були звільнені. А от його учневі та помічники з наукових і організаційних питань Я.О. Габинському не пощастило – його розстріляли». [3]



А.П. Виноградов, 1933 г

Рис. 5 Професор А.П. Виноградов – заступник директора ДМІ, 1933 р.

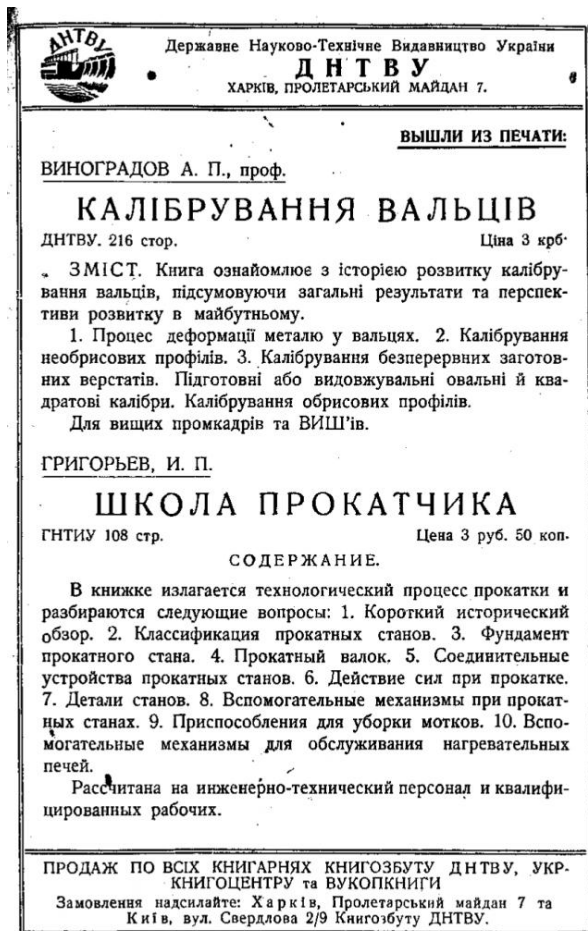
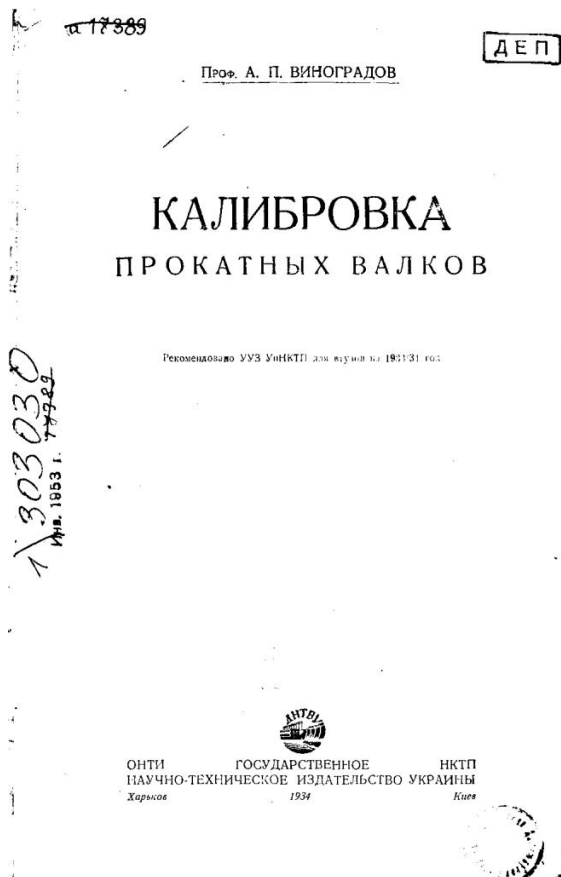
Від серпня 1931 року викладав в Донецькому металургійному інституті (ДМІ), обіймаючи посаду заступника кафедри прокатки. У 1933 році професора Виноградова було обрано на посаду заступника директора ДМІ

(рис. 5). За значні досягнення у роботі 1 листопада 1933 року професора А.П. Виноградова було нагороджено грамотою та званням ударника [2, 5].

2 листопада 1933 року професор А.П. Виноградов помер від інфаркту.

Перу вченого загалом належать близько 40 наукових праць у галузі прокатного виробництва та металографічних досліджень: монографій, статей, навчальних посібників. У фондах бібліотеки ДМетІ зберігається декілька фундаментальних праць вченого: «Основы калибровки прокатных валков» (1925), «Калибровка прокатных валков» (1934) та «Калибровка прокатных валков» (1950) у співавторстві з Г.А. Виноградовим [6 - 8].

Мовна палітра праць вченого майже монохромна. У мережі Інтернет є посилення лише на одну україномовну книгу «Калібрування вальців» 1933 року (рис. 6). Всі інші праці вченого – російськомовні. Це зайвий раз засвідчує факт лінгвоциду, який мав місце в Україні за царської та радянської доби.



а)

б)

Рис. 6. Титул (а) та передостання (б) сторінки книги проф. А.П. Виноградова «Калибровка прокатных валков» 1934 р.

Гідним продовжувачем справи батька виявився молодший син вченого Гліб, який у 1933 році закінчив ДМетІ та працював на виробництві у 1934 –

1939 роках, а згодом у наукових установах в м. Маріуполі, Ленінграді та Києві.

У 1965 році захистив докторську дисертацію, а наступного року отримав звання професора. Від 1967 до 1983 року – був завідувачем відділу прокатки порошків у Інституті проблем матеріалознавства АН УРСР (м. Київ), в якому працював з 1957 до 1985 року.

Професор Гліб Андрійович Виноградов створив оригінальні стани для прокатки сипких матеріалів та відділ прокатки виробів з металевих порошків; обладнав єдину в СРСР спеціалізовану лабораторію спеченого прокату. Розробив теорію та технологію основ прокатки сипких тіл [9, 10].

Посилання

1. Савчук В. Андрій Виноградов – вчений-металург і металознавець // Мое Придніпров'я. Календар-альманах пам'ятних дат Дніпропетровської області на 2025 рік : краєзнавче видання / Управління культури, націонал. і релігій Дніпропетр. облдержадміністрації, Дніпропетров. обл. універсал. наук. б-ка ім. Первоучителів слов'янських Кирила і Мефодія ; упоряд. С. Жилінська, ред. І. Голуб. – Дніпро : ДУОНБ, 2024. – С. 91 – 94. URL: <https://www.libr.dp.ua/fullkr/index.php?pbp=866>
2. Мироненко М. Постаті: Нариси про вчених – Дніпро: Ліра, 2025. – 116 с.
3. Швидько Г. Вчений і літописець історії нашого краю П.Г. Рубін URL: https://www.dnipro.libr.dp.ua/index.php?route=information/news/info&news_id=254
4. Мироненко М. Павло Рубін – професор-піонер коксохімії URL: https://www.dnipro.libr.dp.ua/Pavlo_Rubin_profesor_pioner_koksokhimiyi
5. Мироненко М. Андрій Виноградов: професор-зачинатель двох наукових шкіл в Україні URL: https://www.dnipro.libr.dp.ua/Andriy_Vynohradov_profesor-zachynatel_dvokh_naukovykh_shkil_v_Ukrayini
6. Виноградов А. Основы калибровки прокатных валков – Х.: Гос. изд-во Украины, 1925. – 136 с.
7. Виноградов А.П. Калибровка прокатных валков – Х.-К.: ДНТБУ, 1934. – 248 с.
8. Виноградов А.П., Виноградов Г.А. Калибровка прокатных валков – Л.-М.: «Металлургиздат», 1950. – 344 с.
9. Виноградов Гліб Андрійович / В. В. Картузов // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2005. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-34062>.
10. Виноградов Г.А., Семенов Ю.Н., Катрус О.А., Каташинский В.П. Прокатка металлических порошков. – М.: Металлургия, 1969. – 382 с.

СЕРТИФІКАТНІ КУРСИ
"ПЕРША ПСИХОЛОГІЧНА ДОПОМОГА В КРИЗОВИХ СИТУАЦІЯХ"
ЯК ЕЛЕМЕНТ НЕФОРМАЛЬНОЇ ОСВІТИ
В ДНІПРОВСЬКОМУ ДЕРЖАВНОМУ МЕДИЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

*Зав. каф., проф., докт. мед. наук В.В. Огоренко,
доц., канд. мед. наук Т.Й. Шустерман, доц., канд. мед. наук А.Є. Ніколенко*
Кафедра психіатрії, наркології і медичної психології
Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, Україна

Неформальна освіта — це освіта, яка здобувається за освітніми програмами (курси, тренінги, семінари) і має на меті поглиблення професійних знань та набуття додаткових практичних навичок, але не передбачає присудження визнаних освітніх ступенів. Основна перевага такого навчання для здобувачів вищої освіти ДДМУ полягає в тому, що відповідно до Положення ДДМУ про порядок визнання результатів навчання, успішно здобуті компетенції можуть бути офіційно визнані та зараховані. Обсяг таких зарахованих компонентів не може перевищувати 25% від загального обсягу освітньої програми. Успішне проходження цих курсів та оцінювання (1 кредит ЄКТС) дає можливість визнати ці результати навчання та зарахувати відповідну кількість кредитів як частину вибіркової складової основної освітньої програми студента [1].

Програма сертифікатних курсів «Перша психологічна допомога в кризових ситуаціях» розроблена кафедрою психіатрії, наркології і медичної психології Дніпровського державного медичного університету як елемент неформальної освіти і має на меті надання здобувачам вищої освіти ключових компетенцій для ефективної першої психологічної допомоги в умовах гострої кризи.

Вибір теми «Перша психологічна допомога в кризових ситуаціях» є критично важливим і зумовлений поточною ситуацією в Україні. В умовах повномасштабної агресії населення щоденно стикається з високим рівнем стресу, травматичними подіями та кризовими ситуаціями. Набуття навичок надання психологічної підтримки стає не просто медичною чи психологічною компетенцією, а життєвою необхідністю [2].

Метою курсів є навчити здобувачів освіти алгоритмам поведінки та необхідним навичкам для надання допомоги особам у різних кризових ситуаціях, таких як плач, панічна атака, ступор, агресія, «істерика», страх та нервові тремтіння. Основне завдання полягає у формуванні та розвитку практичних навичок. Це досягається за допомогою кейс-методу та симуляційних сценаріїв, що максимально наближені до реальності, забезпечуючи поєднання теоретичної бази з практичною підготовкою.

Тривалість сертифікатних курсів складає один тиждень. Загальний обсяг становить 1 кредит ЄКТС (30 годин, з них лекція – 2 години, практичні заняття – 6 годин, самостійна робота студента – 22 години).

Навчання проходить у дистанційному форматі на платформі Moodle. Програма орієнтована на здобувачів вищої освіти у галузі знань 22 Охорона здоров'я для студентів другого (магістерського рівня) спеціальності 222 Медицина та 221 Стоматологія (4-й рік навчання), а також студентів першого (бакалаврського) рівня спеціальності 227 Терапія та реабілітація (2-й рік навчання).

Практична частина курсів містить в собі детальні покрокові алгоритми надання першої психологічної допомоги в різних кризових ситуаціях:

- панічна атака,
- агресія,
- «істерика»,
- страх,
- нервові тремтіння,
- плач,
- ступор.

Після проходження курсів студенти повинні знати психологічні ознаки вразливості, прояви поведінки в кризі, а також варіанти поводження осіб в стані кризи й техніки допомоги. Підсумковий контроль знань здійснюється у формі тестування, що складається з 20 тестових завдань. Для отримання сертифіката та відповідних кредитів ЄКТС необхідно набрати 60% правильних відповідей.

Таким чином, сертифікатні курси «Перша психологічна допомога в кризових ситуаціях» поглиблюють професійні знання в галузі психології та психіатрії, забезпечують майбутніх медичних працівників критично важливим інструментарієм для роботи в умовах високої психоемоційної напруги, спричиненої війною.

Посилання

1. Положення про порядок визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти у Дніпровському державному медичному університеті URL: https://drive.google.com/file/u/1/d/1g2mDGIRcUM_H-T1-mSV6GG2HAJsMtqoa/view
2. Комплекс освітніх тренінгів з першої психологічної допомоги особам у кризових ситуаціях: навчальний наочний посібник / за заг. ред. професора В. В. Огоренко. Дніпро: ЛІРА, 2023. 268 с.

УПРАВЛІНСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ КЕРІВНИКІВ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ У ПЕРІОД ВОЄННОГО СТАНУ В УКРАЇНІ: ТРАНСФОРМАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ

Наук. співр. Л.М. Попович

Відділ економіки та управління загальною середньою освітою

Інститут педагогіки НАПН України, м. Київ

pLidia01@ukr.net

Вітчизняні вчені досліджували зміст понять «трансформація», «трансформаційний процес» у економіці, державному управлінні, політології, освіті, закладах загальної середньої освіти: особливості організації допрофільної підготовки здобувачів освіти в гімназіях у дистанційному форматі в умовах трансформаційних процесів (Данко, 2024); місце трансформаційних процесів закладів освіти в контексті європейської інтеграції (Джурило, Глушко, Локшина, 2018); державно-громадської партнерської взаємодії в управлінні трансформаційними процесами в закладах загальної середньої освіти в умовах війни та повоєнного відновлення України (Онаць, 2024); впливу євроінтеграційних трансформаційних процесів на законодавчі переміни у сфері освіти України (Чижевський, 2025); ролі директора школи як генератора трансформаційних процесів у закладі загальної середньої освіти (Онаць, Чижевський, Попович, 2025). Проте проблема управлінської діяльності керівників закладів загальної середньої освіти в умовах трансформаційних процесів у період воєнного стану та повоєнного відновлення України є недостатньо дослідженою.

Дослідники переконані у позитивних трансформаційних процесах щодо розвитку освіти, науки, інновацій «В Україні є достатній науково-освітній, інтелектуальний потенціал, розгорнуті наукові напрацювання (монографії, підручники, посібники, енциклопедії, словники, глосарії, національні та наукові доповіді, наукові видання, науково-експертні висновки, юридичні зауваження і т. п.), щоб професійно забезпечити позитивну дієвість і правомірність євроінтеграційних законодавчих процесів та вивести розвиток сфер науки, освіти, інновацій, інформатизації, інтелектуальної власності на якісно новий рівень та реально забезпечити реалізацію права творчої обдарованої особистості на якісну, наукову, безоплатну, доступну освіту та важливу, необхідну, конкурентоспроможну професію». (Чижевський, 2025).

З метою з'ясування особливостей в управлінні трансформаційними процесами в закладах загальної середньої освіти, вивчення стану управлінської діяльності нами було проведено дослідження: аналіз наукової та освітянської літератури, інтерв'ювання, анкетування керівників закладів загальної середньої освіти міста Києва, Київської, Житомирської областей, на поставлене запитання: які характерні ознаки, принципи державно-громадського управління ними притаманні закладам загальної середньої освіти в умовах війни та прогнозування їх змін у повоєнному відновленні

України, на які аспекти управлінської діяльності необхідно акцентувати увагу керівників в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення України, респонденти відповіли так: безпечний освітній простір, подолання освітніх втрат, організація освітнього процесу для учнів, які перебувають за кордоном - 52,2%.

Керівники на наше запитання чи погоджуються вони з думкою, що управління трансформаційними процесами у закладах загальної середньої освіти має розглядатися як цілісна духовно-моральна, соціально-педагогічна, фінансово-економічна, інформаційна та технологічна система, що забезпечує захист, самодостатність, гармонійний розвиток, навчання, виховання і соціалізацію творчої обдарованої вільної особистості, відповіли, що *так*, погоджуються, управління трансформаційними процесами особливо в умовах воєнного стану, тісно пов'язане із освітньою політикою в країні та спрямоване на потреби творчо обдарованої особистості – 43,3 %.

А на поставлене запитання: «Чи погоджуються вони, що трансформаційні процеси у закладах загальної середньої освіти у непростих умовах воєнного стану потребують швидкого й оперативного, ефективного управління ними з метою своєчасного вирішення проблем і як цей процес відбувається у їхньому закладі освіти?» відповіли : *так, погоджуються*, пріоритетними напрямками трансформації в освіті є дистанційне навчання, хмарні технології, використання в освітньому процесі соціальних мереж та соціальних сервісів, які задовольняють основні вимоги сучасного інформаційного суспільства та дозволяють всім учасникам освітнього процесу ефективно взаємодіяти і досягати спільних цілей (система сервісів компанії Google). – 39,4 %.

Нас цікавила позиція керівників закладів загальної середньої освіти щодо впровадження державно-приватної партнерської взаємодії у сферу загальної середньої освіти, в умовах трансформацій в період воєнного стану в Україні, вона є позитивною, впровадження може здійснюватися на основі угод, укладених між органами державної влади, територіальними громадами та приватними партнерами, а також може передбачати між партнерами спільне фінансування та розвиток закладів освіти, юридичних і фізичних осіб, які здійснюють освітню діяльність, фінансування та експлуатацію різноманітних інноваційних підприємств, залучення приватних структур до участі в освітньому й управлінському процесах; зменшення обсягів звітності та дублювання паперового і електронного варіантів – 37,3 %.

Респонденти позитивно відносяться до оптимальної моделі управління закладом загальної середньої освіти, «однією з оптимальних моделей управління трансформаційними процесами, може бути модель державно - громадського управління закладами загальної середньої освіти на засадах суб'єктної партнерської взаємодії» (автор О. Онаць) керівники закладів загальної середньої освіти відповіли, що важливо дотримання принципу довіри, особливості моделювання державно-громадського управління у сфері

освіти і закладами загальної середньої освіти на засадах суб'єктної партнерської взаємодії залежать, у значній мірі, від рівня громадянської активної позиції членів співтовариства, громади, тому необхідно проводити роз'яснювальну роботу серед населення.

Щодо специфічних особливостей управління трансформаційними процесами та особливостей управлінської діяльності керівника закладу загальної середньої освіти, які притаманні в умовах війни в Україні респонденти відповіли так: у закладах загальної середньої освіти діють індивідуальні форми організації освітнього процесу (сімейне навчання та екстернатна форма навчання), а також педагогічний патронаж, що дає змогу залучити до навчання всіх, незалежно від умов та місця проживання (46,5%).

Зроблено висновок, що управління трансформаційними процесами у закладах загальної середньої освіти має такі *специфічні особливості в умовах війни та повоєнного відновлення України*: специфіка управління закладу освіти – це є співуправління; розвиток інноваційних підходів та управління чому сприяє фінансування, підтримка на рівні державної політики, кваліфіковані кадри, моніторинг та оцінка інновацій; необхідно враховувати особливості регіону, міста, громади, рівень пошкодження чи руйнування ресурсної бази закладів загальної середньої освіти; тісної співпраці, партнерської взаємодії, комунікації із засновниками (міською радою), громадою; фінансова забезпеченість, рівень економічного розвитку регіону; запровадження цифрового, інклюзивного управління; організації безпечного освітнього середовища; позитивне ставлення членів співтовариства, громади до впровадження державно-приватної партнерської взаємодії закладу загальної середньої освіти.

Позитивні зміни, які відбуваються у закладах загальної середньої освіти: управління освітнім процесом з точки зору безпеки його учасників; використання онлайн-платформ для організації освітнього процесу в умовах очного навчання з використанням технологій дистанційного навчання; матеріально-технічного забезпечення освітнього закладу з врахуванням вимог нової української школи; підвищення професійного рівня педагогічних працівників згідно вимог сьогодення; упровадження інновацій в управління трансформаційними процесами, реалізація Державного стандарту базової середньої освіти, який розроблено відповідно до Концепції Нової української школи; упровадження шкільної автономії та інноваційного розвитку; забезпечення психологічного комфортного освітнього середовища для всіх учасників та забезпечення якісного освітнього процесу для дітей творчо обдарованих та які мають особливі освітні потреби.

Важливою в управлінні закладом освіти є роль керівника – лідера, усіх учасників освітнього процесу «Упровадження інновацій та державно-громадське управління закладами освіти на засадах суб'єктної партнерської взаємодії трансформаційними процесами в умовах війни та повоєнного відновлення потребу всебічних неабияких зусиль не тільки керівників-лідерів, але й усіх учасників освітнього та управлінського процесів,

готовності до такої діяльності органів влади і суспільного сектора» (Онаць, 2024).

Керівник закладу освіти в сучасних непростих умовах воєнного часу приймає управлінські рішення «з урахуванням рішень ради школи, педагогічної ради, суспільної думки, позиції та пропозицій органів учнівського, педагогічного, батьківського самоуправління, досвіду своїх колег, що сприяє демократизації та гуманізації управлінської діяльності, зростанню її ефективності. Директор школи здійснює свої управлінські функції подвійним чином. По-перше, він, маючи справу із стандартними або типовими ситуаціями, керується нормами законодавства, вимогами нормативно-правових документів, професійними знаннями, досвідом, інколи коригуючи їх шляхом прийняття нестандартних, сміливих, сильних управлінських рішень і дій. По-друге, досить часто, коли в управлінській практиці виникають нестандартні, нетипові ситуації, від директора школи вимагаються такі рішення і дії, які можна назвати мистецтвом управління... Саме вміння директора школи приймати нестандартні, сміливі, сильні правові рішення в умовах війни, демографічної кризи, в складних, унікальних ситуаціях є показником його майстерності і високої компетентності» (Онаць, Чижевський, Попович, 2025).

Висновки

Трансформаційні процеси в управлінні закладами загальної середньої освіти в Україні в умовах воєнного стану і повоєнного відновлення України позитивно впливають на досягнення якісних змін в управлінні закладом освіти та організації освітнього процесу, запровадження інноваційних моделей державно-громадського управління на партнерських засадах, спрямованих на відновлення, інноваційний розвиток закладів загальної середньої освіти.

Посилання

1. Данко А. (2024) Особливості організації допрофільної підготовки здобувачів освіти в гімназіях у дистанційному форматі в умовах трансформаційних процесів Проблеми сучасного підручника (32). стор. 83-94. ISSN 2411-1309 <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/743692/>
2. Джурило А.П., Глушко, О.З., Локшина, О.І. та ін. (2018). Трансформаційні процеси у шкільній освіті країн Європейського Союзу та США: монографія. Київ: КОНВІ ПРІНТ. <https://undip.org.ua/library/transformatsiyni-protsezy-u-shkilniy-osviti-krain-yevropeyskoho-soiuzu-ta-ssha-monohrafiia/>
3. Чижевський Б.Г. (2025). Вплив євроінтеграційних трансформаційних процесів на законодавчі переміни у сфері освіти України In: Українське суспільство у перспективах розвитку: історичний, соціально-політичний, освітньо-педагогічний аспекти : матеріали VI Всеукраїнської міжгалузевої науково-практичної онлайн-конференції (Київ, 26–31 березня 2025 року).

Інститут обдарованої дитини НАПН України, м. Київ, Україна, с. 195-202.
<https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/745351/>

4. Онаць О. М., Чижевський Б. Г. Попович, Л.М. (2025) Директор школи – генератор трансформаційних процесів у закладі загальної середньої освіти. Цифрова трансформація в освіті: виклики та перспективи: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (15 – 16 квітня 2025 року, м. Київ . Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, м. Київ, Україна, с. 67-72.
<https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/745396/>
5. Онаць О. М. (2024) Вектори діяльності керівника – лідера закладу освіти в сучасних умовах. Актуальні питання забезпечення стійкості системи управління освітою в умовах воєнного стану: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ-Краматорськ, 22 лютого 2024 р. Донецький обласний інститут післядипломної освіти, м. Київ, Україна, с. 15-20.
<https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/740202/>

ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ З МЕТАЛУРГІЇ ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОННОГО ДОВІДНИКА З ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

*Доц., канд. техн. наук І.А. Соловійова, ст. викл. Ю.М. Николаєнко,
проф., докт. техн. наук В.Ф. Балакін, викл. О.О. Ревенко*

Кафедра Теорії, технології та автоматизації металургійних процесів
Нікопольський ф-т ННІ ДМетІ

***Український державний університет науки і технологій
м. Дніпро, Україна***

Вступ. Сучасний етап розвитку вищої технічної освіти зумовлює необхідність перегляду підходів до підготовки майбутніх фахівців, що передбачає оновлення структури освітньо-професійних програм (ОПП) із широким залученням цифрових технологій та інноваційних педагогічних методів. У цьому контексті актуальним є аналіз змісту та структури кваліфікаційних робіт здобувачів ступенів бакалавра та магістра, зокрема з позицій інтеграції сучасних інформаційних технологій у процес професійної підготовки [1, 2].

Основна частина. У межах ОПП «Металургія» обов'язковою складовою кваліфікаційних робіт бакалаврського рівня є застосування сучасних інформаційних технологій, опанування яких забезпечується відповідними освітніми компонентами програми.

Структурна побудова таких робіт орієнтована на поетапну демонстрацію сформованості професійних умінь здобувачів, зокрема

здатності здійснювати аналітичну обробку даних, виконувати технологічні та інженерні розрахунки, моделювати виробничі процеси, формувати технологічні цикли та обґрунтовувати прийняті технічні рішення.

Одним із прикладів інноваційного підходу до виконання кваліфікаційних робіт є створення електронних довідників з технологічного проектування окремих ділянок металургійного виробництва. Такий електронний ресурс поєднує результати засвоєння знань з низки фахових дисциплін і має комплексну структуру.

Зокрема, до складу електронного довідника входять:

- технологічний цикл виробництва, сформований із використанням проектного підходу, в межах якого інтегруються знання з дисциплін «Технологія процесів», «Технологія прийняття рішень», «Інформаційні технології в управлінні проектами»;

- технологічні розрахунки та комп'ютерне моделювання обладнання і його складових для відповідних виробничих ділянок, виконані на основі навчального матеріалу курсів «Комп'ютеризація інженерних розрахунків», «Технології комп'ютерного проектування», «Конструкції технологічних агрегатів», «Технологічне проектування».

Типова структура електронного довідника передбачає інтеграцію програмного забезпечення технологічного проектування, проекту технологічного циклу виробництва, розробленого із застосуванням систем управління проектами, а також технологічних інструкцій, розрахункових залежностей і тривимірних моделей обладнання. У комплексі ці складові утворюють єдине інформаційно-аналітичне середовище, яке адекватно відтворює реальний виробничий процес.

Прикладом практичної реалізації такого підходу є електронний довідник з технологічного проектування ділянки виробництва холоднотягнутих нержавіючих труб відповідно до вимог стандарту ASTM A-312. Його структура охоплює програмні модулі, технологічний проект виробничого циклу та результати інженерних розрахунків (рисунки 1-3).

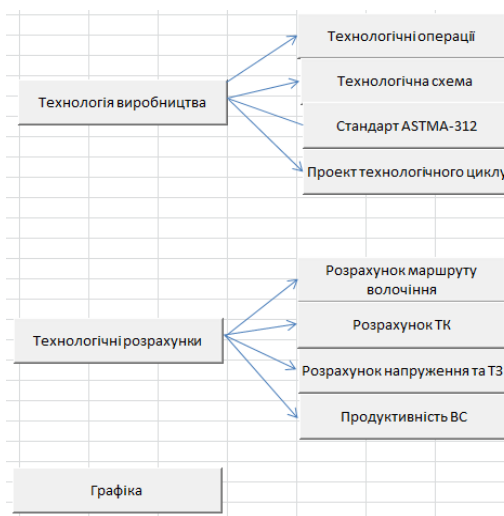


Рисунок 1 - Структура електронного довідника

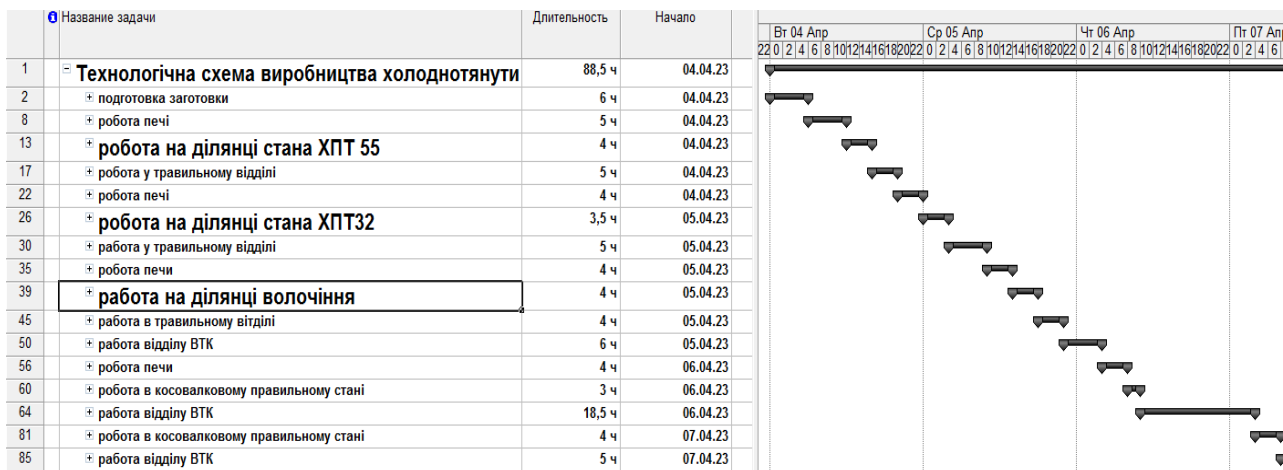


Рисунок 2 – Проект технологічного циклу виробництва труб по маршруту ХПТ55 → ХПТ32 → волочіння

Технологічна карта за маршрутом													
№	Розмір труби			Довжина труб	Коеф. Витяжки	Кількість труб	Проміжні операції	Кількість труб у пакеті	Вага, кг	Витрати по масі, кг			
	Dt, мм	St, мм	Ft, мм ²						1м	1труба	Усіх труб	%	кг
78	0	12,0	1,46	48,25			ХПТ-волочіння-задача	15	0,37781	1,44	21,5349		
80	1	9	1,4	33,43	5,25	1,44	порізка труб, обрізка кінців	15	0,26174	1,37	20,6197	4,25%	0,91523478
81	2	9	1,4	33,43	4,84		Торцювання і зняття фаски труб Знежирення (видалення мастила);	15	0,26	1,27	19,0217	7,75%	1,59802685
82							Піскоструминна обробка; термообробка;						
83							Торцювання і зняття фаски труб						
84							Травлення						
85							Огляд внутрішньої поверхні 100% труб з пакету;						
86							Огляд зовнішньої поверхні 100% труб з пакету;						
87							ремонт дефектів						
88							заливка (підбивка) головок;						
89							Масло						
90							волочіння труб						
91							Волочіння-задача						
92							порізка труб, обрізка головок						
93							Торцювання і зняття фаски труб;						
94							Знежирення (видалення мастила);						
95							Піскоструминна обробка;						
96							Огляд внутрішньої поверхні 100% труб з пакету;						
97							Термообробка; правка;						
98													

Рисунок 3 – Розрахунок технологічної карти за маршрутом

Проект технологічного циклу в даному випадку розроблено на основі чинної технологічної інструкції цеху та виробничої схеми з використанням програмного середовища Microsoft Project. Виробничий процес змодельований для одного пакета готової продукції за маршрутом ХПТ55→ХПТ32→волочіння за один прохід, що дозволяє наочно відобразити послідовність операцій і ресурсне забезпечення процесу (див. рис. 2).

Застосування проектного підходу забезпечує низку суттєвих переваг, зокрема можливість інтеграції у межах одного проекту технологічних розрахунків, інструкцій, табличних і графічних представлень даних, аналізу завантаження обладнання (рисунок 4) та персоналу (рисунок 5), а також використання комп'ютерних моделей технологічного устаткування та інструменту. Це, у свою чергу, створює передумови для формування реалістичних планів організації робіт на виробничих ділянках з урахуванням ресурсних обмежень, виробничих замовлень і кадрового забезпечення.

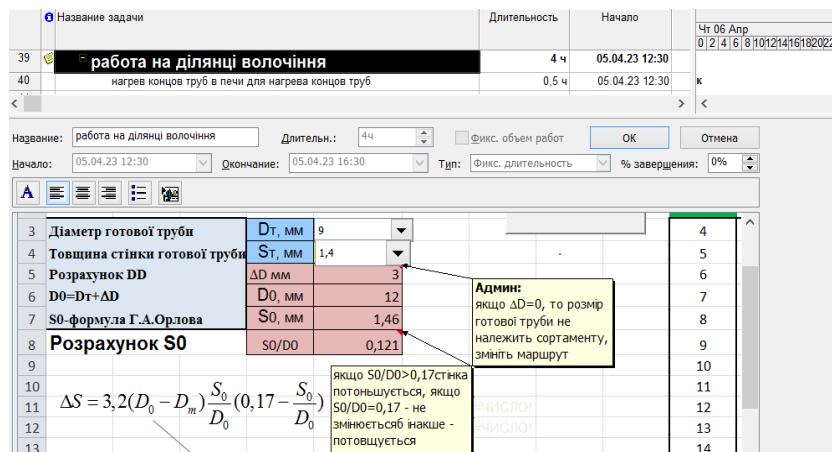


Рисунок 4 – Впровадження в проект розрахунку маршруту волочіння

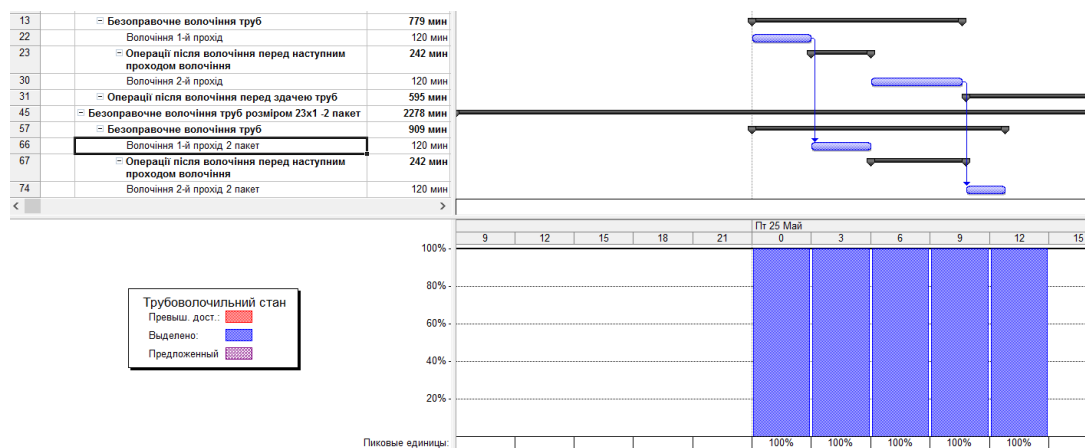


Рисунок 5 – Навантаження на обладнання –ВС

Висновки

Інтеграція сучасних інформаційних технологій, передбачених навчальними дисциплінами ОПП «Металургія», у процес виконання кваліфікаційних робіт суттєво підвищує їх якісний рівень та практичну цінність. Використання електронних довідників з технологічного проектування сприяє формуванню ключових професійних компетентностей здобувачів вищої освіти та підвищує конкурентоспроможність випускників на ринку праці, що зумовлює зростання інтересу роботодавців до фахівців відповідної спеціальності.

Посилання

1. Про вищу освіту: Закон України від 01 лип. 2014 р. № 1556-VII. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
2. Розроблення освітніх програм: метод. рек. / В.М. Захарченко, В.І. Луговий, Ю.М. Рашкевич, Ж.В. Таланова; за ред. В.Г. Кременя. – К. : ДП «НВЦ «Пріоритети», 2014. – 120 с.
3. Соловйова, І.А. Інформаційні технології та програмні засоби керування проектами: навч. посіб.: у 2 ч. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2004. – 98 с.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ІНСТРУМЕНТ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: ПАРАДИГМАЛЬНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ТА ЕТИЧНІ ВИКЛИКИ ¹

*Доц., канд. техн. наук, зав. каф.¹ Ю.О. Ступак
проф.², канд. техн. наук, декан ф-ту³ Т.С. Хохлова*

¹Кафедра Теорії, технології та автоматизації металургійних процесів

³Нікопольський ф-т ННІ ДМетІ (УДУНТ)

²Кафедра металознавства та термічної обробки ННІ ДМетІ (УДУНТ)

***Український державний університет науки і технологій (УДУНТ)
м. Дніпро, Україна***

Рік тому авторами саме до цієї конференції було підготовлено доповідь [1] щодо використання штучного інтелекту (ШІ) в освітній діяльності, зокрема щодо його впливу на формування у студентів університету окремих загальних та фахових компетентностей, задекларованих в освітній програмі. На думку авторів не менш актуальним є й питання практичного застосування ШІ у створенні різноманітних текстів – від студентських робіт до наукових статей у провідних наукових виданнях всіх категорій. У статті Rachel Fieldhouse, анонсованій у дайджесті поважного журналу Nature, зазначалося, що для підвищення ефективності своїх робіт вчені дедалі частіше використовують ШІ, про що свідчать дані опитування, проведеного у жовтні 2025 року. Було опитано 2400 дослідників і виявилось, що 62% з них використовують ШІ для завдань, пов'язаних з дослідженнями або публікаціями. Констатовано помітне зростання цього показника порівняно з аналогічним, отриманим у 2024 році (45%) [2]. Саме тут доречно зазначити, що авторами цю доповідь було підготовлено також з використанням ШІ (див. виноску 1).

Вельми цікавим в даному контексті є аналіз інструментів на основі ШІ, які підтримують дослідницьку діяльність та аналіз їх функціональних можливостей. У переліку напрямів дослідницької діяльності, що можуть бути повністю або частково виконані з використанням тих чи інших інструментів на базі ШІ є практично все: пошук та добір літератури, організація публікацій за конкретною темою, робота з результатами досліджень, створення чернеток статей та звітів, аналіз дослідницької мережі та впливу досліджень, візуалізація результатів, у т.ч. створення презентацій, переклад текстів, перевірка граматики, перетворення аудіо, відео у текст та багато іншого. Це дуже добре показано у багатьох публікаціях, зокрема [3]. Тобто сьогодні ШІ може використовуватися практично в усіх видах і на всіх етапах дослідницької діяльності, за винятком хіба що проведення експериментальних досліджень (не віртуальних, але на лабораторному або промисловому обладнанні).

Постають закономірні питання, на які сьогодні чіткі відповіді поки не сформульовані. Всі, хто займався дослідженнями, особливо за

¹ 6-й та 7-й абзаци, а також окремі фрагменти змісту таблиці 1 створено з використанням текстів, згенерованих за відповідними запитам до ШІ (ChatGPT)

«докомп'ютерних» часів, знають, скільки часу потрібно для здійснення якісного огляду літератури або проведення патентних досліджень та узагальнення результатів цієї роботи. Зараз, завдяки інструментам на базі ШІ, витрати часу на пошук та добір літератури скоротилися у десятки разів, а якість роботи (за умови грамотного виконання ШІ) помітно зросла, не зважаючи на лавиноподібне зростання кількості нової інформації в останні роки. Це добре? Безумовно. Але питання виникають тоді, коли узагальнення інформації з літературних джерел та наукових статей повністю покладене на ШІ, коли дослідники просять ШІ не тільки зробити висновки, а ще й скласти програму подальших досліджень, створити чернетки статей та звітів тощо.

На тлі різкого зростання використання ШІ в науковій та освітянській діяльності, цілком зрозумілими є небезпідставні побоювання щодо можливих зловживань (плагіат, використання некоректних або фальсифікованих даних тощо), які висловлюються чисельними представниками відповідних наукових спільнот. І мова йде не тільки про поодиноких науковців та їх роботи. Оприлюднено чимало фактів діяльності т.з. «паперових фабрик» з продукування наукоподібних публікацій, що виготовляються «на замовлення» недобросовісних (але платоспроможних) авторів у величезних обсягах. Цікаво, що з появою потужних ШІ-інструментів діяльність згаданих «фабрик» помітно активізувалася, про що йдеться в чисельних публікаціях, наприклад [4-6 та ін.]. Це не тільки значно ускладнює рецензування наукових статей, але й збільшує навантаження на редакції наукових видань, терміни розгляду публікацій з усіма відповідними наслідками.

Ситуація, що склалася, у свою чергу, спонукала до розробки спеціалізованого (у т.ч. комерційного) програмного забезпечення, призначеного полегшити роботу з виявлення текстів, що згенеровані ШІ [7-9 та ін.]. У підсумку маємо ситуацію, коли з одного боку ШІ є потужним помічником у певних видах наукової діяльності, але ж в окремих випадках (нажаль – не поодиноких) результати цієї діяльності потребують ретельної перевірки за допомогою... того ж самого ШІ. Коло замкнулося...

Далі доречно буде навести «думку» головного героя - власне штучного інтелекту (ChatGPT) щодо необхідності та мети створення програмних продуктів для виявлення текстів, що згенеровані штучним інтелектом. Узагальнена «думка» ШІ (коротко): *...програми для виявлення AI-згенерованих текстів з'явилися як відповідь на страхи та інституційні потреби...* Більш розгорнутий варіант відповіді від ChatGPT (з доповненнями авторів) для кращого сприйняття та аналізу представлений у вигляді таблиці.

У підсумку діалогу з ChatGPT, з яким важко не погодитися, було зазначено, що більшість сучасних детекторів ШІ не мають 100% надійності, їх відносно легко обійти або використовувати не за призначенням. Зростаюча популярність подібного ПЗ є ознакою перехідного періоду від «традиційних цінностей» до нової парадигми творчості та роботи з інформацією, які поки ще тільки формуються з різною мірою успішності (залежить від галузі та окремих думок).

Таблиця 1. Причини створення спеціалізованого ПЗ для виявлення текстів, згенерованих ШІ та деякі зауваження щодо використання програм-детекторів

№	Галузі	Причини або мотиви створення спеціалізованого ПЗ	Недоліки та зауваження
1	Освіта	<ul style="list-style-type: none"> - побоювання щодо плагіату (списування); - спроба зберегти старі правила (текстові роботи як показник рівня особистого мислення студента); - швидкий «костиль» для системи освіти, поки не будуть уявлені та сформовані нові дидактичні підходи. 	<ul style="list-style-type: none"> - детектори ШІ часто помиляються; - текст, добре написаний людиною можуть позначити як згенероване ШІ; - «слабкий» текст пропустити як той, що написаний людиною. <p>РЕЗЮМЕ: ПЗ лише «інструмент заспокоювання», але не «надійний доказ».</p>
2	Юриспруденція, журналістика, експертні тексти	<p>Важливо знати походження тексту, а не лише його якість. приклади:</p> <ul style="list-style-type: none"> - журналіст має бути відповідальним за кожне слово; - експертний висновок чи інструкція — це юридична відповідальність; - контракт або офіційний документ повинен мати зрозуміле авторство.. 	<p>На питання «Це писала людина, яка усвідомлює наслідки, чи алгоритм?» не можна дати 100% достовірну відповідь.</p>
3	Інтернет, інформаційні кампанії та «кібервійни»	<p>ШІ дозволяє:</p> <ul style="list-style-type: none"> - масово генерувати фейкові новини; - створювати тисячі «живих» коментарів; - імітувати громадську думку. <p>Детектори потрібні (приклади):</p> <ul style="list-style-type: none"> - для платформ, які борються з ботами; - для аналітики інформаційних кампаній; - для модерації контенту. 	<p>Важливою є не точність 100%, але статистичні патерни.</p>
4	Авторське право та етика	<p>Потреба:</p> <ul style="list-style-type: none"> - відрізнити людську творчість від машинної; - маркувати контент, створений ШІ; - доводити, що текст не створений ШІ. 	<p>Це скоріше юридичне та етичне, але не технічне питання.</p>
*5	Психологічний фактор	<p>Людина хоче бути впевненою, що з нею спілкується інша людина, а не алгоритм (безлика система)</p>	<p>Детектори (ПЗ) – це спроба повернути відчуття контролю (відповідь на питання: – з ким маю справу?)</p>

З огляду на зазначене в цій доповіді, на думку авторів найбільш важливими питаннями, що потребують вирішення на даному етапі та на перспективу, є наступні:

- налагодження взаємодії між науковими спільнотами та розробниками алгоритмів щодо врахування побажань про вдосконалення ШІ як помічника та найбільш чутливих питань щодо запобігання «ненавмисного» плагіату та забезпечення генерування ШІ якісного контенту (без т.з. «галюцинацій»);

- формування нової культури наукової діяльності, яка б передбачала з одного боку «прозорість» (декларування) використання ШІ, і іншого - відповідальність авторів за зміст (а не за спосіб здійснення) наукових робіт та публікацій за їх результатами.

Посилання

1. Ступак Ю.О., Хохлова Т.С. Штучний інтелект як нова реальність і поштовх до вдосконалення освітніх технологій / VII Міжнар. конф. "Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід" (23-25 грудня, 2024, Дніпро, Україна). Електронне видання. – Дніпро, Журфонд, 2024. –С. 58-63.
2. Fieldhouse R. AI is saving time and money in research — but at what cost? // Nature. News. Article. URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-025-03936-2> (дата звернення 05.12.2025).
3. Буйницька О., Смірнова В. Технології штучного інтелекту в дослідницькій діяльності: огляд та застосування // Неперервна професійна освіта: теорія і практика. Вип. № 4 (81), 2024. – С. 31-46.
4. Else H., Noorden R. (2021). The fight against fake-paper factories that churn out sham science // Nature, 591(7851), 516–519. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00733-5>.
5. Sanderson K. (2024). Science’s fake-paper problem: high-profile effort will tackle paper mills // Nature, 626(7997), 17–18. <https://doi.org/10.1038/d41586-024-00159-9>
6. Parker L. et al. Paper mill challenges: past, present, and future // Journal of Clinical Epidemiology, Vol. 176, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2024.111549>.
7. Isgen. Найточніший український ШІ-детектор. URL: <https://isgen.ai/uk> (дата звернення 15.12.2025).
8. Smodin. Безкоштовний детектор AI. URL: <https://smodin.io/uk> (дата звернення 15.12.2025).
9. Як розпізнати робота: ТОП-10 сервісів для перевірки тексту на штучний інтелект. URL: <https://genius.space/lab/yak-rozpiznati-robotu-top-10-servisiv-dlya-perevirki-tekstu-na-shtuchnij-intelekt/> (дата звернення 15.12.2025).

ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ H5P.COM ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ОСВІТНЬОГО КОНТЕНТУ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ОСВІТИ

*Заст. директора, спец. вищої кат. М.М. Тютюнник,
майстер виробничого навчання І.О. Пугач*

***Комунальний заклад «Вінницький професійний коледж цифрових технологій та підприємництва» Вінницької обласної ради
м. Вінниця, Україна.***

За останнє десятиліття галузь електронного навчання зазнала великих трансформацій: з'явилося чимало технологій, що пропонують креативні підходи для освітян. Цей розквіт інновацій дає змогу формувати індивідуальні освітні траєкторії для кожного студента, адаптуючи матеріали та темп опанування знань до їхніх особистих потреб і стилів пізнання, дозволяючи здобувачам знань з будь-якого куточка світу отримувати якісну освіту.

Сучасність українських студентів не є стабільною: часті перебування в укритті та дистанційний формат опанування матеріалу змушує педагогів активно коригувати поурочно-тематичне планування, впроваджуючи все новіші та гнучкіші методи викладання.

Наш освітній заклад активно використовує нові горизонти навчання — інтерактивні елементи на базі H5P, аби вдосконалити рівень теоретичних та практичних знань та вмінь здобувачів освіти.

H5P (HTML5 Package) — це універсальний інструмент, який дозволяє створювати понад 20 типів інтерактивного контенту. Його ключова особливість полягає в активному залученні студента до навчального процесу, а не в пасивному споживанні інформації.

За допомогою H5P можна розробляти різноманітні навчальні матеріали:

- **Вправи та ігри:** вікторини, флешкартки, ігри.
- **Візуальний контент:** графіки, діаграми, колажі, хронології.
- **Комплексні матеріали:** інтерактивні відео, презентації,

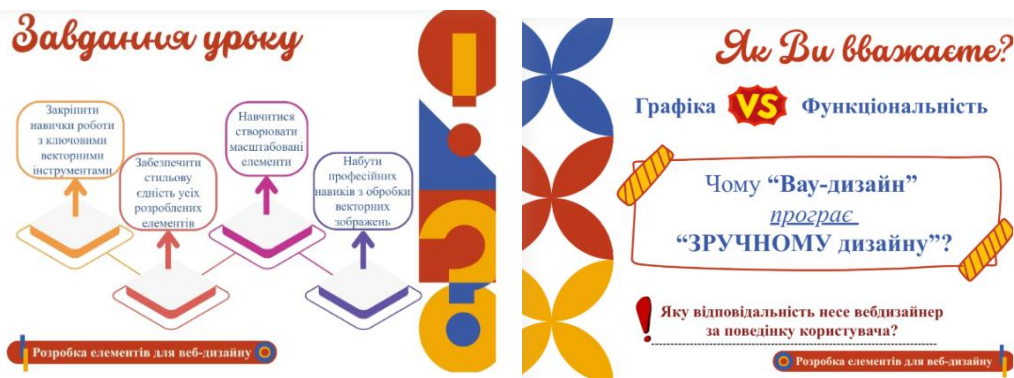
електронні книги.

Цей сервіс ідеально підходить для розробки сучасних навчальних матеріалів, створення мікромодулів або окремих інтерактивних вправ.

Редактор H5P є дуже простим у використанні, що робить доступним створення багатого інтерактивного контенту навіть для користувачів з початковим рівнем знайомства з комп'ютером.

Розглянемо основні типи контенту H5P, які можна створювати за допомогою цього застосунку.

Обравши тип контенту Course Presentation (Презентація курсу), можна створити послідовність слайдів. Схожість з PowerPoint, але всередині кожного слайда можна розмістити будь-яку іншу вправу H5P (тест, «заповни пропуски» тощо). Наприкінці презентації автоматично генерується звіт про успішність.



Обравши тип контенту Interactive Book (Інтерактивна книга), можна створити повноцінний цифровий підручник з лівим меню навігації. Книга включає: заголовки, блокову текстову структуру, відео та інтерактивні завдання на різних послідовно розташованих сторінках.

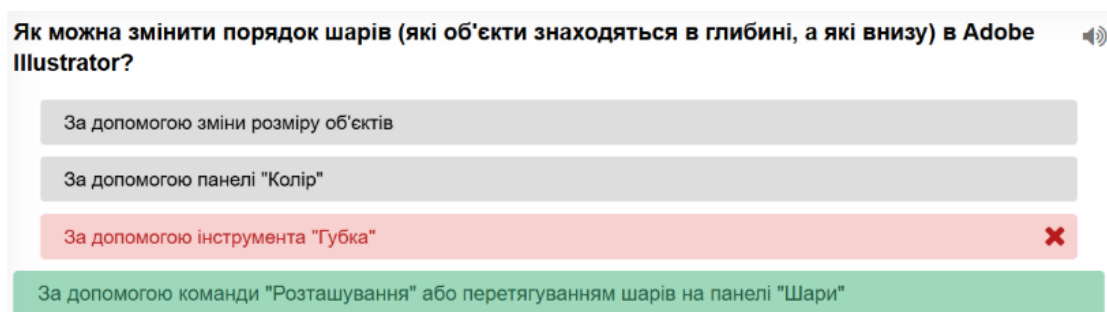


Розглянемо інструменти для швидкого контролю засвоєння матеріалу.

- Quiz/ Question Set (Набір питань) в H5P – це багатофункціональний інструмент, який дозволяє об'єднати серію різнопланових завдань в єдиний логічний блок. На відміну від поодиноких питань, Quiz забезпечує цілісний процес оцінювання з підсумковим екраном результатів.

До кожного питання можна додати відео, аудіо або зображення, що робить тест придатним для аудіювання або аналізу візуальних схем.

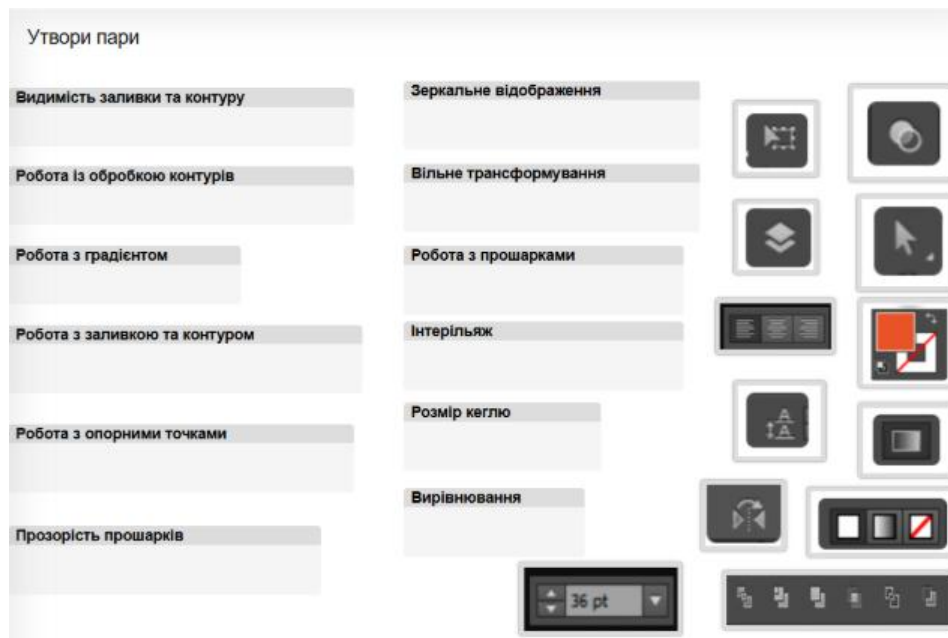
Студент бачить свою лінію прогресу вверху вікна, що допомагає орієнтуватися в часі та обсязі роботи.



- Drag and Drop (Перетягування об'єктів) в H5P – є одним із найбільш інтерактивних та візуально орієнтованих інструментів. Він дозволяє

створювати завдання, де студент повинен встановити логічні зв'язки між об'єктами, фізично переміщуючи їх по екрану.

Це не просто тест, а цифрова маніпуляція, яка задіює зорову пам'ять та просторове мислення.



- Mark the Words (Позначте слова) в H5P – це один із найбільш ефективних інструментів для роботи з текстовою інформацією. Він дозволяє перетворити звичайний текст на інтерактивне поле битви за правильні відповіді, де кожне слово стає потенційним об'єктом для аналізу.

- **Для чого в Adobe Illustrator працюють "опорні точки"**

Для переміщення об'єкта між шарами

Для визначення та керування формою кривих та сегментів на

Для зміни кольору об'єкта

Для групування об'єктів

Вам потрібно створити складну фігуру, яка складається з об'єктів. Який інструмент або панель допоможе вам з об'єктами, щоб отримати нову, єдину форму?

Панель "Трансформування"

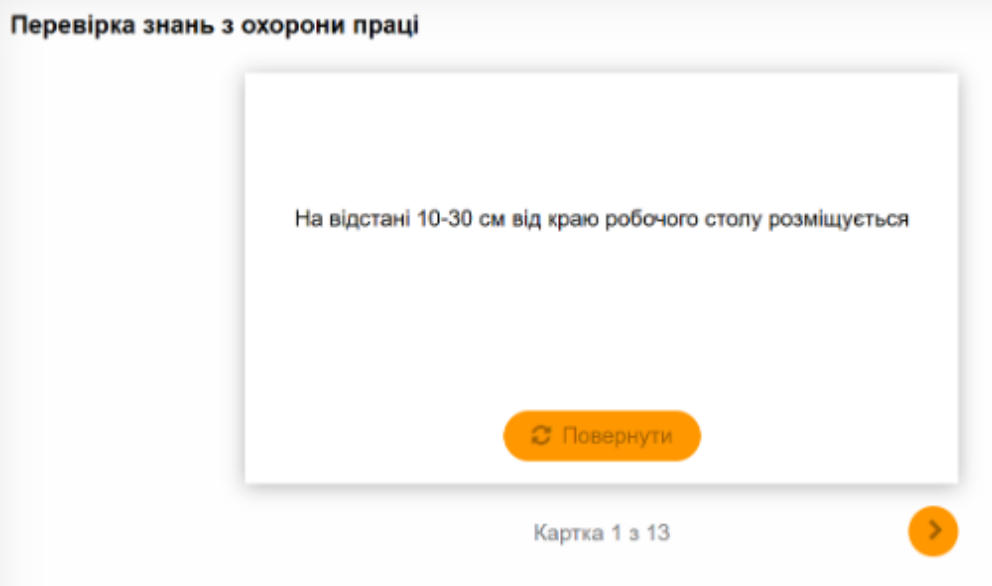
Панель "Обробка контурів"

Панель "Вирівнювання"

Розглянемо ігрові та допоміжні елементи для підвищення залученості (гейміфікації).

- Flashcards (Флеш-картки) в H5P – це класичний тренажер для запам'ятовування дискретної інформації (термінів, дат, слів, формул). Це цифровий аналог паперових карток, де на одному боці міститься стимул (зображення або текст), а на іншому — прихована відповідь.

Головна відмінність H5P Flashcards від простої гри «Memory» полягає в тому, що студент повинен вписати відповідь вручну, що активує моторну пам'ять і забезпечує глибше засвоєння матеріалу.



- Crossword (Кросворд) в H5P – це один із найбільш інтерактивних типів контенту, який автоматизує складну роботу дизайнера. Вам не потрібно малювати середовище – система зробить це за вас.

- Dictation (Диктант) в H5P – цей інструмент є незамінним для лінгвістів, оскільки він тренує одночасно навички аудіювання та правопису. Студент натискає кнопку «Play», слухає речення і записує його.

Візуалізація та аудіо

- Timeline (Хронологія) в H5P – потужний інструмент для візуалізації подій у часовій послідовності. Він дозволяє створити цілий мультимедійний проєкт в одному вікні. Ідеально для історії, біографій або етапів розвитку проєкту.

- Audio Recorder (Запис аудіо) в H5P – простий, але критично важливий інструмент для дистанційної освіти, який дозволяє почути голос студента. Дозволяє здобувачеві освіти записати свою відповідь голосом безпосередньо в браузері та відправити педагогу (корисно для мовних напрямів).

- Arithmetic Quiz в H5P – це самовідновлюваний контент. Педагогу не потрібно прописувати кожен приклад – система генерує їх випадковим чином у межах заданої складності. Генератор швидких математичних прикладів на додавання, віднімання, множення та ділення на час.

Висновки. За результатами аналізу технологічних та дидактичних можливостей онлайн-застосунка H5P (HTML5 Package), можна констатувати, що цей інструментарій є репрезентативним прикладом еволюції цифрових засобів навчання. Його впровадження в освітній процес зумовлене об'єктивною необхідністю переходу від пасивної трансляції контенту до моделі активного навчання.

Функціональність H5P базується на принципі модульності та відкритості. Використання стандарту HTML5 забезпечує повну кросплатформність та адаптивність, що усуває технічні бар'єри між різними

пристроями користувачів (BYOD-підхід). Ключовою архітектурною перевагою є інтеграція широкого спектра когнітивних механізмів в один інтерфейс: від репродуктивних вправ (тести, флеш-картки) до складних аналітичних інструментів (інтерактивне відео, сценарії розгалуження).

Платформа надає своїм користувачам широкий спектр інтерактивних форматів контенту, зокрема: тести з множинним вибором, завдання на заповнення пропусків, а також вправи з перетягуванням елементів (drag-and-drop). Ці функціональні можливості значно посилюють залучення студентів, перетворюючи навчальні матеріали на більш динамічні та іммерсивні.

Окрім того, H5P підтримує командну роботу та розповсюдження, що уможливорює легке тиражування та повторне використання навчальних модулів на різних освітніх системах.

Загалом, H5P.com – це важливий інструмент для педагогів та розробників контенту, які прагнуть збагатити свої цифрові навчальні ресурси за допомогою інтерактивних елементів..

Посилання

1. Ресурс <https://h5p.org/>
2. Авторський урок з використання ресурсу: <https://lnk.ua/zeGkDAPer>

Секція 2

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
РОЗВИТКУ НАУКИ І ВИРОБНИЦТВА**

ГОЛОВА – ХОХЛОВА ТЕТЯНА СТАНІСЛАВІВНА

канд. техн. наук, професор, декан факультету
Український державний університет науки і технологій /УДУНТ/
(Навчально-науковий інститут "Дніпровський металургійний інститут")
Нікопольський факультет УДУНТ

Section 2

**MODERN PROBLEMS
OF SCIENCE AND PRODUCTION DEVELOPMENT**

CHAIRMAN – TETIANA KHOKHLOVA

Dr. Eng., Prof., Dean of the Faculty
Ukrainian State University of Science and Technologies /USUST/
(Educational and Scientific Institute "Dnipro metallurgical institute")
Nikopol Faculty of USUST

ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ТА КУТА СОПЕЛ СТАЛЕВИПУСКНОГО КАНАЛУ НА ВІДСІЧКУ ТА ЗАХИСТ СТРУМЕНЯ

*Аспір. А.О. Вовк, зав. каф., докт. техн. наук Є.М. Сігарьов,
доц., канд. техн. наук А.А. Похвалітій, доц., канд. техн. наук М.Р. Руденко,
доц., канд. техн. наук О.А. Чубіна*
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

Процес випуску сталі з кисневого конвертера є одним із найбільш відповідальних етапів плавки, оскільки саме на цій стадії формуються передумови шлаковиносу, вторинного окиснення та погіршення чистоти металу. Некероване підтягування високоокисленого шлаку у сталевипускний канал і його винесення в ківш призводять до підвищення окисненості металу, зростання витрат розкиснювачів, збільшення вмісту неметалевих включень та нестабільності показників позаагрегатної обробки [1]. Одночасно зона формування струменя при випуску характеризується високою турбулентністю та значною площею контакту металу з газовою фазою, що створює умови для реокиснення і, за використання азоту як продувного газу, потенційного вторинного азотування.

Перспективним напрямом підвищення технологічності випуску є організація керованої подачі продувного газу (переважно аргону, а за наявності технологічного резерву — азоту) у сталевипускний канал із використанням багатосоплових блоків. Такий підхід дозволяє реалізувати три взаємопов'язані функції: (1) захист струменя за рахунок формування газової оболонки; (2) рафінування через інтенсифікацію міжфазної взаємодії в газорідному потоці; (3) газодинамічний запірний ефект — запирання підтягування шлаку в каналі на завершальній стадії випуску.

Мета роботи — обґрунтувати вплив кількості активних сопел і кута нахилу сопел у сталевипускному каналі на кероване формування режимів «захист струменя – рафінування – газодинамічне відсікання» та визначити підходи до їх перемикання в процесі випуску сталі з конвертера.

У практиці конвертерного виробництва застосовують механічні, процесні та інструментальні методи зниження шлаковиносу (керування моментом завершення випуску, конструктивні рішення у зоні льотки, застосування детекторів шлаку тощо) [2]. Разом з тим, значна частина таких рішень не змінює безпосередньо структуру потоку у сталевипускному каналі, тоді як гідродинамічна причина підтягування шлаку пов'язана з вирвоутворенням і нестійкістю межі поділу фаз [3].

Виклад основного матеріалу наведено з урахуванням двох взаємопов'язаних задач: – формування стійкого захисного режиму на основній фазі випуску; – реалізація газодинамічного відсікання на завершальній фазі з мінімізацією підтягування шлаку.

Принципово важливо, що у межах однієї конструкції (рис. 1) можливе керування трьома функціональними режимами продувки – «захист

струменя», «рафінування» та «газодинамічне відсікання» – шляхом (I) зміни кількості активних сопел пакт (секційне підключення), (II) перерозподілу сумарної витрати газу Q_{Σ} між активними соплами ($q = Q_{\Sigma}/n_{\text{акт}}$) та (III) вибору/комбінації кутів нахилу α_n . Інтенсивність поперечної дії газових струменів, що визначає запірний ефект, масштабується величиною $q \cdot \sin(\alpha_n)$, що дозволяє інженерно обґрунтувати перемикання режимів упродовж випуску.

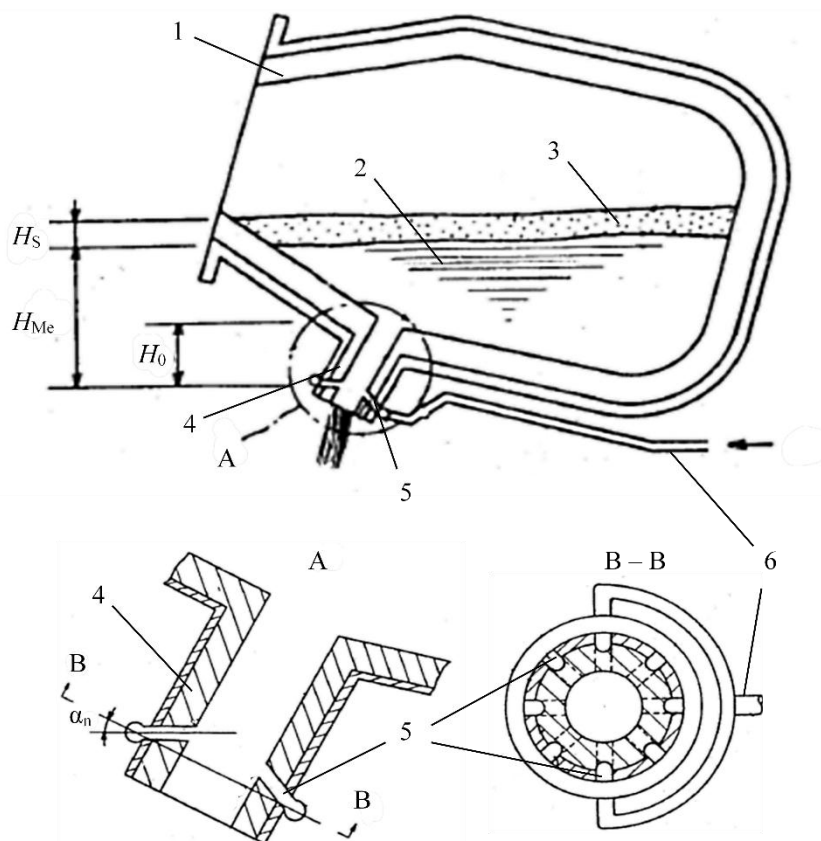


Рис. 1 – Схема реалізації газодинамічного відсікання з використанням багатосоплового блоку в сталевипускному каналі (за патентом [4, 5]):

1 – конвертер; 2 – шлак; 3 – металевий розплав; 4 – сталевипускний канал; 5 – газові сопла; 6 – лінія підведення газу

Для оцінки витрати відсічного газу, необхідної для формування газової «завіси» у зоні взаємодії металу та шлаку, запропоновано співвідношення (1), у якому конструктивний вплив враховано через n та α_n [4, 5]. Зазначений підхід важливий для первинного інженерного підбору, але потребує доповнення критеріями, що відображають структурну організацію газорідного потоку та умови захисту струменя.

$$Qg = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \sqrt{2g \cdot \left(\frac{\rho'}{\rho''}\right) \cdot \frac{d^2 \cdot n}{\sin(\alpha_n)}} \cdot \sqrt{H_0 + H_S} \quad (1)$$

З аналізу (1) випливає, що збільшення n підвищує розрахункову витрату газу пропорційно, але зменшує питомий потік на одне сопло $q = Q_g/n$.

Водночас, зменшення α_n різко збільшує потребу газу для заданої поперечної дії струменів. Таким чином, при оптимізації кількості сопел n та їх кута нахилу α_n доцільно розділяти цільові стани: «захист струменя» та «запірний ефект».

Для кількісного аналізу умов формування запірною ефекту використано узагальнену діаграму (рис. 2), яка відображає взаємозв'язок між витратою продувального газу, кутом нахилу сопла та рівнем рідини у випускному каналі. Діаграма дозволяє визначати область параметрів, за яких забезпечується стабільне газодинамічне «запирання» зони підтягування шлаку, а також оцінювати чутливість процесу до зміни рівня рідини впродовж випуску.

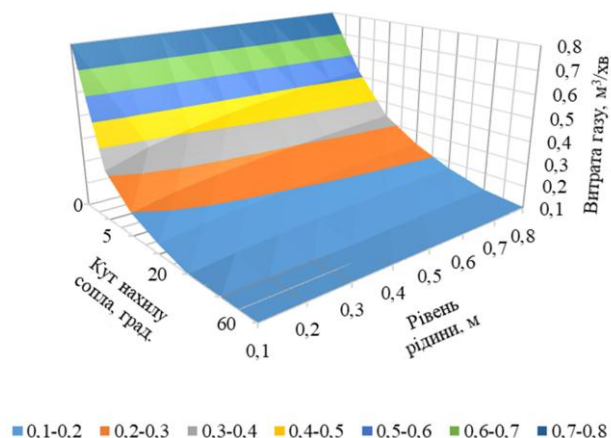


Рис. 2 – Вплив витрати газу та кута нахилу сопла на формування запірною ефекту рідини у випускному каналі

Інтенсивність поперечної дії газових струменів, що визначає запірний ефект, у першому інженерному наближенні масштабується величиною $J_{\perp} \sim q \cdot \sin(\alpha_n)$, де q — питома витрата газу на одне активне сопло, α_n — кут нахилу сопла. Отже, при зменшенні α_n для досягнення однакового запірною ефекту необхідне збільшення q ; навпаки, при збільшенні α_n потреба в q знижується, що є енергетично вигідним для фінальної фази випуску.

З аналізу рис. 2 випливає, що у зоні малих кутів нахилу ($\alpha_n \lesssim 10\text{--}15^\circ$) процес є високочутливим: потрібна витрата газу для запірною ефекту зростає різко, а вплив рівня рідини H посилюється. Це означає, що при малих α_n забезпечення запірною ефекту вимагатиме підвищених q , що може бути технологічно небажаним через диспергування потоку.

У діапазоні середніх і великих кутів (порядку $30\text{--}60^\circ$) спостерігається зниження необхідної витрати газу та зменшення її залежності від H . Саме ця область є пріоритетною для реалізації запірною ефекту на завершенні випуску, оскільки забезпечує поперечну дію струменів при нижчих витратах і стабілізує процес при зміні рівня металу/шлаку.

Практична керованість режимів «захист – рафінування – запірний ефект» забезпечується не лише вибором α_n , але й секційним підключенням сопел. При заданій сумарній витраті газу Q_{Σ} зменшення кількості активних

сопел $n_{\text{акт}}$ приводить до зростання $q = Q_{\Sigma}/n_{\text{акт}}$ і, відповідно, до підсилення поперечної дії $J_{\perp} \sim q \cdot \sin(\alpha_n)$. Це дозволяє підтримувати захисний режим на основній фазі випуску (більше $n_{\text{акт}}$, помірні q), а на фінальній фазі оперативно переходити до запірнього ефекту (менше $n_{\text{акт}}$ і/або активація групи сопел з більшим α_n) без надмірного збільшення Q_{Σ} .

Подальші дослідження необхідно спрямувати на взаємний вплив параметрів n , α_n та питомої витрати q на реалізацію запірнього ефекту, а також принципи керованого перемикавання режимів «захист – рафінування – газодинамічне відсікання» упродовж випуску.

З урахуванням експериментальних уявлень щодо формування газорідного потоку у випускному каналі, доцільно виділяти три типові режими, які можуть бути реалізовані зміною витрати газу та ефективного імпульсу струменів (через n і α_n):

Режим I (захисний): при помірних витратах та «м'якій» взаємодії газу з потоком формується стійка газова оболонка навколо струменя, що мінімізує реокиснення та вторинне азотування.

Режим II (змішувальний): зростання питомої витрати на сопло q та/або збільшення поперечної складової імпульсу призводить до інтенсивнішого перемішування і розвитку міжфазної поверхні; режим корисний для локальних рафінувальних ефектів, але може збільшувати диспергування шлаку.

Режим III (відсічний): при подальшому підсиленні поперечної дії (великі α_n або короткочасне збільшення Q_g) реалізується «пробійний»/дисперсно-кільцевий стан з газовою завісою у каналі, що доцільно використовувати саме як відсічний прийом на завершенні випуску для зниження шлаковиносу.

Практично це реалізується керованою подачею газу: основну частину випуску підтримують захисний режим, а перед завершенням – короткочасно переводять систему в відсічний режим (підвищення Q_g та/або задіювання сопел з більшим α_n).

Висновки

1. Кількість сопел n та кут нахилу α_n є визначальними конструктивними факторами, що впливають на витрату газу та ефективність газодинамічної відсічки; за (1) вплив реалізується через $n/\sin(\alpha_n)$.

2. Раціональний підбір (n , α_n) доцільно виконувати з урахуванням двох цільових функцій: захист струменя на основній фазі та запірний ефект шлаку на завершенні; рекомендованим є керований перехід між режимами I→III шляхом зміни Q_g та ефективною поперечною дією струменів.

3. Керування кількістю активних сопел $n_{\text{акт}}$ та кутом нахилу α_n доцільно розглядати як інструмент оперативного регулювання: на основній фазі випуску – підтримання режиму захисту струменя за рахунок більш рівномірної подачі (підвищене $n_{\text{акт}}$), а на завершальній фазі – формування запірнього ефекту шляхом зменшення $n_{\text{акт}}$ (підвищення q) та/або активації групи сопел з більшим α_n .

Посилання

1. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів та екологія: навчальний посібник. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро – ВАЛ», 2006. 454 с.
2. Гичов Ю.П., Перцевої В.О. Класифікація та порівняння способів відсікання шлаку при випуску сталі з конвертерів // Новини науки Придніпров'я. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – № 1-2. – С. 94–98.
3. Вовк А.О., Похвалітий А.А. Дослідження умов формування газорідного потоку при випуску плавки з конвертера // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. Дніпро: ДВНЗ "ПДТУ", 2024, вип. 49. Т1, С. 200-208.
4. Patent 58-031021 of Japan C21C 5/46, B22D 37/00. Slag outflow preventing method in case of charging / Shoji Shigeo, Kimura Kazuo, Iwatani Akiyuki // KAWASAKI STEEL CORP; Appl. №56-129544; Filed 19.08.1981; Date of Patent 23.02.1983.
5. Sumita Morihiro. Method for tapping molten metal. Patent 03-236414 Japan. Appl. № 02-031183, 09.02.1990.

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ ПЕРЕДІЛЬНОГО МАЛОФОСФОРИСТОГО ШЛАКУ

*Доц., канд. техн. наук І.Й. Водін,
здобувачі в.о. В.В. Жук, Р.В. Росоленко, В.С. Філіппов
Нікопольський факультет (НФ) УДУНТ*

*Кафедра теорії, технології та автоматизації металургійних процесів НФ УДУНТ
Український державний університет науки і технологій (УДУНТ)
м. Дніпро, Україна*

Вступ

Суть методу електрометалургійної дефосфорації марганцевих концентратів полягає в селективному відновленні фосфору, заліза вуглецем з переходом їх в попутний високофосфористий метал (лігатуру марганцеву).

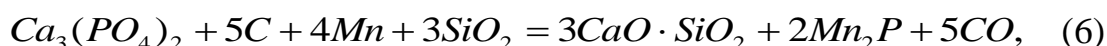
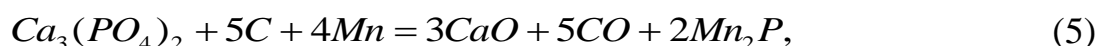
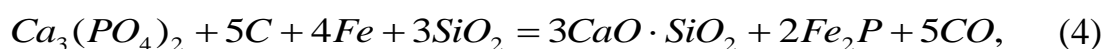
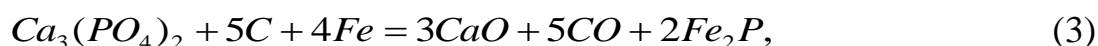
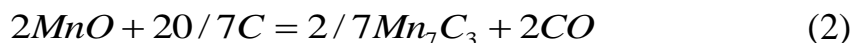
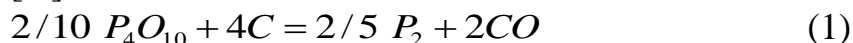
Викладення основного матеріалу

Особливість електрометалургійного методу і в той же час основний його недолік полягає в тому, що малофосфористий шлак, що виплавляється містить 28-33% кремнезему проти 18-20% у вихідному концентраті. Підвищений вміст SiO₂ в шлаку забезпечує необхідну рідкорухливість для створення умов розподілу по щільностям шлаку і частинок попутного металу [1].

Оскільки в малофосфористому шлаці, що отримується зі змішаних концентратів, вміст MnO і SiO₂ в сумі становить близько 90%, фізико-хімічні

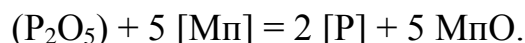
властивості його можна розглядати виходячи з бінарної діаграми стану $MnO-SiO_2$ і наявних даних з термодинаміки хімічних сполук і розплавів цієї системи [1].

Термодинамічний аналіз відновлення основних окислів (Fe , MnO , P_2O_5), а також трикальційфосфату $Ca_3(PO_4)_2$ при виплавці силікомарганцю (реакції 1; 2; 3; 4; 5; 6) в повній мірі можна застосувати для оцінки фізико-хімічних процесів виплавки МФШ [2].



Із зазначених рівнянь слідує, що як і при виплавці силікомарганцю в печі, що виплавляє малофосфористий шлак, при порівняно низьких температурах, відновлюється залізо і фосфор, а потім марганець.

Стосовно до виплавки МФШ важливий висновок про можливість відновлення фосфору марганцем при підвищенні концентрації марганцю в корольках відновленого металу до 60-70%, що істотно покращує розвиток реакції [2]:

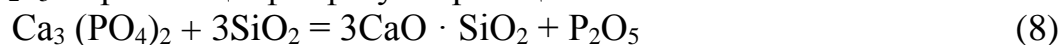


Відновлення трикальційфосфата $Ca_3(PO_4)_2$ стосовно виплавки МФШ особливе значення цей процес набуває в присутності SiO_2 [3].

Відновлення $Ca_3(PO_4)_2$ йде по реакції:



Ця реакція отримує розвиток при температурі понад 1273К. У присутності кремнезему відновлення фосфату полегшується в результаті витіснення P_2O_5 з трикальційфосфату по реакції:



з подальшим відновленням P_2O_5 - по реакції:



З вищенаведених реакцій можна зробити висновок, що при виплавці МФШ велике значення має співвідношення основних і кислих оксидів в використовуваних концентратах, тому що з підвищенням вмісту CaO знижується активність фосфору в рідкому шлаку і погіршуються умови його відновлення в метал. Тому при введенні в шлаковий розплав оксидів кальцію слід очікувати деякого погіршення якості МФШ за вмістом фосфору[4].

З огляду на різну хімічну спорідненість Fe , Mn , P і Si до кисню, формування металевої фази (попутного металу), як зазначалося вище,

спочатку відбувається за рахунок відновлення заліза і фосфору, а потім - марганцю. Хімізм цих реакцій може бути представлений в наступному вигляді:



Умови ΔG_T° досягаються для реакції (10) при 700 °С, (11) - 820 °С, (12) - 1320 °С. Тому первинний склад попутного металу характеризується підвищеною масовою часткою фосфору, яка потім знижується внаслідок розведення його марганцем, що відновлюється [3,4].

Отримання МФШ, як і багато інших електротермічних процесів, протікають при безпосередній участі двох конденсованих фаз, що не змішуються - шлаку і металу, між якими встановлюється динамічна рівновага енерго- і масообміну. Стосовно до процесу виплавки шлаку, це означає встановлення на кордоні контакту "коксік - оксидний розплав" рівноваги хімічних реакцій (10 - 12).

Разом з тим на поверхні розділу "оксидний розплав - попутний метал" протікають процеси, що призводять до можливого переходу фосфору з попутного металу в шлак. Причиною цього може бути як взаємодія фосфору з закисом заліза по реакції[5]:



так і перехід фосфору в МФШ відповідно до закону розподілів.

Для двох фаз, що не змішуються, справедливий закон розподілу Нернста - Шилова, згідно з яким, відношення концентрацій (активностей) будь-якого компонента, розчиненого в шлаку і в металі, при даній температурі є величина постійна.

При наявності в МФШ до 5-8% СаО можна вважати, що фосфор у вигляді PO_4^{3-} концентрується поблизу Ca^{2+} з утворенням комплексів типу $3\text{Ca} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$. З огляду на високу концентрацію SiO_2 , ймовірним є також утворення силікопатита $5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$. Ця обставина підтверджує положення, що залишковий фосфор в МФШ представлений і в оксидній формі [3,5].

У зв'язку з вищевикладеним представляється правомірним розглянути відновлення фосфату кальцію $\text{Ca}_3\text{P}_3\text{O}_8$ твердим вуглецем в присутності різних речовин. Таке дослідження проводилося в роботі [5,6], де вивчався вплив на перебіг цієї реакції температури, тиску, добавок оксиду заліза і марганцю, металевого заліза і чавуну. Знайдено, енергія що здається, активації цієї реакції $E_a = 200$ кДж / моль. Подібні дослідження проводилися і для відновлення вівіанта $\text{Fe}_3 (\text{PO}_4)_2$ твердим вуглецем [7].

Деяка кількість фосфору в МФШ міститься у вигляді частинок (корольків) попутного металу мікронних розмірів, причому повнота їх осадження залежить від сукупності характеристик: початкової температури розплаву (експонентний характер), в'язкості шлаку, коефіцієнта тепловіддачі, маси розплаву і т.д. [5]. Показано, що можна розглядати два граничних

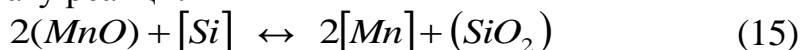
режими фазорозділення: перший - при сильному розігріві розплаву, коли фазорозділення завершується на стадії розгону крапель до максимального значення швидкості; другий - коли шлях розгону крапель до максимальної швидкості дуже малий, і вони проходять товщу розплаву на стадії уповільнення швидкості в квазістаціонарному режимі[5].

Однак управління режимом фазорозділення не є остаточною вимогою для дефосфорації шлаку, хоча і відіграє значну роль в зниженні концентрації фосфору в МФШ.

Поряд з процесами перенесення фосфору через фазний кордон "шлак-метал" відбувається також масообмін заліза, марганцю, кремнію та інших елементів, причому все залізо практично переходить в метал (вміст $(\text{FeO}) \leq 0,4\%$), марганець переходить частково, а кремній практично не відновлюється ($[\text{Si}] \leq 0,3\%$). В роботі [6] отримано вираз для визначення удаваної постійної рівноваги реакції між розплавом $\text{Mn} - \text{Si} - \text{C}_{\text{насич}}$ і шлаком $\text{MnO} - \text{SiO}_2$:

$$\lg K_a = -0,468 \frac{(\text{MnO})}{(\text{SiO}_2)} - \frac{1382}{T} + 1,566, \quad (14)$$

де K_a характеризує рівновагу реакції:



Подібні вирази можна отримати і для інших реакцій, які в якійсь мірі, можуть впливати на поведінку фосфору в процесі виплавки МФШ.

Висновки

Аналізуючи наведені дані, можна зробити висновок, що найбільший вплив на кінцевий вміст фосфору в шлаку буде надавати закон розподілу Нернста-Шилова. У зв'язку з цим, в подальшому, особливу увагу треба приділяти дослідженню процесу розподілу фосфору при виплавці малофосфористого шлаку.

Посилання

1. Фізико-хімія і технологія електроферосплавів: Підручник для вузів / Гасик М.І., Лякішев М.П.-Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2009р. - 454 с.
2. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. -М.: Металлургия. 1988. - 784 с.
3. Коваль А.В., П.Ф.Мироненко, И.И.Люборец, Е.В.Лапин. Исследование поведения фосфора при выплавке марганцевых сплавов.//Гос.мет. академия Украины.-Дн-ск.-1995.-16с.Рук.Деп.в ДНТБ Украины № 658 - ук. 95.
4. Ламтатидзе Г.А., Бараташвили И.Б. Активность фосфора в расплавах $\text{Mn} - \text{Si} - \text{P}$. //Сообщение АН ГрССР. 1987. т.126, № 1, - С.117-120.
5. Гасик М.И. и др. Выплавка малофосфористого марганцевого шлака с применением отходов обогащения сернистых углей. // В сб. Повышение эффективности производства и улучшения качества электроферросплавов. Тез. докл. III Республиканской научно-технической конференции. -

Днепропетровск. - 1978.

6. Совершенствование технологии производства малофосфористого шлака (А.В.Коваль, П.Ф.Мироненко, Г.Д.Ткач, Е.В.Лапин, В.А.Гладких // Сталь - 1995. № 6. -с.34-38.).
7. Гаврилов В.А., Гасик М.И. Силикотермия марганца. Днепропетровск. «Системные технологии», 2001,- 512 с.

ФУНКЦІОНАЛІЗАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Магістрант¹ Е.С. Гришин, доц., канд. пед. наук Т.М. Дюжикова

¹Кафедра хімії та хімічної освіти

*Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана
Хмельницького, м. Мелітополь, Україна*

Сучасна медична хімія перебуває на етапі активного пошуку нових біологічно активних сполук, здатних ефективно впливати на ключові біохімічні процеси в організмі людини. Органічні молекули є основою більшості лікарських засобів завдяки своїй структурній різноманітності, можливості цілеспрямованої модифікації та високій селективності дії. Розробка нових підходів до їх синтезу та функціоналізації дозволяє створювати сполуки з покращеними фармакологічними властивостями, підвищеною стабільністю та зниженою токсичністю.

В умовах швидкого розвитку біотехнологій, наномедицини та комп'ютерного моделювання молекулярних структур, особливої важливості набувають дослідження, спрямовані на поєднання класичних методів органічного синтезу з сучасними інструментами прогнозування біологічної активності. Це відкриває можливість раціонального проектування потенційних лікарських засобів ще на доклінічному етапі.

Таким чином, дослідження процесів синтезу та функціоналізації органічних молекул є актуальним і важливим напрямом сучасної хімічної науки, оскільки воно сприяє розвитку нових стратегій створення ефективних і безпечних препаратів для медицини.

Мета дослідження полягала в узагальненні та аналізі сучасних методів синтезу й функціоналізації органічних молекул, що мають потенційне або встановлене медичне застосування, а також у визначенні напрямів удосконалення цих процесів для підвищення ефективності та безпеки майбутніх лікарських засобів.

Функціоналізація органічних молекул — це процес цілеспрямованого введення або модифікації функціональних груп у

структуру сполуки для зміни її фізико-хімічних, біологічних або фармакологічних властивостей [12].

Цей підхід є ключовим у медичній хімії, оскільки дозволяє перетворювати інертні або мало реакційноздатні молекули на активні фармакофори, підвищувати біодоступність, селективність дії та стабільність лікарських речовин.

Основні завдання функціоналізації можна поділити на декілька напрямів:

1. Підвищення розчинності [15].
2. Модифікація ліпофільності [18].
3. Підвищення біостійкості [32].
4. Покращення селективності взаємодії з біомішенями [30].
5. Створення проліків (prodrugs) [28].

Функціоналізація є не лише інструментом синтезу, а й важливою частиною раціонального дизайну лікарських засобів.

Типи функціоналізації

Функціоналізацію поділяють за місцем та механізмом введення груп:

- Пряма (C–N функціоналізація) [9].
- Непряма (через попередню активацію) [16].
- Стереоселективна функціоналізація [4].
- Біокаталітична функціоналізація [2].

У сучасній фармацевтичній хімії особливу увагу приділяють каталітичним методам функціоналізації.

Метали перехідних груп (паладій, рутеній, мідь, залізо) активно застосовуються для C–N активації, алкілювання, амінації та гідроксилування ароматичних і аліфатичних систем [1].

Новітні підходи включають також:

- Фотохімічну функціоналізацію (з використанням світла для активації хімічних зв'язків);
- Електрохімічну функціоналізацію, де реакції відбуваються без окисників або відновників, що відповідає принципам “зеленої хімії” [36];
- Функціоналізацію за допомогою мікрохвильової або ультразвукової активації, які прискорюють реакції та підвищують їх селективність [11].

Відомою є біофункціоналізація — особливий напрям, у якому органічні молекули модифікують для зв'язування з біополімерами (білками, пептидами, нуклеїновими кислотами). Такий підхід використовується при створенні біокон'югатів, наночастинок з лігандною модифікацією, а також транспортерів лікарських засобів [10].

Функціоналізація біомолекул забезпечує можливість селективного таргетування (наприклад, у протипухлинній терапії), зменшує токсичність і підвищує ефективність доставки лікарських речовин до цільових клітин [34].

Методами функціоналізації визнано електрофільне та нуклеофільне заміщення, амінування, сульфування, фторування та інші.

Функціоналізація органічних сполук охоплює широкий спектр реакцій, спрямованих на введення нових атомів або груп у структуру молекули. Найбільш поширеними є реакції заміщення, що поділяються на електрофільні (SE) та нуклеофільні (SN), які лежать в основі синтезу та модифікації лікарських речовин [21].

Електрофільне заміщення (SE) характерне переважно для ароматичних сполук. У ході реакції електрофіль атакує електронно-насичене ядро, заміщаючи атом гідрогену або іншу групу.

Типовими прикладами є:

- Нітрування (введення групи $-\text{NO}_2$),
- Сульфонування (введення групи $-\text{SO}_3\text{H}$),
- Галогенування (введення Cl , Br , I),
- Ацилювання за Фріделем–Крафтсом (введення ацильних фрагментів).

Ці реакції мають велике значення у фармацевтичній хімії, оскільки дозволяють модифікувати ароматичні системи, створюючи потенційно біоактивні ядра — наприклад, похідні аніліну, фенолу, толуолу, які є основами для синтезу сульфаніламідів, анальгетиків і антипіретиків.

Особливе місце посідає сульфонування, яке підвищує водорозчинність сполук і зменшує їхню токсичність. Сульфогрупи часто використовують для створення лікарських засобів із покращеною фармакокінетикою (наприклад, *фуросемід*, *сульфацил-натрій*) [13].

Реакції нуклеофільного заміщення (SN) мають важливе значення для аліфатичних сполук. Вони дозволяють вводити атоми азоту, кисню, сірки, фтору тощо. шляхом реакції між електрофільним атомом вуглецю (зазвичай при атомі галогену) та нуклеофілом [5].

Типові приклади:

- Амінування (введення $-\text{NH}_2$ або заміщених аміногруп);
- Етерифікація та естерифікація (введення $-\text{OR}$ або $-\text{COOR}$);
- Фторування — заміна атома водню або галогену на фтор з метою підвищення метаболічної стабільності молекули.

Зокрема, фторування є одним із найважливіших методів функціоналізації в сучасній медичній хімії, оскільки атом фтору змінює ліпофільність, кислотно-основні властивості та біостійкість сполуки [23]. Прикладами є такі лікарські засоби, як флуоксетин, 5-фторурацил, фторбензати, де атом фтору відіграє ключову роль у фармакологічній активності [27].

Реакції амінування та амідоутворення — основа для створення β -лактамінів, амінокислот, нейромедіаторів та їх аналогів [19]. Первинні аміни часто отримують шляхом відновлення нітросполук або за допомогою реакцій Габріеля.

Амідні зв'язки формуються через конденсацію карбонових кислот або їхніх хлорангідридів з амінами, що має вирішальне значення у створенні пептидних, протизапальних і протимікробних засобів [25].

У сучасних підходах функціоналізації застосовують:

- Металокаталізатори (Pd, Cu, Ni) для реакцій типу Buchwald–Hartwig або Ullmann, що забезпечують ефективне амінування [3];
- Фотохімічні методи для селективного галогенування або сульфування без високих температур [24];
- Електрохімічні процеси, які дозволяють уникнути токсичних реагентів і окисників [6].

Такі підходи відповідають принципам зеленої хімії, забезпечуючи екологічну безпечність і масштабованість синтезу фармацевтичних субстанцій.

Біологічне значення функціоналізації

Введення функціональних груп (–OH, –NH₂, –COOH, –F, –SO₃H) безпосередньо впливає на взаємодію з рецепторами, ферментами та транспортними білками.

Реакції електрофільного та нуклеофільного заміщення — це не лише класичні методи синтезу, але й основні інструменти регулювання біологічної активності молекул.

Одним із ключових напрямів функціоналізації органічних молекул є цілеспрямована модифікація їхніх фізико-хімічних властивостей, зокрема розчинності, ліпофільності та стабільності. Ці параметри визначають біодоступність, фармакокінетику та фармакодинаміку лікарських речовин, тобто безпосередньо впливають на їхню ефективність і безпечність [22].

Розчинність — одна з найважливіших характеристик, що визначає здатність лікарської речовини до абсорбції в організмі. Близько 40% активних фармацевтичних інгредієнтів (API) мають низьку водну розчинність, що обмежує їхню біодоступність [20].

Ліпофільність визначає здатність молекули проникати крізь біологічні мембрани, що складаються переважно з ліпідів.

Висока ліпофільність полегшує транспорт крізь клітинні бар'єри, але може призводити до кумуляції в жирових тканинах і токсичності [8].

Тому при дизайні лікарських засобів важливо досягати оптимального балансу між гідрофільністю та ліпофільністю (параметр $\log P$ у межах 1–3) [14].

Стабільність лікарських речовин визначає їхню здатність зберігати активність під впливом температури, світла, рН та ферментативного середовища [35].

Нестабільність може призводити до втрати ефективності або утворення токсичних продуктів розкладу.

Функціоналізація сприяє підвищенню стабільності через: заміщення лабільних груп (наприклад, заміна гідроксильних на метоксильні); створення амідних або естерних зв'язків, що підвищують термічну стійкість; введення фтору або хлору для блокування метаболічного окиснення (метод

“метаболічного захисту”) [26]; використання захисних груп у чутливих ділянках молекули (наприклад, у пептидному синтезі) [7].

У результаті модифікацій можна збільшити час напіввиведення препарату, зменшити частоту прийому та побічні ефекти. Прикладом є фторовані кортикостероїди, що мають підвищену стійкість до ферментативного гідролізу [29].

Зміна розчинності, ліпофільності та стабільності завжди відбувається у взаємозв'язаній системі. Надмірна полярність зменшує проникність, а надмірна ліпофільність — розчинність і селективність зв'язування. Тому завдання функціоналізації полягає не лише у зміні однієї властивості, а у комплексній оптимізації фізико-хімічних параметрів молекули [17].

Для цього широко застосовуються QSAR-моделі (Quantitative Structure–Activity Relationship), які дозволяють математично прогнозувати вплив функціональних груп на фармакологічну активність [33].

Висновки:

1. Функціоналізація є універсальним інструментом у медичній хімії, що поєднує структурну модифікацію з біологічною оптимізацією.

2. Функціоналізація дозволяє створювати нові лікарські засоби з покращеною стабільністю, розчинністю, селективністю та фармакологічною активністю, що відповідає сучасним тенденціям у дизайні біоактивних молекул.

3. Функціоналізація як метод є центральним етапом сучасного раціонального дизайну лікарських засобів. Завдяки цьому підходу вдається досягти оптимального поєднання ефективності, селективності та безпечності, мінімізуючи побічні ефекти й покращуючи біодоступність.

Посилання

1. Ackermann L. C–H Activation and Functionalization: Theory and Applications. — Cambridge: RSC Publishing, 2014. — 480 p.
2. Bornscheuer U. T. "Enzyme-Catalyzed Functionalization of Organic Molecules" // *Angewandte Chemie International Edition*. — 2018. — Vol. 57 (22). — P. 6970–6982.
3. Buchwald S. L., Hartwig J. F. (eds.) *Palladium in Amination and Cross-Coupling Reactions*. — Amsterdam: Elsevier, 2011. — 620 p.
4. Chen M. S., White M. C. "A Predictably Selective Aliphatic C–H Oxidation Reaction" // *Science*. — 2007. — Vol. 318 (5851). — P. 783–787.
5. Clayden J., Greeves N., Warren S. *Organic Chemistry*. — 2nd ed. — Oxford: Oxford University Press, 2012. — 1250 p.
6. Frontana-Uribe B. A., Little R. D., Ibanez J. G. "Organic Electrosynthesis: A Promising Green Methodology" // *Green Chemistry*. — 2010. — Vol. 12 (12). — P. 2099–2119.
7. Green T. W., Wuts P. G. M. *Protective Groups in Organic Synthesis*. — 5th ed. — Hoboken: Wiley, 2019. — 1200 p.
8. Hansch C., Leo A., Hoekman D. *Exploring QSAR: Hydrophobic, Electronic, and Steric Constants*. — Washington: ACS, 1995. — 557 p.
9. Hartwig J. F. *Organotransition Metal Chemistry: From Bonding to Catalysis*. — 2nd ed. — Sausalito: University Science Books, 2010. — 1128 p.
10. Hermanson G. T. *Bioconjugate Techniques*. — 3rd ed. — San Diego: Academic Press, 2013. — 1146 p.

11. Horikoshi S., Serpone N. *Microwaves in Catalysis: Methodology and Applications*. — Weinheim: Wiley-VCH, 2015. — 472 p.
12. Jensen K. H., Sigman M. S. "Mechanistic Approaches to C–H Functionalization" // *Organic & Biomolecular Chemistry*. — 2008. — Vol. 6 (21). — P. 4083–4088.
13. Katritzky A. R., Pozharskii A. F. *Handbook of Heterocyclic and Functional Group Chemistry*. — 2nd ed. — Amsterdam: Elsevier, 2012. — 876 p.
14. Kell D. B. "Systems Biology, Metabolomics and Pharmacokinetics" // *Drug Discovery Today*. — 2016. — Vol. 21 (2). — P. 315–332.
15. Kerns E. H., Di L. *Drug-like Properties: Concepts, Structure Design and Methods*. — Amsterdam: Elsevier, 2016. — 552 p.
16. Labinger J. A., Bercaw J. E. "Understanding and Exploiting C–H Bond Activation" // *Nature*. — 2002. — Vol. 417. — P. 507–514.
17. Leeson P. D., Springthorpe B. "The Influence of Drug-like Concepts on Decision-Making in Medicinal Chemistry" // *Nature Reviews Drug Discovery*. — 2007. — Vol. 6 (11). — P. 881–890.
18. Leo A., Hansch C. "Hydrophobic Parameter π and Its Importance in Medicinal Chemistry" // *Chemical Reviews*. — 1971. — Vol. 71 (6). — P. 525–616.
19. Li J. J. *Name Reactions: A Collection of Detailed Mechanisms and Synthetic Applications*. — 5th ed. — Cham: Springer, 2014. — 1100 p.
20. Lipinski C. A. "Lead- and Drug-like Compounds: The Rule-of-Five Revolution" // *Drug Discovery Today: Technologies*. — 2004. — Vol. 1 (4). — P. 337–341.
21. March J. *Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure*. — 6th ed. — New York: Wiley, 2015. — 1600 p.
22. Martin A. N., Bustamante P., Chun A. H. C. *Physical Pharmacy: Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences*. — 5th ed. — Philadelphia: Lea & Febiger, 2019. — 800 p.
23. Müller K., Faeh C., Diederich F. "Fluorine in Pharmaceuticals: Looking Beyond Intuition" // *Science*. — 2007. — Vol. 317 (5846). — P. 1881–1886.
24. Nicewicz D. A., MacMillan D. W. C. "Merging Photoredox Catalysis with Organocatalysis" // *Science*. — 2008. — Vol. 322 (5898). — P. 77–80.
25. Nicolaou K. C., Sorensen E. J. *Classics in Total Synthesis*. — New York: Wiley-VCH, 1996. — 795 p.
26. Park B. K., Kitteringham N. R., O'Neill P. M. "Metabolism of Fluorinated Drugs" // *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. — 2001. — Vol. 41. — P. 443–470.
27. Purser S., Moore P. R., Swallow S., Gouverneur V. "Fluorine in Medicinal Chemistry" // *Chemical Society Reviews*. — 2008. — Vol. 37 (2). — P. 320–330.
28. Rautio J., Kumpulainen H., Heimbach T. "Prodrugs: Design and Clinical Applications" // *Nature Reviews Drug Discovery*. — 2008. — Vol. 7 (3). — P. 255–270.
29. Reisch J., Simons S. S. "Fluorinated Corticosteroids: Chemistry and Pharmacology" // *Journal of Steroid Biochemistry*. — 2015. — Vol. 153. — P. 101–120.
30. Silverman R. B., Holladay M. W. *The Organic Chemistry of Drug Design and Drug Action*. — 3rd ed. — San Diego: Academic Press, 2014. — 490 p.
31. Smith M. B., March J. *March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure*. — 7th ed. — New York: Wiley, 2013. — 2312 p.
32. Testa B., Krämer S. D. *The Biochemistry of Drug Metabolism*. — Vol. 1. — Zurich: Wiley-VHCA, 2008. — 720 p.
33. Todeschini R., Consonni V. *Molecular Descriptors for Chemoinformatics*. — 2nd ed. — Weinheim: Wiley-VCH, 2009. — 1244 p.
34. Torchilin V. P. *Nanoparticulates as Drug Carriers*. — London: Imperial College Press, 2016. — 830 p.
35. Waterman K. C., Adami R. C. "Accelerated Stability Testing of Pharmaceuticals" // *Pharmaceutical Development and Technology*. — 2005. — Vol. 10 (3). — P. 385–393.
36. Yoshida J., Shimizu A., Hayashi R. "Electrochemical C–H Functionalization and C–C Bond Formation" // *Chemical Reviews*. — 2018. — Vol. 118 (9). — P. 4702–4730.

ІНВЕСТИЦІЙНА СТРАТЕГІЯ ЯК ОДНА З БАЗОВИХ СТРАТЕГІЙ НА ПІДПРИЄМСТВІ

*Ст. викладач В.І. Гуцалова, к.т.н., доцент Г.І. Толстіков
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна*

Необхідність забезпечення стійкого стану підприємства на ринку, його економічного розвитку вимагає відповідної інвестиційної підтримки. Інвестиційна діяльність підприємства у всіх її формах не може зводитися до задоволення його поточних інвестиційних потреб, які обумовлені необхідністю заміни зношених активів або їхнього приросту у зв'язку зі змінами обсягу і структури господарської діяльності. Це обумовлює необхідність чіткої системи управління інвестиційною діяльністю на основі наукового передбачення її напрямків і форм, забезпечення здатності адаптуватись до загальних цілей розвитку підприємства та умов зовнішнього мінливого середовища його функціонування. Ефективним інструментом перспективного управління інвестиційною діяльністю підприємства в умовах реалізації цілей економічного розвитку підприємства, впливу державного регулювання ринкових процесів, кон'юнктури інвестиційного ринку і, пов'язаної з цим невизначеності, є інвестиційна стратегія. Інвестиційна стратегія – це система довгострокових цілей інвестиційної діяльності підприємства, що обумовлені загальними завданнями його розвитку, а також вибір найбільш ефективних шляхів їх досягнення [6].

Інвестиційну стратегію можна представити як генеральний план дій у сфері інвестиційної діяльності підприємства, який визначає пріоритети її напрямків і форм, характер формування інвестиційних ресурсів і послідовність етапів реалізації довгострокових інвестиційних цілей, що забезпечують передбачений загальний розвиток підприємства [7]. Поєднання в інвестиційній стратегії системи цілей і шляхів їх досягнення визначає межі можливої інвестиційної активності підприємства і прийнятих інвестиційних рішень в перспективному періоді. Інвестиційну стратегію підприємства можна охарактеризувати також як систему формалізованих критеріїв, за якими воно оцінює і реалізує свої інвестиційні можливості, моделює перспективну інвестиційну позицію і забезпечує її досягнення. Отже, інвестиційна стратегія являє собою системну концепцію, що пов'язує і спрямовує розвиток інвестиційної діяльності підприємства.

Вагомий внесок у висвітлення теоретичних та практичних аспектів, а також дослідження проблем інвестиційної стратегії підприємств детально розглянуто у наукових працях, серед яких: І. А. Бланк, О. В. Носова, О. І. Пилипенко, Д. С. Аранчій, О. М. Остапенко, Т. В. Лівощко, О. М. Тридід, М. М. Мархайчук, О. І. Крилова, С. Ю. Пономаренко, О. В. Савлук Але значна частина питань потребує удосконалення і ґрунтовного дослідження. Плануючи інвестиції, підприємство повинно враховувати найважливіші фактори, що можуть вплинути на очікуваний результат прийнятого інвестиційного

рішення. Ці фактори розподіляють на загальноекономічні, галузеві та такі, що виникають безпосередньо на рівні підприємства [5].

До загальноекономічних факторів належать фінансово-кредитна політика уряду, рівень інфляції в країні, державне стимулювання інвестиційної діяльності підприємств, рівень активності іноземних інвестицій, економічні зв'язки з іншими державами, чинне податкове законодавство.

Галузеві фактори характеризуються такими показниками, як рівень науково-технічного розвитку галузі, енерго-, науко- та капіталомісткість виробництва, забезпеченість трудовим потенціалом, сировинними та енергоресурсами, зв'язки з іншими галузями народного господарства, тип галузі (розвивається швидко або повільно), територіальне розташування підприємств галузі.

До факторів, що діють на рівні конкретного підприємства, належать його виробничий потенціал та забезпеченість виробничими ресурсами, фінансовий стан, зв'язки зі споживачами продукції, відносини з конкурентами.

За дією зазначеного комплексу факторів, в якій перебуває підприємство, його керівництво може обрати за основу для розробки інвестиційної стратегії організації одну з таких базових стратегій [3]:

- виживання (це захисна стратегія, яку використовують у разі кризи економічної діяльності підприємства);
- стабілізація (ця стратегія спрямована на усунення нестабільності (коливання) обсягів продажу виробленої продукції);
- зростання (це найефективніша стратегія, що спрямована на досягнення стабільного збільшення обсягів продажу та прибутку).

Безпосередньо сам процес планування капітальних вкладень на підприємстві складається з двох послідовних етапів. На першому етапі передбачається обчислення необхідного обсягу реальних інвестицій на певний розрахунковий період (рік або кілька років), на другому – визначення конкретних джерел фінансування.

До власних джерел фінансування оновлення виробництва належать внески засновників підприємства, акумульовані амортизаційні відрахування, кошти створених на підприємстві фінансових резервів і фондів, кошти, отримані від реалізації непотрібного майна, доходи, отримані від продажу цінних паперів, придбаних на фінансовому ринку, доходи, отримані від здачі майна в оренду.

До залучених джерел фінансування капіталовкладень підприємства належать кошти, отримані від розміщення на фінансовому ринку власних цінних паперів (акції, облігації), довготермінові кредити банків, інвестиції іноземних партнерів у створення спільних підприємств. Користування зовнішніми джерелами довготермінового фінансування потребує від підприємства певних витрат. Так, випуск і продаж цінних паперів підприємства потребує витрат на їх випуск і оплату послуг фінансових посередників за їх розміщення на фінансовому ринку, у подальшому –

виплату дивідендів акціонерам і процентів власникам облігацій. Залучення банківських позик пов'язане з необхідністю повернення основних сум боргу з виплатою процентів за користування кредитом.

Для державних підприємств джерелами фінансування капіталовкладень можуть бути також кошти державного і місцевого бюджетів, державних позабюджетних фондів. Формування структури джерел фінансування капіталовкладень залежить від дії багатьох факторів, а саме: діючої системи оподаткування підприємств; темпів зростання обсягів реалізації продукції підприємства, їх стабільності; структури активів підприємства; кредитної політики національного банку країни. Вибір оптимальної структури джерел фінансування капіталовкладень має дуже важливе значення, оскільки дає змогу підприємству мінімізувати витрати на залучення капіталу, знизити ризик втрати платоспроможності та запобігти банкрутству.

Одним із таких підприємств є ТОВ «Інтерпайп Ніко Тьюб» спеціалізується на виробництві безшовних труб за вітчизняними і зарубіжними стандартами для нафтопереробної, нафтохімічної, авіаційної та суднобудівної промисловості, машинобудування та приладобудування, нафтогазової та енергетичної галузі та труб загального призначення, що застосовуються в інших галузях промисловості. В даний час продукція, яка випускається, це труби нафтового сортаменту для машинобудування та приладобудування, труби лінійні та загального призначення діаметром до 114,3 мм. На сьогодні освоєно виробництво високоміцних труб класів P110 і Q125 за стандартом API 5CT, і X70Q за стандартом API 5L. На підприємстві освоєно і постійно удосконалюється технологія виробництва корозійностійких труб. Ця продукція поставляється на внутрішній і зовнішній ринки.

Високі вимоги до якості продукції (якість поверхні, точність геометричних розмірів, стабільність механічних характеристик) накладають свої особливості на технологію виробництва. У зв'язку з цим Компанією Інтерпайп була прийнята стратегія зростання – довгострокова програма з технічного переозброєння та модернізації виробництва, яка призведе до наступних змін.

Першочерговим буде стабільне збільшення обсягів продажу та прибутку на підприємстві. З цією метою на виробничих площах трубопрокатного цеху було впроваджено ряд інвестиційних проектів: створено спеціалізовану ділянку з обробки котельних труб довжиною до 24-х метрів, оснащену сучасним обладнанням з обробки та неруйнівного контролю труб; виконано модернізацію термічних печей цеху, яка дозволила здійснювати термічну обробку котельних труб з вуглецевих і легованих марок сталі.

Крім того, на трубопрокатний агрегат ТПА 30-102 було встановлено автоматизовану систему управління технологічним процесом прокатки CARTA, яка дозволила здійснювати, на підставі безперервного моніторингу параметрів прокатки, оперативне управління процесом. Замість застарілих ліній з різання були побудовані дві високопродуктивні сучасні потокові лінії з обробки готових труб.

Значні інвестиційні кошти були вкладені в оснащення цеху сучасними засобами неруйнівного контролю продукції, що дало можливість гарантувати споживачеві відповідність геометричних розмірів і якості продукції, яка виготовляється згідно вимог міжнародних стандартів і запитів споживачів. Були придбані, змонтовані і введені в експлуатацію комплексна система контролю труб MAC, ультразвукова установка ROTA 180S, установка неруйнівного контролю FOERSTER, установки магнітопорошкового і ультразвукового контролю кінців труб.

З огляду на зростаючі вимоги споживачів до товарного вигляду продукції, її захисту від корозії і пошкоджень в процесі транспортування, зберігання і експлуатації, в цехах здійснено комплекс заходів зі створення технології захисту готової продукції. З цією метою придбано імпортне обладнання для нанесення антикорозійного захисного покриття на основі водорозчинних лаків, створений ряд поточних ліній для обробки нарізних і гладких труб, на яких здійснюються операції вимірювання довжини і поштучного зважування труб, нанесення маркування, кольорового кодування, таврування і фарбування готової продукції. Продукція, яка вироблена в цеху, упаковується в пакети, а насосно-компресорні труби з муфтами ув'язуються в спеціальні пакети з використанням ложементів.

Переоснащення цехів сучасним обладнанням триває, незважаючи на непрості фінансово-економічні обставини, які склалися в країні і в світі. На даний момент йде впровадження чергового інвестиційного проекту – верстат для розточування калібрів в клітях редуційно каліброваних станів, тривають роботи з реконструкції та модернізації відділу обробки готових труб. Все це дозволить забезпечити виконання планових обсягів виробництва і виробництва труб згідно зі стандартами, затребуваними на сучасному ринку трубної продукції, а також буде сприяти підвищенню якісних характеристик прокатного інструменту.

Підприємством взято курс на підвищення якості, поліпшення товарного вигляду, розширення номенклатури труб. Воно стало більш гнучким і мобільним в структурі виробництва і управління, що дозволило йому успішно адаптуватися до постійно мінливих умов сучасного ринку трубної продукції та розвивати виробництво в умовах жорсткої світової конкуренції.

Висновки

1. Розробка інвестиційної стратегії передбачає постановку цілей інвестиційної діяльності, визначення її пріоритетних напрямків і форм, оптимізацію структури сформованих інвестиційних ресурсів, їхнього розподілу, вироблення інвестиційної політики щодо найбільш важливих аспектів інвестиційної діяльності.

2. З прийняттям стратегії зростання, на підприємстві почалася модернізація і оснащення виробничих цехів новим сучасним обладнанням, що дозволило переорієнтуватися на випуск труб за зарубіжними стандартами, істотно підвищити конкурентоспроможність виробленої продукції.

3. Досвід, підкріплений реконструкцією та організацією нових виробництв, а також удосконаленням існуючих, дозволяють підприємству з упевненістю дивитися в майбутнє.

Посилання

1. Галько Л.Р. Інвестиційна діяльність підприємства: стратегія і тактика управління // Економіка та суспільство. 2021. № 31 : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <file:///C:/download/727-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-699-1-10-20211109.pdf>
2. Гуторов О.І. Інвестиційна стратегія підприємства: принципи, методи та етапи розробки // Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Серія «Економічні науки». № 2., Т. 2.2021 : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/a7bd51ac-e165-40ac-b7c4-e7649af9620a/content>
3. Краснокутська Н.С., Кабанець І.А. Стратегічне управління : навчальний посібник для студентів економічних спеціальностей / Н.С. Краснокутська, І.А. Кабанець – Харків : НТУ «ХП», 2017. – 460 с.
4. Менеджмент. Навчальний посібник / А.М. Балашов, Г.Є. Мошек, А.С. Соломко, Ю.О. Соломко, М.В. Ковальчук, Ю.В. Поканевич, С.П. Сердюк; заг. редакція проф. Балашова А.М. та проф. Мошека Г.Є. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2022. – 646 с.
5. Назарчук Т.В., Косіюк О.М. Менеджмент організацій [Текст]: навчальний посібник. / Т. В. Назарчук, О. М. Косіюк – К.: «Центр учбової літератури», 2016. – 560 с.
6. Сидоров О.А., Фісуненк Н.О., Альошина Т.В., Фоменко А.Є. Стратегічний менеджмент: підручник. – Дніпро: Арт-Прес, 2024. – 352 с.
7. Сігаєва Т.Є. Вдосконалення напрямків формування інвестиційної стратегії інноваційного підприємства // Вісник Харківського національного економічного університету ім. С.Кузнеця : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/11095/1/%d0%a1%d0%b8%d0%b3%d0%b0%d0%b5%d0%b2%d0%b0%202.pdf>
8. Стахурська С.А. Формування інвестиційної стратегії в контексті змін в організації // Економіка та суспільство. 2022. №41 : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <file:///c:/download/1558-%d0%a2%d0%b5%d0%ba%d1%81%d1%82%20%d1%81%d1%82%d0%b0%d1%82%d1%82%d1%96-1496-1-10-20220902.pdf>

ДЕЯКІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЯВІВ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ У ШАХТНИХ УМОВАХ

Доц., канд. техн. наук Д.В. Клименко

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
м. Дніпро, Україна*

Стаття присвячена аналізу причин можливих проявів газодинамічних явищ під час відпрацювання вугільних пластів у шахтних умовах. Вказані умови коливальної дії на масив, при виконанні яких може відбуватися стрибкоподібний розвиток тріщин у гірських породах. Даний ефект можна спостерігати при виконанні критерію викидонебезпечності, що враховує відношення амплітуд високо- і низькочастотних складових акустичного сигналу, а також при прийнятті рішення "небезпечно" у схемі використання двох критеріїв викидонебезпечності вуглепородного масиву. Показано, що за встановлених умов проявів газодинамічних явищ не беруть участь власні коливання пластів-резонаторів.

Актуальність питання дослідження. Газодинамічні явища є комплексом складних природних явищ, які виникають у шахтах, як правило, внаслідок порушення гірничими роботами рівноважного стану локальних зон газонасиченого напружено-деформованого масиву.

Раптовий викид вугілля, породи та газу як газодинамічне явище також є сукупністю процесів, що розвиваються в часі та просторі. У момент викиду коливання, що пов'язані з руйнуванням, поширюються у масиві і у виробки. Формування і переміщення масивом зони руйнування ідентифікують як швидкопротікаючі в часі, лавиноподібні процеси, що самопідтримуються, і які відбуваються при спільній взаємодії гірського і газового тисків. Вивчення динаміки викидів (в точності, вивчення хвилі руйнування, що поширюється в масиві) дозволяє розширити загальні уявлення про природу газодинамічних явищ, а також дає можливість керувати динамічними станами масиву в період викиду на всіх стадіях його протікання.

Запобігання раптовим газодинамічних явищ як етап управління масивом є завданням поточних методів прогнозу. Найбільш оперативним є сейсмоакустичний метод прогнозу. Однак його надійність, незважаючи на широке використання, явно недостатня. Причому проблема полягає, як у пропуску газодинамічних явищ і подій (помилки другого роду), так і в хибному прогнозі газодинамічних явищ (помилки першого роду), що найчастіше веде до ігнорування прийнятих рішень «небезпечно» за деякими критеріями.

Сучасні засоби моніторингу гірського масиву дозволяють фіксувати зміни в ньому акустичних полів, які виникають перед раптовими викидами вугілля, породи та газу. Вихідним положенням є фундаментальна теза геофізики, що полягає в тому, що реакція (відгук) гірської породи на штучно

згенерований сигнал залежить від частоти сигналу, а також фізичних та механічних властивостей породних шарів.

Акустичний сигнал, зокрема, змінює свою форму відповідно до властивостей порід, а також до якості контактних поверхонь між породними шарами та їх геометричними розмірами. Виявляючи такі особливості, слід фіксувати числові характеристики досліджуваного сигналу. Зважаючи на це при оцінці амплітудно-частотних характеристик сигналу, зареєстрованого при роботі породоруйнівних механізмів, слід визначати можливі причини збільшення амплітуди коливань на певних частотах.

Постановка задачі та цілі досліджень. Гірська справа у розумінні людей, які довго працювали в шахтних умовах, є одночасно працею та мистецтвом (технологічною творчістю). Велике значення мають досвід роботи та знання, що базуються на інтуїції, особливостях ведення гірничих робіт у конкретних гірничо-геологічних умовах. З вищевикладеного випливає, що досвідчений гірничий інженер сприймає гірничий об'єкт як систему гірничо-технологічних процесів. Але будь-який вплив на гірський масив з боку людини у вигляді потоків енергії та речовини дає відгук цієї системи, виявляючись відповідними потоками енергії, речовини та інформації, які реалізує масив. Тому при технологічному впливі у шахтних умовах слід аналізувати закономірності проявів масиву. Роботи [1-3] присвячені визначенню деяким встановленим закономірностям процесів, що передують газодинамічним явищам у різних гірничо-геологічних умовах. Зокрема встановлено, що існують такі критичні режими коливального навантаження в породному масиві, які ініціюють старт тріщин різної довжини, причому зі зростанням амплітуди коливань із частотою 700-1400 Hz критичні довжини тріщин зменшуються у 2-3 рази [2,3]. Останній ефект різкого (стрибкоподібного) одночасного зменшення довжин тріщин, що стартують, є небезпечним чинником спонтанного руйнування масиву.

Виникає питання причинності збільшення амплітуд коливань у діапазоні частот 700-1400 Hz при певному коливальному навантаженні. Тому метою цієї статті є подання можливих факторів, що впливають на зміну амплітуди коливань у зазначеному діапазоні частот.

Подання матеріалу.

Джерелом акустичного сигналу в породному масиві є вплив гірничого обладнання на забій деякої виробки. Моніторинг акустичного сигналу виконується безперервно протягом усього циклу виїмки вугілля.

По-перше, важливо встановити, чи можуть коливання зі встановленими частотами 700-1400 Hz виникати в породному масиві при роботі машин і агрегатів, що зазвичай використовуються в шахтних умовах. Було проведено спектральні оцінки сигналів «буріння по породі», «робота комбайна», «робота відбійного молотка», «робота стругової установки», отриманих при сейсмоакустичних дослідженнях у 2012 році на шахтах «Дніпровська» (Рис. 1а)-в)) і «Степна» (Рис. 1г)).

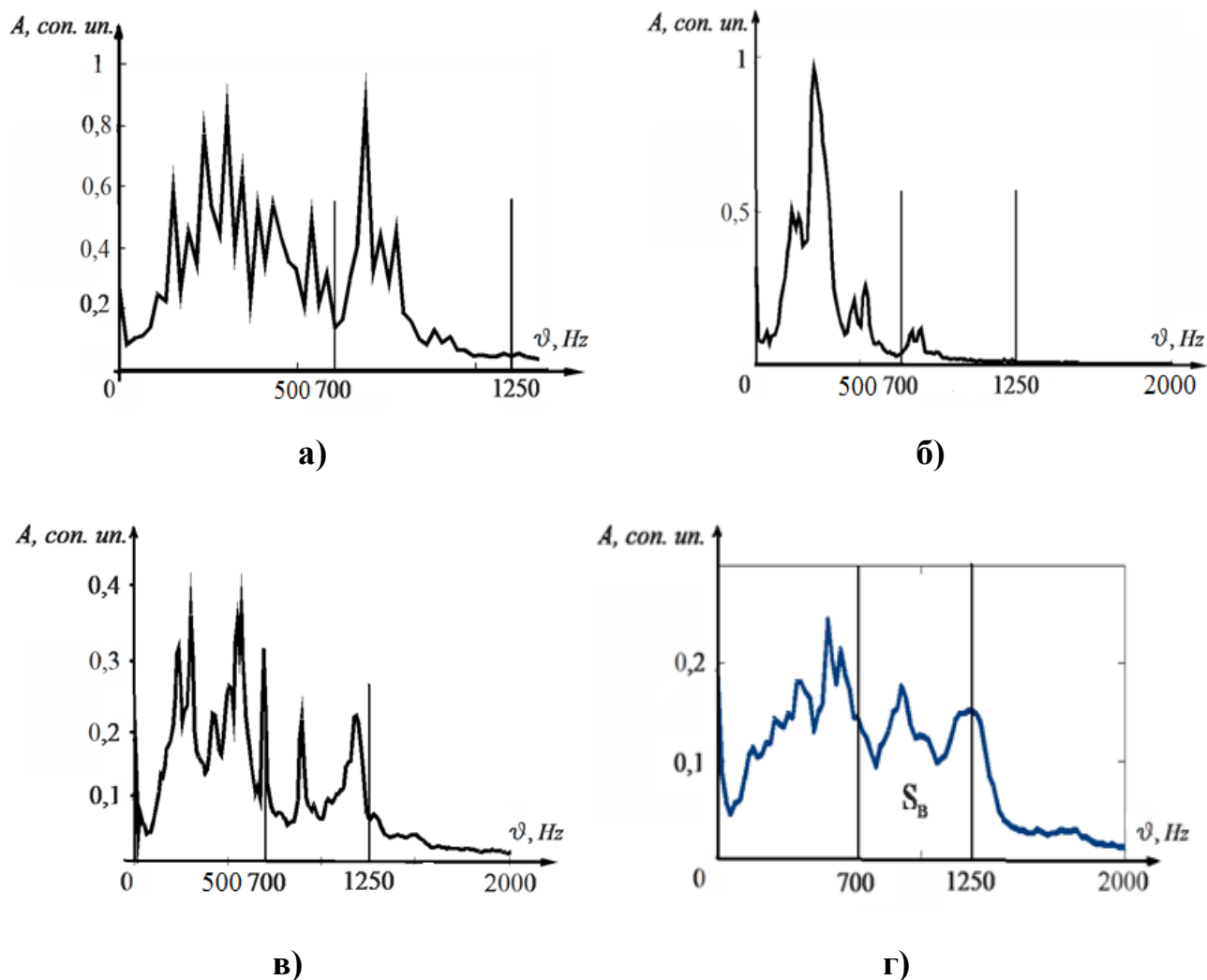


Рисунок 1 – Спектри сигналу:

а) буріння по породі, $t = 4,36$ с; б) робота комбайна, $t = 7,38$ с; в) робота відбійного молотка, $t = 4,74$ с; г) робота стругової установки, $t = 6$ с. t – тривалість сигналу, S_B – площа області, що обмежена спектром сигналу та прямими $\vartheta = 700$ Hz, $\vartheta = 1250$ Hz

Геофон встановлювався у шпурі у вентиляційному штреку (при роботі стругової установки у збірному штреку) на відстані 20-30 м від забою. Породоруйнівні механізми за такий короткий проміжок часу ($\leq 7,38$ с), що аналізувався (Рис. 1), переміщалися вздовж забою (ширина виїмкового стовпа біля 300 м) і відповідно до геофону на незначні відстані. Відстань між джерелом та приймачем коливань не перевищували 50 м.

У всіх випадках в інтервалі частот $700-1400$ Hz спостерігаються коливання, що відмічено на рисунку 1. Таким чином, працюючі породоруйнівні механізми здатні створювати в масиві коливання із частотою $700-1250$ Hz. Слід зазначити, що отримані під час реєстрації коливання в масиві викликані суттєво різними породоруйнівними механізмами, причому у різних гірничо-геологічних умовах (шахта «Дніпровська», шахта «Степна»).

По-друге, слід зрозуміти, чи пов'язане зростання амплітуди коливань у досліджуваному діапазоні частот з ефектом резонансу коливальних процесів, що відбуваються у вуглепородному масиві. Ознакою прояви, наприклад, у вугільному пласті резонансних властивостей є зміни форми зондувального сигналу під час проходження через цей пласт [Глікман А.Г. Фізика і практика спектральної сейсморозвідки, 2002].

Експериментально Глікман А.Г. встановив закономірність формування акустичного сигналу в шаруватому масиві гірських порід (вуглепородному), що містить ослаблені міжшарові контакти. Акустичний сигнал за Глікманом, що виникає в масиві при його збудженні, є сукупність власних (резонансних) коливань, що виникають у кожному шарі порід, розділеному ослабленими міжшаровими зчепленнями. При цьому частота коливань $f_{кр}$ обернено

пропорційна потужності h шару при ефекті монохроматора $f_{кр} = \frac{V}{2 \cdot h}$ (V – швидкість поширення поздовжніх коливань), а амплітуда залежить від рівня ослаблення контакту. Ця залежність дозволяє за величиною амплітуди резонансних коливань судити про ступінь ослаблення зчеплення між шарами, отже, про характер розвитку деформацій контактних поверхонь та характер розшарування масиву порід при виїмці вугільного пласта.

«Ударний вплив перетворюється на породних шарах, що у зоні удару, у сукупність гармонійних загасаючих сигналів, частоти яких відповідають потужностям цих шарів. Гармонійні коливання, що виникли при цьому, поширюються від точки удару концентричними колами в межах відповідних породних шарів-резонаторів.» [Глікман А.Г., 2002].

При прояві резонансних властивостей у пласті виникає власний коливальний процес. На амплітудно-частотному спектрі зареєстрованого сигналу зазначений процес, можливий у шарі-резонаторі, виявиться збільшенням амплітуди коливань за певного значення частоти.

Згідно з іншою думкою [Ямщиков, 1984], широко відомо, що яскраво вираженою хвилеводною зоною є вугільний пласт, розташований між вміщувальними породами. Внаслідок зовнішнього збудження (вплив гірничого обладнання на забій вироблення) всередині хвилеводу (Рис. 2) буде поширюватися нескінченна кількість нормальних хвиль $\varphi_i(x, z)$. Нормальні хвилі задовольняють хвильовому рівнянню і граничним умовам на межі зони

$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right|_{z=h} = 0$, де h – потужність вугільного пласта або ширина хвилевода (межі хвилеводу абсолютно жорсткі). У результаті розв'язування хвильового рівняння отримаємо хвильове поле $\varphi(x, z) = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(x, z)$.

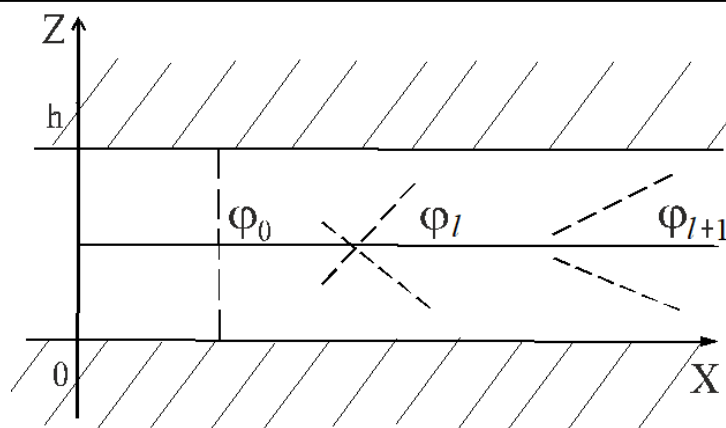


Рисунок 2 – Схема хвилевода з плоскими, абсолютно відбиваючими межами та рухи деяких нормальних хвиль $\varphi_i(x, z)$

Поширення кожної нормальної хвилі можна уявити як поширення двох хвиль. Одна хвиля поширюється вздовж хвилеводу (за віссю X), друга хвиля є стоячою за перерізом (за віссю Z). Амплітуда нормальних хвиль змінюється за віссю Z та залежить від номера хвилі. Частина нормальних хвиль за певних умов біжать за віссю X, решта залежно від номера хвилі – загасатимуть уздовж осі хвилеводної зони. Найменша частота збудження хвилеводу, при якій нормальна хвиля з номером i може поширюватися у шарі шириною h без затухання (дисипативні втрати середовища хвилеводу не враховуємо) є критичною частотою такої нормальної хвилі $v_{kpi} = \frac{i \cdot C_0}{2 \cdot h}$ [Hz], де C_0 – швидкість у середі хвилеводу [Ямщиков, 1984].

Загалом, у пружних хвилеводах у масиві гірських порід хвильова картина дуже складна. В них поширюються поруч із поздовжніми нормальними хвилями поперечні нормальні хвилі, ряд бічних і поверхневих хвиль різних типів.

Визначимо значення критичної частоти пружних хвиль, що були згенеровані працюючим гірським обладнанням на шахтах «Дніпровська» лава № 1086 і «Степна» лава №165 (165 бортовий штрек і 167 збірний штрек).

За Ямщиковим В.С. [Хвильові процеси у масиві гірських порід, 1984] більша частина енергії від джерела збудження (виконавчий орган породоруйнуючого механізму) відбивається від меж хвилеводу (вугільного пласта) назад у хвилеводну зону у вигляді плоских хвиль та переноситься нормальними хвилями вздовж її осі. У результаті в хвилеводній зоні спостерігається концентрація коливальної енергії. При цьому зменшення амплітуди сигналу в цій зоні зі збільшенням відстані відбувається меншою мірою, ніж в навколишніх просторах. Таким чином, сигнал передається на великі відстані. На шахті «Степна» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» видобувається вугілля марки Г з зольністю 35,5%, потужність пластів 0,55-0,9 м. Значення критичної частоти обчислимо за формулою

$$f_{кр} = \frac{V_S}{2 \cdot h}, \quad (1)$$

де V_S – швидкість поперечних хвиль у середовищі. У цих умовах

$V_S = 1100 \frac{M}{c}$, спектр зареєстрованого сигналу представлений рисунку 1б).

Отримано інтервал критичних частот 611-1000 Hz з формули (1).

На шахті «Дніпровська» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» видобувається вугілля марки Г з зольністю у середньому 35-40%, потужність пластів 0,68-1,2 м. На експериментальній ділянці лави №1086 потужність пластів 0,9-1,12 м. В цих умовах $V_S = 1100 \frac{M}{c}$, зареєстрованого сигналу представлений рисунках 1а)-в). Отримано інтервал критичних частот 491-611 Hz з формули (1). Більш 78% запасів вугілля на шахті зосереджено на пластах потужністю 0,6-0,8 м. Тоді інтервал критичних частот можливих коливань 687,5-917 Hz з формули (1).

Проведені розрахунки показали, що інтервали значень критичних частот коливань, отриманих на досліджуваних ділянках, та діапазон частот 700-1400 Hz, у загальному випадку, не перетинаються. Таким чином, говорити однозначно, що збільшення амплітуди коливань в області частот 700-1400 Hz, що може призвести до різкого зменшення критичних довжин тріщин, як для вугілля, так для вміщувальних порід, пов'язано з резонансними властивостями вугільних пластів не є можливим. При цьому відзначимо, що виявлена стрибкоподібна зміна довжин страгуємих тріщин. у 2-3 рази при збільшенні амплітуди коливань в області частот 700-1400 Hz [1-3], можна розглядати як передвісник динамічного явища.

Слід зазначити експерименти, що проводились Масленніковим Є.В. [4], схожі за тематикою та отриманими результатами.

Висновки

1. Існують такі критичні режими коливального навантаження в породному масиві, які ініціюють старт тріщин різної довжини, причому зі зростанням амплітуди коливань із частотою 700-1400 Hz критичні довжини тріщин зменшаються у 2-3 рази.

2. Працюючі породоруйнівні механізми здатні створювати в масиві коливання із частотою 700-1250 Hz, такий інтервал частот визначений як небезпечний з погляду виникнення газодинамічних явищ.

3. Стверджувати однозначно, що збільшення амплітуди коливань у області частот 700-1400 Hz, пов'язано з резонансними властивостями вугільних пластів не є можливим.

Посилання

1. Sdvyzhkova O., Golovko Yu., Dubytska M., Klymenko D. Studying a crack initiation in terms of elastic oscillations in stress strain rock mass. Mining of Mineral Deposits. – 2016. – Vol. 10, № 2. – P. 72-77.

2. Sdvyzhkova O., Golovko Yu., Klymenko D. Effect of harmonic oscillations on a crack initiation in the rock mass. Науковий вісник НГУ України. – Дніпро: НГУ. Випуск 5/2017.
3. Клименко Д.В. Закономірності проявів і сейсмоакустичний прогноз газодинамічних явищ при відпрацюванні вугільних пластів: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. – Дніпро: Видавництво «Літограф», 2018. – 20 с. URL: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/152931/CD1020.pdf?sequence=1>
4. Масленніков Є.В. Обґрунтування параметрів прогнозу викидонебезпеки у вугільних шахтах на основі аналізу акустичного сигналу. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.15.11. – Дніпропетровськ, 2001. – 140 с.

MODELING AND ANALYSIS OF HYDROSTATIC SPINDLE BEARINGS WITH AN ADAPTIVE FEED SYSTEM

*Doctor of Technical Sciences, Prof. Viktor Kovalov,
Doctor of Technical Sciences, Prof. Yana Vasylchenko,
Cand. of Tech. Sc., Assoc. Prof. Maksym Shapovalov,
Cand. of Tech. Sc., Senior Lecturer Oleksandr Ponomarenko,
Graduate Student Vladislav Chuiko*

Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil, Ukraine

Machine tools must ensure the necessary trajectory of mutual movement of the workpiece and tool. However, due to elementary errors, the actual trajectory differs from the required one. In some cases (when considering deviations in the shape and location of the surfaces of a part), machine errors are dominant. It is necessary to reduce machine errors to values that are 3-5 times smaller than the smallest permissible errors of parts processed on this machine.

The required accuracy of machines is determined by the perfection of their design, errors arising during the manufacture of parts and assembly of the machine, and errors permissible during the adjustment and regulation of the technological system. The accuracy of machining is most affected by machine errors (including the kinematic accuracy of mechanisms, positioning errors of machine working parts, etc.). In addition, it is important to reduce the sensitivity of the machine to external and internal influences (force, heat, etc.). As the machine wears out, its initial accuracy changes. Therefore, it is necessary to carry out control, inspections, accuracy checks, and periodic adjustment of the machine components to ensure long-term maintenance of the required accuracy.

When operating a metal-cutting machine, the key task is to create and maintain working conditions that ensure the manufacture of parts with minimal deviations in dimensional and geometric parameters. The occurrence of these errors is caused by the influence of external factors on the dynamic system of the machine, in particular, force and thermal loads, as well as changes in the technological modes of processing.

Certain simplifications were applied in the calculation process. In particular, it was taken into account that sliding bearings under the action of loads transmitted from the shaft may undergo significant deformations. In this regard, in the refined calculation models, it is advisable to represent the shaft as a rod placed on an elastic base.

The support's functioning was modeled using the following initial parameters: diameter $D=175$ mm, length $L=245$ mm, pocket dimensions $A \times B=180 \times 90$ mm, as well as the parameters of the throttle elements a and $b=180 \times 20$ mm. The dynamic viscosity of the working fluid, according to reference data, was taken to be equal to $\mu=0.28$ N·s/m² at a supply temperature of 22 °C.

The boundary conditions of the calculation included the constant pressure values in the support supply system and the constant shaft rotation frequency, while the pressure at the system outlet was assumed to be equal to atmospheric pressure. Based on the developed mathematical model (Fig. 1), numerical calculations were performed to determine the pressure distribution in the support pockets and its flow characteristics. The results of the calculations of the temperature field and isolines of the lubricant flow velocity are presented in the form of diagrams in Fig. 2.

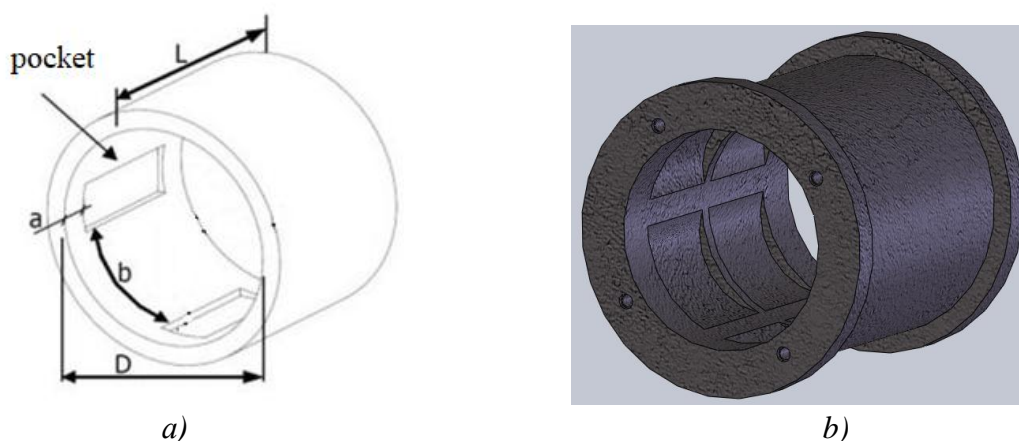


Fig. 1 – Hydrostatic support under investigation: a) calculation diagram; b) three-dimensional model of hydrostatic support

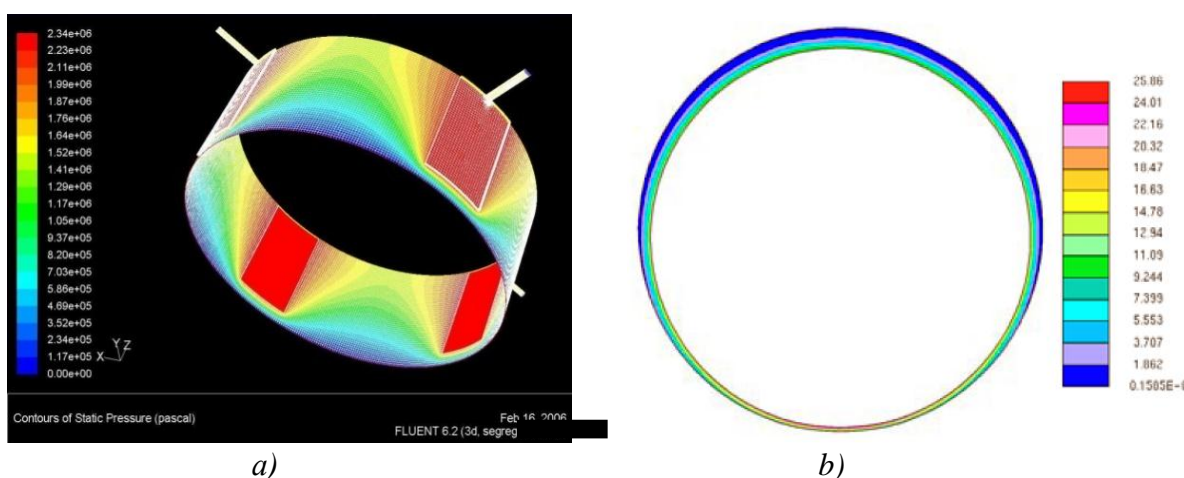


Fig. 2 – Results of cylindrical hydrostatic bearing calculation:
 a) distribution of lubricant velocities when passing through the studied area; b) pressure isolines in a fragment of the hydrostatic bearing

Elastic deformations of technological system elements, as well as thermal deformations, can vary significantly and depend on a large number of factors. In this regard, it is advisable to study them using theoretical methods for different operating conditions. The issue of ensuring accuracy is most critical at the finishing stage, so the assessment of the impact of elastic deformations should be performed under conditions specific to this type of processing.

Since existing software packages do not contain specialized tools for implementing the developed algorithm, it was implemented in the Delphi 7.0 software environment. This made it possible to determine the operating characteristics of the support using an object-oriented approach and to ensure data exchange between interconnected calculation modules. The main criteria for the performance of plain bearings are the maximum permissible temperature in the working area and the minimum permissible thickness of the lubricating film.

The results of the computational analysis of different types of bearings show that the best performance is provided by hydrostatic bearings equipped with different types of pressure regulators. In this regard, it is advisable to develop a power supply system with control elements that have feedback based on measuring the actual position of the spindle or the workpiece. According to the existing classification, such systems belong to adaptive control systems that respond to signals from external influences. In accordance with these requirements, a structural diagram of the control system for the operating characteristics of hydrostatic spindle bearings was developed, taking into account power and thermal factors.

The control system consists of two interconnected subsystems—electrical and hydraulic. The electrical subsystem includes a measuring unit, which consists of sensors and signal amplifiers, as well as a control unit with a linear drive that moves the pressure regulator spool in the support pocket. The hydraulic subsystem contains a hydraulic station with a set of filter elements and safety valves, a lubricant pressure regulator, and a front hydrostatic support.

The pressure regulator spool is classified as both an electrical and hydraulic part of the system, since its position is a controlled parameter that directly affects the operation of the support. In accordance with the experimental research methodology, inductive displacement sensors are used as feedback sensors. The performance of the proposed control system has been confirmed by the results of theoretical modeling in the Matlab Simulink software environment, as well as by experimental tests.

Conclusions

The research has shown that the working fluid layer is an appropriate adaptive element that can influence the accuracy of the technological system and, accordingly, the accuracy of processing. Regulating the pressure in this layer or changing the flow characteristics of the supply system allows for effective control of the spindle position. In particular, by changing the pressure in the pockets of the

hydrostatic bearing using working fluid flow regulators, it is possible to stabilize the spindle relative to its central position.

References

1. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки / В. Б. Струтинський. – Житомир : ЖІТІ, 2001. – 612 с.
2. Усов А. В. Математичне моделювання технічних систем / А. В. Усов, Л. І. Плотнікова, В. О. Вайсмон. – К. : Техніка, 1995 – 328 с.

ОСОБЛИВОСТІ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТРУБОПРЕСОВОГО ІНСТРУМЕНТУ З ВІТЧИЗНЯНИХ І ЗАРУБІЖНИХ СТАЛЕЙ З МЕТОЮ ЇХ ЗМІЦНЕННЯ ДЛЯ РОБОТИ В ВАЖКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*PhD (Матеріалознавство), викладач¹ Л.С. Кривчик,
здобувач², викладач-методист¹ В.Л. Пінчук*

¹ВСП «Нікопольський фаховий коледж УДУНТ»

*Зав. каф.², докт. техн. наук, професор Л.М. Дейнеко,
Ст. наук. співр.³, аспірант² А.О. Тараненко*

²Кафедра матеріалознавства і термічної обробки металів

Український державний університет науки і технологій (УДУНТ)

*³ДП «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний
інститут трубної промисловості ім. Я.Ю. Осади
м. Дніпро, Україна*

*Заст. директора з виробництва⁴, аспірант⁵ А.В. Панченко
⁴«ТОВ Карбаз»*

*⁵Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Зносостійкість загартованих інструментальних сталей для виготовлення пресового інструменту сильно залежить від твердості структури, кількості карбідів, їх форми, розмірів, розподілу, твердості і величини зерна (з підвищенням твердості і кількості карбідів підвищується міцність, але при цьому знижується в'язкість і втомна міцність [1]).

З урахуванням умов експлуатації до матеріалу ставляться такі вимоги: висока теплостійкість; в'язкість; висока розгаростійкість; зносостійкість; жаростійкість; висока теплопровідність [2].

Легування є одним з основних способів впливу на структуру й властивості інструментальних сталей і сприяє підвищенню працездатності інструмента.

Штампові сталі легують такими елементами як хром, вольфрам, молібден, ванадій, кремній і кобальт. В останні роки з'явилися сталі з добавками титану, цирконію, ніобію й ін.

Хімічний склад сталей наведений в таблицях 1,2,3.

Таблиця 1- Хімічний склад сталі 4X5MФ1С, % по масі (ДСТУ 3953-2000), AISI 4140 (USA)

C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Ni	Cu	S	P
						не більше			
0,32	0,90	0,20	4,50	0,30	1,20	0,35	0,30	0,30	0,03
0,40	1,20	0,50	5,50	0,50	1,50				

Таблиця 2- Хімічний склад сталі 5X3B3MФС, % по масі (ДСТУ 3953-2000) AISI H11 (USA)

C	Si	W	Mn	Cr	V	Mo	Ni	Cu	S	P
							Не більше			
0,45- 0,55	0,8- 1,1	2,8- 3,3	0,15- 0,45	2,5- 3,5	0,3- 0,5	1,2- 1,5	0,35	0,30	0,03	0,03

Таблиця 3- Хімічний склад сталі 4X4BMФС, % по масі (ДСТУ 3953-2000) AISI H11 (USA)

C	Si	W	Mn	Cr	V	Mo	Ni	Cu	S	P
							Не більше			
0,37- 0,44	0,6- 1,0	0,8- 1,2	0,2- 0,5	3,2-4	0,6- 0,9	1,2- 1,5	0,6	0,30	0,03	0,03

Таблиця 4 - Хімічний склад сталі BÖHLER W302 ISODISC (% по масі)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Nb	Cu	S	P
0,39	1,1	0,4	5,2	-	1,3	0,95	0,02-- 0,05	<0,3	<0,01	<0,01

Стійкість інструменту при пресуванні труб з високолегованих марок сталей дуже низька – матричні кільця 5-7 пресовок, експандери – 100 циклів. Традиційна технологія термозміцнення – загартування з відпуском – не забезпечує високої стійкості інструмента в жорстких умовах роботи при пресуванні. В даній роботі запропоновані сучасні методи термозміцнення пресового інструменту з вітчизняних і зарубіжних марок сталей з використанням рідинної карбонітрації і низькотемпературної нітроцементациї.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Сутність процесу карбонітрації полягає в тому, що інструмент після звичайної термічної обробки (наприклад, загартування та відпуску), остаточної механічної обробки в робочі розміри (шліфування, полірування тощо) піддається нагріванню для поверхневого насичення азотом і вуглецем в активній ванні при оптимальній для кожного типу виробу температурі карбонітрації і з різними витримками при заданій температурі [3].

Нітроцементация, ціанування, карбонітрація - процеси одночасного насичення металу вуглецем та азотом:

- газова нітроцементация здійснюється в контрольованій ендотермічній атмосфері з добавкою 1,5-5,5% (об.) природного газу та 1,0 - 3,5% (об.) аміаку при температурі 850-870 °С протягом 4-10 годин. Після нітроцементации слідує загартування (частіше безпосередньо з печі) та низький відпуск (160-180 °С). Товщина нітроцементованого шару складає ~0,2 – 0,8 мм. Після такої обробки твердість HRC = ~58-60; HV = ~570-690;

- азотування в рідких середовищах (теніфер-процес) проводять при ~530-570 °С протягом 0,5-3,0 годин у розплавлених ціаністих солях (85% солі, що містить: 40%-KCNO+60%NaCl+15%Na₂CO₃), а процес називається ціануванням. При окисленні ціаністого натрію утворюється атомарний азот та оксид вуглецю. Переваги процесу – коротка тривалість, висока зносостійкість та корозійна стійкість поверхні виробів. Недолік процесу - отруйні солі та пари [4].

Спосіб карбонітрації полягає у насиченні поверхні деталей азотом і вуглецем у синтезованому розплаві солей диціандіаміду калію і поташу при температурі 540-580°С. За енерговитратами і технічними результатами цей спосіб істотно кращий за такі методи поверхневого зміцнення, як газове азотування, ціанування, борування, лазерне зміцнення та ін [5].

До основних переваг карбонітрації відносяться незначна тривалість процесу, простота обладнання (низькотемпературна піч, виконана у варіанті ванни), універсальність даного методу ХТО, низька вартість обробки. Порівняно з процесами твердого та газового ціанування, слід зазначити також меншу деформацію виробів у процесі карбонітрації через низьку температуру обробки.

Процес ведуть при температурі 540 ÷ 600°С, час витримки 4 ÷ 6 годин, товщина шару 0,12 ÷ 0,4 мм [6,7].

Процес полягає у дифузійному насиченні поверхні інструменту азотом і вуглецем одночасно. Для надання корозійних властивостей карбонітрованим виробам рекомендується проводити процес оксидування в нітритно-лужному розплаві при 350 ÷ 400°С. Метод карбонітрації з наступним оксидуванням отримав назву «НОК – процес» (низькотемпературна оксикарбонітрація) [136]. Після карбонітрації на поверхні інструменту формується зміцнений шар, що складається з декількох зон (верхній шар являє собою ϵ -

карбонітрид типу $Fe_3(NC)$, під яким розташовується зона γ^1 - фази типу $Fe_4(NC)$, під якою знаходиться дифузійна зона (гетерофазний шар), яка складається з твердого розчину вуглецю і азоту в залізі з включеннями карбонітридних фаз, твердість якої значно вища твердості серцевини [8].

Азот і вуглець, що присутні в карбонітрованому шарі, сповільнюють процеси перетворення твердих розчинів і коагуляцію карбонітридних фаз, внаслідок чого висока твердість карбонітрованого шару зберігається до температур вище $6500C$, а інтенсивне охолодження інструменту після кожного циклу пресування, сприяє зберіганню карбонітрованого шару і його властивостей при подальшій експлуатації [9].

Послідовність операцій при карбонітрації: попередня підготовка – очищення, промивання, знежирення; підігрів деталей до температури $350 \div 400^{\circ}C$; потім проводять карбонітрацію в розплаві солей ціанатів і карбонатів лужних металів, підстужування на повітрі до $350 \div 4000C$, оксидування в лужному розплаві при $350 \div 400^{\circ}C$ протягом 0,5 годин, і наступне охолодження на повітрі до кімнатної температури [10].

Спосіб карбонітрації полягає у насиченні поверхні деталей азотом і вуглецем у синтезованому розплаві солей диціандіаміду калію і поташу при температурі $540-580^{\circ}C$. За енерговитратами і технічними результатами цей спосіб істотно кращий за такі методи поверхневого зміцнення, як газове азотування, ціанування, борування, лазерне зміцнення та ін. [11].

До основних переваг карбонітрації відносяться незначна тривалість процесу, простота обладнання (низькотемпературна піч, виконана у варіанті ванни), універсальність даного методу ХТО, низька вартість обробки. Порівняно з процесами твердого та газового ціанування, слід зазначити також меншу деформацію виробів у процесі карбонітрації через низьку температуру обробки.

Процес ведуть при температурі $540 \div 600^{\circ}C$, час витримки $4 \div 6$ годин, товщина шару $0,12 \div 0,4$ мм [12].

Процес полягає у дифузійному насиченні поверхні інструменту азотом і вуглецем одночасно. Для надання корозійних властивостей карбонітрованим виробам рекомендується проводити процес оксидування в нітритно-лужному розплаві при $350 \div 400^{\circ}C$. Метод карбонітрації з наступним оксидуванням отримав назву «НОК – процес» (низькотемпературна оксикарбонітрація) [10]. Після карбонітрації на поверхні інструменту формується зміцнений шар, що складається з декількох зон (верхній шар являє собою ϵ - карбонітрид типу $Fe_3(NC)$, під яким розташовується зона γ' - фази типу $Fe_4(NC)$, під якою знаходиться дифузійна зона (гетерофазний шар), яка складається з твердого розчину вуглецю і азоту в залізі з включеннями карбонітридних фаз, твердість якої значно вища твердості серцевини [13].

Азот і вуглець, що присутні в карбонітрованому шарі, сповільнюють процеси перетворення твердих розчинів і коагуляцію карбонітридних фаз, внаслідок чого висока твердість карбонітрованого шару зберігається до

температур вище 650°C , а інтенсивне охолодження інструменту після кожного циклу пресування, сприяє зберіганню карбонітрованого шару і його властивостей при подальшій експлуатації [14].

Послідовність операцій при карбонітрації: попередня підготовка – очищення, промивання, знежирення; підігрів деталей до температури $350 \div 400^{\circ}\text{C}$; потім проводять карбонітрацію в розплаві солей ціанатів і карбонатів лужних металів, підстижування на повітрі до $350 \div 400^{\circ}\text{C}$, окисдування в лужному розплаві при $350 \div 400^{\circ}\text{C}$ протягом 0,5 годин, і наступне охолодження на повітрі до кімнатної температури [15].

Аналогічний процес рідинного азотування сталевих деталей у розплавах активних солей був розроблений та використовується в Україні під назвою карбонітрація. Спосіб карбонітрації полягає у насиченні поверхні деталей азотом і вуглецем у синтезованому розплаві солей диціандіаміду калію і поташу при температурі $540\text{-}580^{\circ}\text{C}$. За енерговитратами і технічними результатами цей спосіб істотно кращий за такі методи поверхневого зміцнення, як газове азотування, ціанування, борування, лазерне зміцнення та ін. [16].

Суть карбонітрації або методу «рідинного» азотування полягає в зміцненні поверхневого шару виробів зі сталі та чавуну методом дифузійного насичення азотом і вуглецем у розплаві солей, синтезованих з амонівуглецевих сполук (меламін, мелон, диціандіамід) при температурі $540\text{-}580^{\circ}\text{C}$.

Цей процес передбачає одночасне насичення металу азотом і вуглецем, при якому в поверхневому шарі металу утворюються карбонітридні фази, що є більш пластичними в порівнянні з чисто нітридними, одержуваними при газовому азотуванні. Серед усіх технологій низькотемпературного зміцнення - карбонітрація є найбільш економічним процесом, так як при однакових вимогах до товщини зміцненого шару в ≥ 5 разів скорочується тривалість насичення (до 0,5-4 год, замість 10-60 год), в порівнянні з газовим азотуванням. Графік режиму карбонітрації наведено на рис. 1.



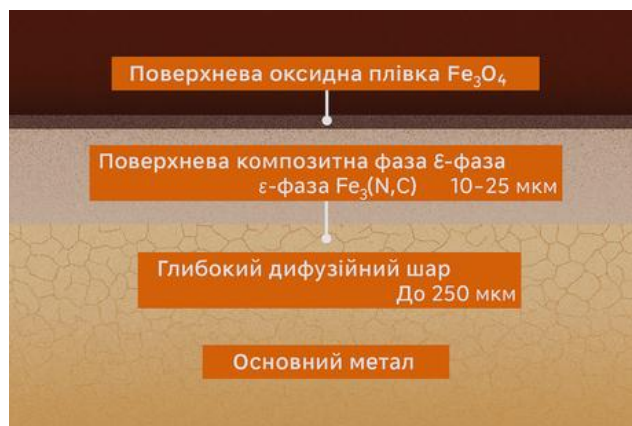
Рисунок 1 – Графік режиму карбонітрації

Карбооксидування (CARBO-NITRO-OXIDATION) - це багатоступенева хіміко-термічна обробка, яка змінює не тільки зовнішній вигляд, а структуру

самої поверхні, надаючи їй унікальні властивості, що поєднують: надвисоку зносостійкість (до 1500 HV), антикорозійний захист на рівні нержавіючих сталей, підвищену втомну міцність без втрати геометрії, стабільний естетичний вигляд преміального чорного кольору [15].

На відміну від гальваніки чи фарбування, карбооксидування — це дифузійний процес, де азот і вуглець проникають у поверхневий шар металу, створюючи структурно нову поверхню, яка не стирається як фарба, не тріскається як гальваніка, не змінює розмір як хромування.

Структура сталі інструменту після карбонітрації показана на рис.2.



Рисуюнок 2 - Структура сталі інструменту після карбонітрації

Карбооксидування створює не просто поверхнєве покриття, а глибоко інтегровану багатшарову структуру, де надтвердий зносостійкий шар і дифузійна підоснова працюють разом, забезпечуючи ресурс, який неможливо досягти звичайними покриттями. Такий ефект досягається шляхом контрольованого насичення сталі або чавуну азотом і вуглецем у розплаві ціанатів, без застосування шкідливих ціанідів [16].

Отриманий шар включає:

- поверхнєву композитну фазу (ε-фазу $Fe_3(N,C)$) товщиною 5–25 мкм, що забезпечує високі показники твердості та стійкості до зносу;
- глибокий дифузійний шар до 250 мкм (може бути більшим), який забезпечує градієнт властивостей і підвищену втомну міцність;
- поверхнєву оксидну плівку Fe_3O_4 (магнетит), яка є додатковим елементом корозійного захисту та формує характерний зовнішній вигляд.

На відміну від багатьох альтернативних технологій, карбооксидування забезпечує безперервний перехід від поверхнєвого шару до основного матеріалу, що виключає ризики розшарування або відшарування, характерні для гальванічних покриттів..

Комплекс властивостей, які забезпечує карбооксидування:

- Зносостійкість - шар, сформований у процесі карбооксидування, забезпечує високу стійкість до абразивного, адгезійного і фретинг-зносу. Практичні випробування показують зниження швидкості зношування у 2–5 разів порівняно з цементацією або гальванічним хромуванням.

- Корозійна стійкість - завдяки поєднанню дифузійного і оксидного шарів досягається стійкість до корозії понад 400 годин у сольовому тумані (за стандартом DIN EN ISO 9227 NSS) для вуглецевих і низьколегованих сталей, які без обробки кородують вже через 24–48 годин. Корозійна стійкість зберігається навіть при пошкодженні поверхневого оксидного шару, завдяки дифузійному захисту під ним.

- Втомна міцність - формування дифузійного шару дозволяє підвищити втомну міцність деталей на 50–100%, порівняно з необробленими. На відміну від хромування, яке знижує втомну міцність через мікротріщини та надмірно жорсткий зовнішній шар, карбооксидування формує цілісне зміцнене покриття, яке рівномірно розподіляє навантаження і знижує ризик утворення тріщин.

- Геометрична стабільність - процес відбувається без зміни геометричних розмірів, що особливо важливо для високоточних деталей. Це дозволяє обробляти вже готові вироби без додаткового шліфування або калібрування після обробки, що значно знижує виробничі витрати.

- Зовнішній вигляд - поверхневий шар має рівномірний глибокий чорний колір, що додає виробам привабливого товарного вигляду. Фінішне полірування дозволяє регулювати ступінь блиску та шорсткість залежно від вимог замовника [13].

3. Мета та задачі дослідження

Традиційна технологія зміцнення термічною обробкою трубного інструменту із вказаних сталей майже вичерпала свої можливості по подальшому підвищенню його експлуатаційних властивостей. Тому метою даного дослідження є удосконалення методів зміцнення трубопресового інструменту для пресування корозійностійких труб з використанням як вітчизняних, так і зарубіжних сталей з використанням карбонітрації і низькотемпературної нітроцементациї.

4. Матеріали та методика досліджень

В даній роботі виготовлені експандери трубопресової установки зусиллям 16 МН у кількості 3 (трьох) штук: зі сталі 4Х4ВМФС діаметром 120 мм і довжиною 195 мм. Матричні кільця трубопрофільного пресу у кількості 8 (восьми) штук: зі сталі 5Х3В3МФС (ДІ-23) 6 (шість) штук (1 штука діаметром 63,5 мм, 2 штуки діаметром 73,5 мм, 3 штуки діаметром 71,5 мм); зі сталі 4Х5МФ1С 2 (дві) штуки діаметром 71,5 мм і 73,5 мм виготовлені на ТОВ «Метінсервіс Груп» (м. Нікополь) і піддані зміцнюючій термічній обробці (ступеневе загартування з 1070 ÷ 1080°C та двократному відпуску при 550 ÷ 570°C (1 відпуск) та 530 ÷ 550°C (2 відпуск) [1].

Експандери виготовлені на ТОВ «Метінсервіс Груп» (м. Нікополь) і піддані загартуванню з двократним відпуском і послідовному карбооксидуванню для зміцнення на ТОВ «Карбаз» (м.Суми).

Термічна обробка досліджуваної сталі проводилась за традиційною технологією із загартуванням в полімерному гартувальному середовищі та наступним двократним відпуском. Двократний відпуск призводить до зниження гартівних напруг і змісту залишкового аустеніту в структурі. При цьому протікають процеси карбідного зміцнення і часткової сфероїдизації карбідів. Така ТО призводить до утворення тонкодисперсної структури трооститу з рівномірним розподілом карбідів. Дана структура забезпечує необхідний комплекс властивостей інструменту [1].

Підігрів інструменту до $800 \div 850^{\circ}\text{C}$ при нагріві під загартування необхідний для запобігання розтріскуванню внаслідок низької теплопровідності штампових сталей. Для нагрівання експандерів до $1080 \div 1100^{\circ}\text{C}$ використовуємо електродну піч-ванну.

Перевагами соляних ванн є висока швидкість нагріву, рівномірність нагріву, висока точність регулювання температури, захист поверхні від безпосереднього впливу повітря. Розплавлені солі захищають інструмент від безпосереднього впливу кисню повітря і надійно захищають їх від окислення, а введення в склад солей - розкислювачів при нагріві в ваннах запобігає знеуглецюванню поверхневих шарів інструменту [5].

В соляних ваннах найчастіше використовують хлористі солі натрію, калію і барію, в якості розкислювачів – бура, феросіліцій, кремнезем, фторид магнію та ін.

Етапи технологічного процесу карбонітрації:

Перший етап. Підготовка інструменту до карбонітрації.

Важливе місце займає знежирення поверхні деталі (в т.ч. і різьблення) та укладання у пристосування. Деталь перед карбонітрацією повинна пройти повний цикл стандартної термічної обробки у вигляді загартування та кінцевого відпуску, а також повної механічної обробки, включаючи шліфування, заточування та полірування, так як це фінішний процес (карбонітрація) може розміцнити метал зміцненого шару.

Другий етап. Підігрів інструменту, наприклад, у печі з повітряною атмосферою до $300\text{-}350^{\circ}\text{C}$ і витримка 10-15 хв., на поверхні виробу з'являються кольори темно-синього забарвлення. На металевій поверхні утворюється найтонший оксидний шар, що є перешкодою процесу карбонітрації. Підігрів інструменту перед зануренням у розплав забезпечує зниження залишкової напруги та скорочення часу витримки в ціаністій ванні, а також досягнення стабільності результатів карбонітрації та дотримання техніки безпеки під час занурення виробу в розплав солі.

Третій етап. Карбонітрація інструменту, що здійснюється в її нагріванні у ванні з розплавленою активною сіллю (при температурі $540\text{-}580^{\circ}\text{C}$) протягом 30 хв. При цьому проводять продування повітрям розплав для запобігання розвитку відновлювальних реакцій. Температура ванни підтримується постійною, а період витримки інструменту у ванні рахують з

моменту занурення у розплав. Тривалість витримки залежить від розміру інструменту.

Четвертий етап. Охолодження після карбонітрації з включенням операцій вороніння та стабілізації структурного стану карбонітрованого шару проводиться на спокійному повітрі до 300-150⁰С. Зайва сіль з поверхні інструменту стікає, а решта на ній окислюється і затвердіває у вигляді тонкого шару. Властивості карбонітрованого шару можна поліпшити уривчастим охолодженням виробу із зупинкою в районі температур 250-350⁰С. Це дозволяє реалізувати дисперсійне твердіння у металі карбонітрованого шару. Карбонітрований шар сталевго інструменту складається з: зовнішнього шару карбонітридної фази; гетерофазного шару та шару з твердим розчином азоту в залізі (мікротвердість вища, ніж основи сталі).

П'ятий етап. Промивання виробу для видалення з поверхні деталі солі, що налипла, і проварювання в емульсії.

Шостий етап. Контроль інструменту за зовнішнім виглядом і твердістю поверхневого шару [6].

Після карбонітрації на поверхні інструменту формується зміцнений шар, що складається з декількох зон (верхній шар являє собою ϵ - карбонітрид типу $Fe_3(NC)$, під яким розташовується зона γ' - фази типу $Fe_4(NC)$, під якою знаходиться дифузійна зона (гетерофазний шар), яка складається з твердого розчину вуглецю і азоту в залізі з включеннями карбонітридних фаз, твердість якої значно вища твердості серцевини (Рис.3) [4].

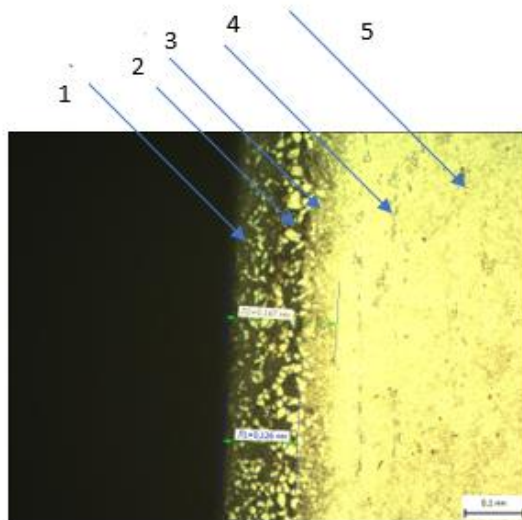


Рисунок 3 - Структура сталі інструменту 4X4VMFC після загартування, відпуску і карбонітрації, x500

1 - ϵ -карбонітрид $Fe_3(N, C)$; 2 - γ' фаза; 3 - дифузійна зона (гетерофазний шар); 4 – мартенсит відпущений; 5 – карбіди легуючих елементів

Поверхневий шар - карбонітридна фаза, в якій розташовуються включення складного кубічного карбіда $(Fe, W, Cr, V)_6C$ [5]. Під карбонітридним шаром розташовується зона складної гетерофазної будови, а далі світла зона, де майже не проглядаються карбонітридні включення.

Графік термічної обробки інструменту з використанням карбонітрації, запропонований в роботі, наведено на рис. 4.

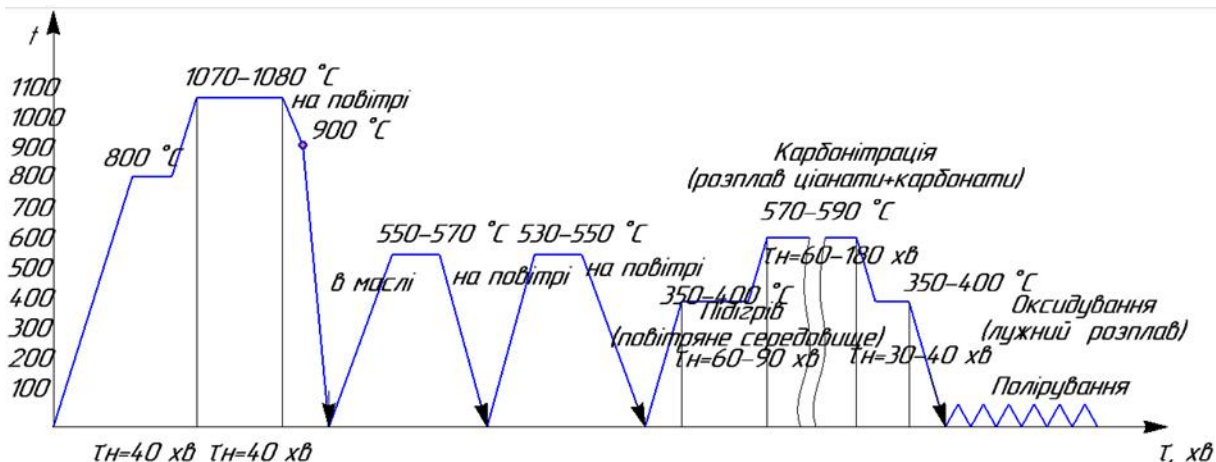


Рисунок 4 - Графік термічної обробки матричного кільця зі сталі 5Х3В3МФС з використанням карбонітрації

Результати заміру мікротвердості зразків штампової сталі 4Х4ВМФС для виготовлення експандерів трубопрофільних пресів після проведення загартування з відпуском і карбонітрації показані в таблиці 5

Таблиця 5 – Результати заміру мікротвердості зразків штампової сталі 4Х4ВМФС для виготовлення експандерів трубопрофільних пресів після проведення загартування з відпуском і карбонітрації

№ зразку	Зона відстань від поверхні мкм	Діаметр відбитка мкм	Середній діаметр відбитка, мкм	Навантаження, Г	Середнє значення мікротвердості, МПа	Середнє значення мікротвердості, Кг/мм ²
1	2	3	4	5	6	7
1	центр	82		200		
2	центр	83		200		
3	центр	82	25,36	200	5660,4	577,6
4	50	56		200		
5	50	55		200		
6	50	57	17,25	200	12235,6	1248,5
7	100	66		200		
8	100	70		200		
9	100	58		200		
10	100	60	19,56	200	9516,0	971

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7
11	200	88		200		
12	200	86		200		
13	200	87	26,8	200	5069,5	517,3
14	300	86		200		
15	300	86		200		
16	300	87	26,59	200	5148,1	525,3
17	400	87		200		
18	400	86		200		
19	400	88	26,8	200	5069,5	517,3

Дифрактограми зразків сталі до і після карбонітрації наведена на рис. 5 і 6.

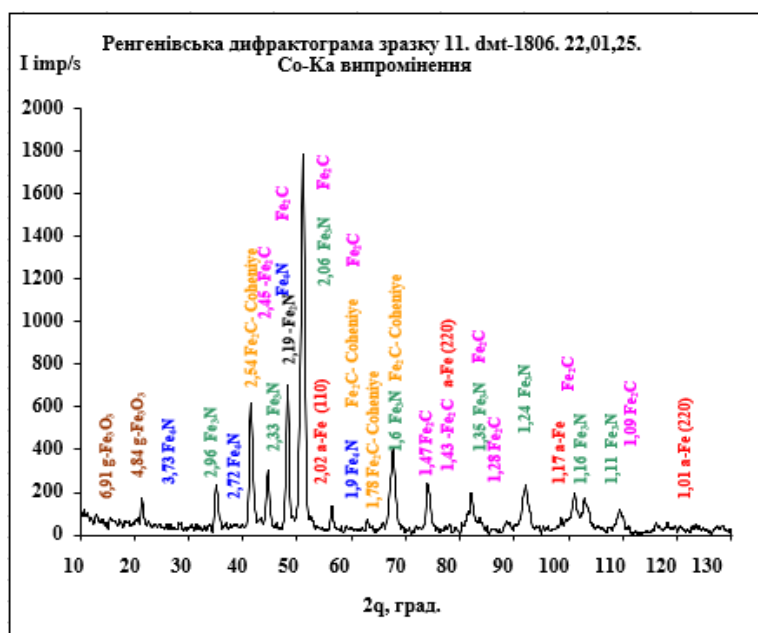


Рисунок 5 - Дифрактограма зразку сталі 4Х4ВМФС після карбонітрації (поверхня)

Дифрактограма зразку після загартування з відпуском (до карбонітрації) показана на рис. 6

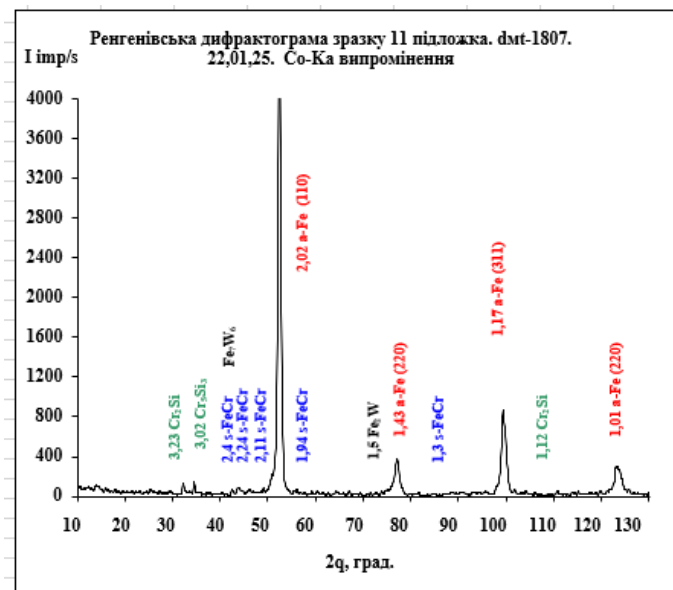


Рисунок 6 - Дифрактограма зразку сталі 4X4ВМФС до карбонітрації (поверхня)

Рентгенофазовий аналіз проводили на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-3 в монохроматизованому Со-К α випромінюванні ($\lambda=1.7902\text{\AA}$). Ідентифікація з'єднань (фаз) проводили шляхом порівняння міжплощинних відстаннів (d , \AA) і відносних інтенсивностей ($I_{\text{отн}}/I_0$) експериментальної кривої з даними електронної картотеки PCPDFWIN.

Зйомка проводилась на кутах 10-90 град.

Фазовий аналіз - шаг 0,1 град. Тривалість 5 с.

Структурний аналіз - шаг 0,01 град. Тривалість 5 с.

В даній роботі на ТОВ «Карбаз» була проведена зміцнююча термообробка експандерів з використанням низькотемпературної нітроцементації. Експандери були виготовлені з сталі BOHLER W302 ISODISK (DIN 1.2344, ГОСТ 4X5МФ1С). Графік ТО експандерів показаний на рис. 7.

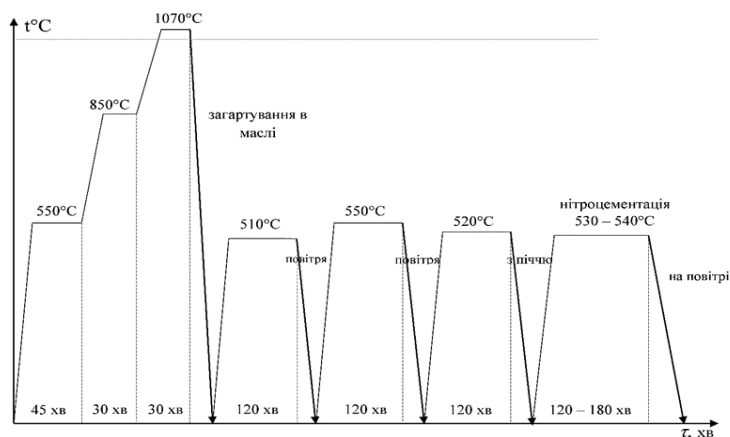


Рисунок 7 – Графік термообробки інструменту з використанням нітроцементації

Розподіл мікротвердості зміцненого шару показаний на рис. 8

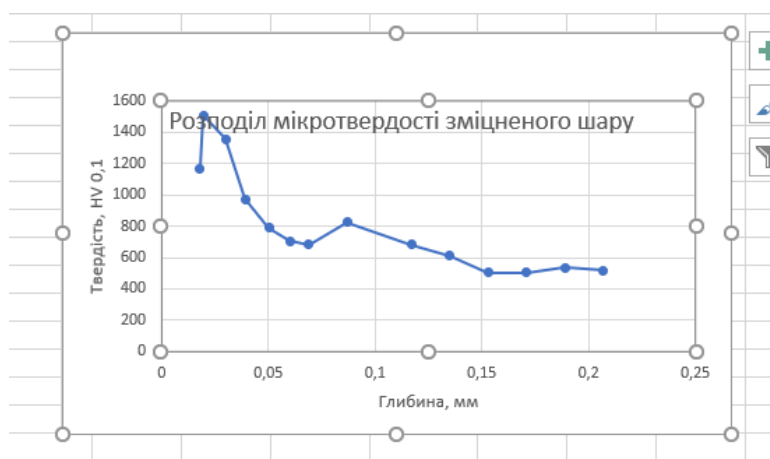


Рисунок 8 – Розподіл мікротвердості зміцненого нітроцементациєю шару сталі BOHLER W302 ISODISK

Мікроструктура зміцненого шару показана на рис.9

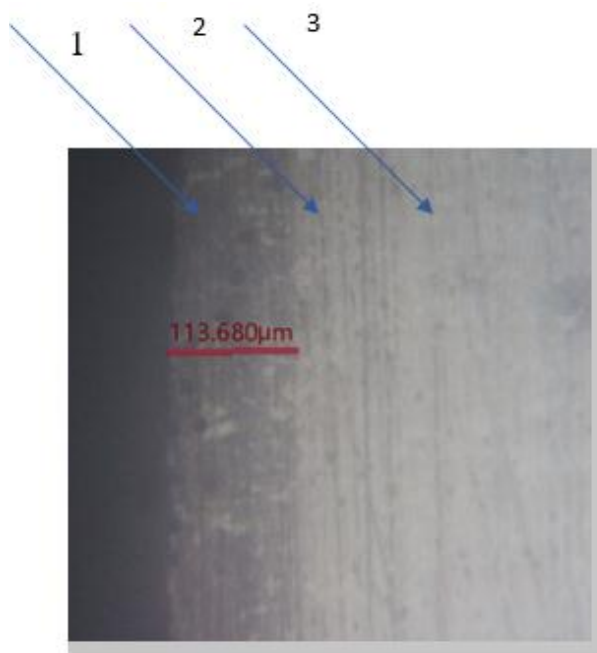


Рисунок 9 - Мікроструктура зміцненого шару сталі BOHLER W302 ISODISK, x 500:

1 - ϵ - карбонітрид типу $Fe_3(NC)$; 2 - γ' - фаза типу $Fe_4(NC)$; 3 - гетерофазний шар

Дифрактограма поверхні зразку сталі BOHLER W302 ISODISK наведена на рис.10.

Випробування інструменту після зміцнюючої обробки виконано на пресовій дільниці ТОВ «ВО ОСКАР» (м. Дніпро) (Рис.11)

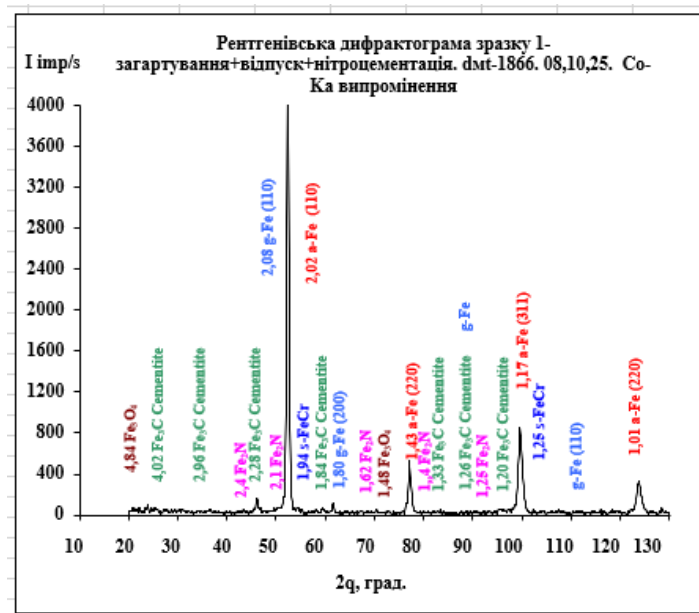


Рисунок 10 - Дифрактограма поверхні зразку сталі BOHLER W302 ISODISK після загартування, відпуску і нітроцементації



Рисунок 11 - Випробування трубного інструменту на ТОВ «ВО ОСКАР» (м. Дніпро)

Результати випробувань: для матричних кілець трубопрофільного пресу з сталі 4X5MФ1С після реалізації комплексної обробки з використанням карбонітрації твердість поверхневого шару збільшується до рівня $9500 \div 10000$ МПа, а експлуатаційна стійкість інструменту в 1,5 – 2 рази; що забезпечується утворенням на поверхні інструменту зміцненого шару, який складається з декількох зон (верхній шар являє собою ϵ - карбонітрид типу $Fe_3(NC)$, під яким розташовується зона (γ' - фази типу $Fe_4(NC)$, під якою знаходиться дифузійна зона (гетерофазний шар), яка складається з твердого розчину вуглецю і азоту в α -залізі з включеннями карбонітридних фаз

легуючих елементів (Cr, Mo, V), твердість якої значно вища твердості серцевини. Для матричних кілець з сталі 5X3B3MFC після реалізації комплексної обробки з використанням карбонітрації, твердість поверхневого шару збільшується до рівня 10000 ÷ 12000 МПа, а експлуатаційна стійкість інструменту в 1,5 – 2 рази.

Азот і вуглець, присутні в карбонітрованому шарі, сповільнюють процеси перетворення твердих розчинів і коагуляцію карбонітридних фаз, внаслідок чого висока твердість карбонітрованого шару зберігається до температур вище 650°C, а інтенсивне охолодження інструменту після кожного циклу пресування, сприяє зберіганню карбонітрованого шару і його властивостей, що підтвердили результати металографічних досліджень, електронної мікроскопії, рентгеноструктурних досліджень та дослідження механічних властивостей і результати промислової апробації дослідного інструменту.

Якщо стійкість експандерів зі сталі 4X4BMFC після звичайного термозміцнення складає 80 – 100 пресовок, то експандери, додатково піддані хіміко-термічній обробці (карбонітрації) показали стійкість 120 – 140 пресовок внаслідок більш високої твердості, теплостійкості, утворення особливої структури на поверхні внаслідок проведення хіміко-термічної обробки.

Висновки:

1. Одночасне насичення вуглецем і азотом відбувається швидше, ніж послідовне насичення кожним з цих елементів окремо. Співвідношення вуглецю й азоту в насичуваному шарі регулюють, змінюючи склад середовища й температуру процесу. Що нижча температура, то більше насичення поверхневого шару азотом і менше вуглецем. Для отримання карбонітрованого і нітроцементованого шару з високою поверхневою твердістю, необхідно перед хіміко-термічною обробкою інструменту проводити загартування з відпусками на вторинну твердість. Чим краще проведена попередня термічна обробка інструменту, тим кращі результати будуть отримані після карбонітрації.

2. Якщо високотемпературна нітроцементация утворює на поверхні інструменту карбонітриди у вигляді окремих включень, ізольованих один від одного твердою матрицею, то при карбонітрації і низькотемпературній нітроцементации при 540-560°C на поверхні утворюється сплошна корка карбонітридів з дуже високою твердістю, що дає значний зміцнюючий ефект.

3. Насичення поверхні досліджуваних сталей азотом і вуглецем при карбонітрації і низькотемпературній нітроцементации і наявність в складі цих сталей хрому, молібдену, сприяє утворенню в поверхневих шарах великої кількості карбонітридів, що забезпечує цим шарам твердість $H_{\mu}100$ 1020-1040 Кг/мм².

Посилання

1. Кривчик Л. С. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії PhD за спеціальністю 132 - «Матеріалознавство». Український державний університету науки і технологій. Дніпро, 2023.
2. Друян В. М., Гуляєв Ю.Г., Чукмасов С.О. Теорія та технологія трубного виробництва: підручник. Дніпро: VAL, 2000. 587 с.
3. Кузьмич В. О., Косенко В.М., Бузенко Л.В. Технологія виробництва сталевих труб методом гарячого пресування: підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 224 с.
4. Дейнеко Л.М., Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Баскевич О.С., Панченко А.В., Тараненко А.О. ЗМІЦНЕННЯ ЕКСПАНДЕРІВ ТРУБОПРОФІЛЬНИХ ПРЕСІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ТРУБ РІДИННОЮ КАРБОНІТРАЦІЄЮ, ISSN 1562-6016. Problems of Atomic Science and Technology. 2025.2(156)
5. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Столбовий В.О., Могиленець М.В., Думенко К.О. Використання хіміко-термічної обробки з метою зміцнення трубного інструменту для виробництва нержавіючих труб, Металургійна і гірничорудна промисловість. 2020. №4, С. 52-7
6. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С. Використання хіміко-термічної обробки для покращення експлуатаційних властивостей трубопресового інструменту // Матеріали Всеукраїнської конференції «Молодь і наука. Практика інноваційного пошуку» Національна металургійна академія України, м. Дніпро, 18 грудня 2019 р. С. 72-76.
7. Бойко І. Г., Бондаренко В.П. Технологія виробництва труб методом гарячого пресування : навчальний посібник. Харків : ХНУРЕ, 2011. 204 с.
8. Гогаєв К.О., Сидорчук О.М., Радченко О.К. Інструментальні штампові сталі для гарячого деформування. Металловедение и термическая обработка металлов. 1995. №8. С. 18-20.
9. Большаков В.І., Береза О.Ю., Харченко В.І. Прикладне матеріалознавство: підручник. Дніпропетровськ РВА « Дніпро-УАІ», 2000.
10. Kryvchuk L., Pinchuk V.L., Khokhlova T.S., Ivanov I.V., Mohylenets M.V., Dumenko K.A., Article title. Journal of Engineering Sciences. THE CARBONITRATION OF THE TOOL FOR THE STAINLESS STEEL PIPES PRESSING. 2020. Vol.7(1). P. 1–5, doi:10.21272/jes.2020.7 (1) e1.
11. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С. Використання хіміко-термічної обробки з метою покращення експлуатаційних властивостей інструмента для пресування нержавіючих труб // XI Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасний рух науки» м. Дніпро. 8-9 жовтня 2020 р., С. 347-353
12. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Пінчук В.Л., Могиленець М.В., Думенко К.О. Спосіб хіміко-термічної обробки трубопресового інструменту з інструментальної сталі: пат. 146692 Україна: МПК С21D 9/22, С23С 8/00; заяв. 16.10.2020 р., опубл. 11.03.2021 р.

13. Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Хохлова Т.С. «Шляхи зміцнення трубопресового інструменту для виробництва корозійностійких труб з метою покращення його експлуатаційних характеристик» // V Международная научно-практическая конференция THEORY AND PRACTICE OF SCIENCE: KEY ASPECTS. Рим. Італія. 7-8 ноября, 2021, С. 349-371
14. Кривчик Л.С., Хохлова Т.С., Дейнеко Л.М., Пінчук В.Л. Сучасні шляхи зміцнення трубного інструменту для виробництва корозійностійких труб» Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference SCIENTIFIC RESEARCH IN XXI CENTURY OTTAWA, CANADA 16-18.07.2022. С. 368-380
15. Козинець І.М. Хіміко-термічна обробка металів та сплавів: навчальний посібник. Львів: ЛНТУ, 2007.
16. Стефановський Ю.В. Технологія термічної обробки металів і сплавів: підручник. К.: Вища школа, 2008. 384 с.

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ В ПРОЦЕСІ ПЕРИТЕКТИКО-ЕВТЕКТИЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ В ЛЕГОВАНИХ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВАХ

*Проф., докт. техн. наук Т.М. Миронова, магістр І.В. Комеристий
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро,
Україна*

Вступ. Властивості високовуглецевих сплавів, до яких належать сталі карбідного класу і білі чавуни, значною мірою визначаються формуванням структури в процесі кристалізації. При вмісті вуглецю більше 2% і менше при легування карбідоутворюючими елементами відбувається евтектична реакція, в результаті якої формується евтектична складова на базі карбідів заліза та карбідів таких елементів, як хром, ванадій, молібден, титан та інших. Наявність у литій структурі таких сплавів значної кількості твердих, але крихких карбідів, зумовлює їхню високу зносостійкість і одночасно викликає знижену ударостійкість і пластичність.

В даний час застосовуються різні способи цілеспрямованого впливу на формування структури сплавів евтектичного типу такі, як легування та модифікування; створення сприятливих термодинамічних умов структуроутворення при кристалізації, обробка тиском і термічна обробка, а також поєднання різних методів. Метою всіх цих методів є подрібнення евтектичних карбідів для більш-менш рівномірного розташування в твердому розчині. Слід зазначити, що тільки високе легування, яке не завжди є економічно доцільним, сприяє формуванню структури з інверсією фаз, що

відповідає принципу Шарпі. [1...3]. При економному легуванні у білих чавунах формуються евтектичні колонії ледебуриту з матричною фазою крихкого цементиту, в якому можуть розчинятися карбідоутворюючі елементи.

Під керівництвом академіка Тарана-Жовніра Ю.М. вченими дніпровського металургійного інституту проведені дослідження впливу карбідоутворюючих елементів на послідовність етапів кристалізації в доевтектичних білих чавунах [4...7]. Встановлено, що в системах сплавів Fe – C – Cr, Fe – C – V, Fe – C – Ti, Fe – C – Cr – V існує чотирьохфазна перитектична рівновага : $рідина + MC (M_7C_3) \leftrightarrow \gamma + M_3C$. При охолодженні цих сплавів відбувається однойменна реакція, в результаті якої утворюється ледеburит, але при незавершеності в структурі залишаються колонії евтектики на базі карбідів хрому, або ванадію, або титану.

Метою даної роботи є вивчення особливостей фазових перетворень і формування структури в чавунах легованих хромом і ванадієм в процесі кристалізації та в твердому стані для використання отриманих результатів при розробці чавунів з покращеним комплексом механічних властивостей.

Матеріали дослідження. Формування первинної структури легованих чавунів вивчали на зразках, склад яких показано в табл.1. Досліджували доевтектичні чавуни з різним вмістом хрому ~ 4,5; 7,0; 9,5% та ванадію ~ 0,5; 1,5; 2,5%.

Таблиця 1 - Хімічний склад досліджуваних сплавів

№ сплава	Вміст елементів, % мас. (решта Fe)					
	C	Cr	V	Si	S	P
1	3.51	9.53	–	0.35	0.02	0.04
2	3.48	9.51	0.50	0.24	0.03	0.04
3	3.39	9.49	0.98	0.30	0.02	0.03
4	2.98	7.05	–	0.33	0.03	0.04
5	2.84	4.56	-	0.34	0.04	0.03
6	2.70	4.52	0.54	0.34	0.03	0.03
7	3.45	4.51	1.52	0.25	0.025	0.02
8	2.99	4.40	1.48	0.59	0.04	0.08
9	2.68	4.51	0.55	0.35	0.05	0.05
10	3.01	0.96	2.55	0.45	0.04	0.06

Для більш достовірного вивчення послідовності кристалізації чавунів, а також впливу ступеня завершеності перитектико-евтектичної реакції на перетворення в евтектичних карбідах після затвердіння, застосовувався метод переривання кристалізації загартуванням з напіврідкого стану [8]. При різкому охолодженні рідина перетворюється в квазіевтектику тонкої морфології, на фоні якої добре видно структурні складові і фази, що сформувалися при відносно повільній кристалізації. Крім цього, у роботі проводили дослідження на експериментальній установці диференціального

термічного аналізу. (ДТА). Об'єктом дослідження служив зразок з чавуну в тиглі, масою 10...15 г.

Мікроструктуру виявляли шляхом різних видів травлення: теплового, хімічного, електролітичного, іонного. Основний вплив приділяли ідентифікації структури карбідних фаз. Так вдалося виявити залишки карбідів хрому в евтектичному цементиті при незавершеній перитектико-евтектичній реакції. Кількісний аналіз структурних складових за допомогою аналізатора зображення "KVANTIMET" (Великобританія). При аналізі за участю оператора первинні вимірювання проводили на зображенні мікроструктури в світловому мікроскопі "АХІОМАТ", використовуючи метод випадкових точок.

Результати досліджень.

В процесі досліджень формування структури при кристалізації сплаву, що містить найбільше хрому (сплав №1, табл.1), на отриманій за допомогою ДТА кривій охолодження (рис. 1) виявлено три перетворення. Перші два реалізуються при температурі 1280°C та 1193°C відповідно. Третє перетворення є нонваріантним і відбувається за температури 1164°C. Швидкість охолодження становила 0,2°/с, наближаючись до швидкості затвердіння злитків у промислових умовах. Відповідно до цих даних та металографічних досліджень зразків (рис. 2), затвердіння яких переривали загартуванням, можна уявити послідовність етапів формування структури чавуну в процесі кристалізації.

Спочатку з рідини утворюються дендрити первинного аустеніту при 1260°C (рис.2а). На другому етапі з'являються ділянки хромистокарбидної евтектики $\gamma+M_7C_3$, кількість яких збільшується зі зниженням температури (рис. 2б). При загартуванні в рідині на початкових стадіях росту видно як віялом ростуть колонії тонкодіференційованої евтектики $\gamma+M_7C_3$, які знаходяться між гілками дендритів первинного аустеніту (рис.2 б).

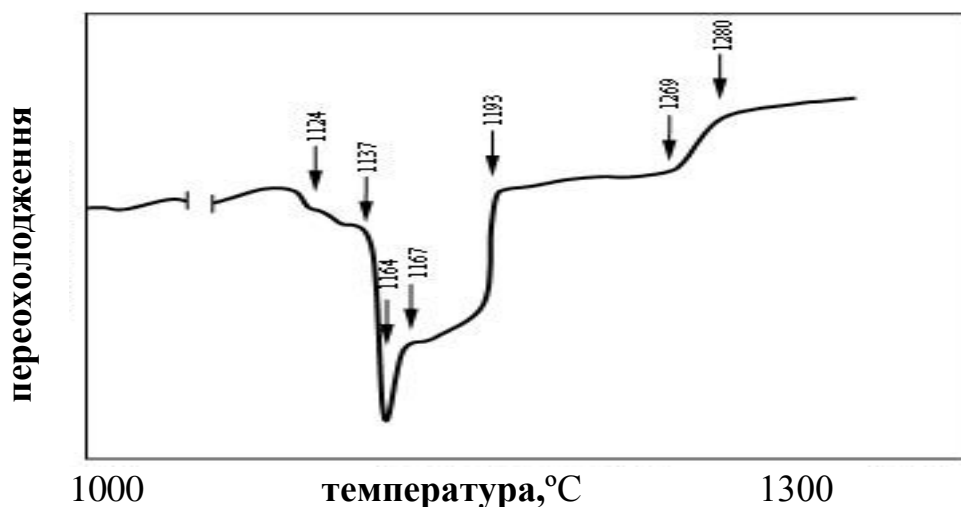


Рисунок 1 - Термограма диференціального термічного аналізу (ДТА) хромистого чавуну № 1 (табл. 1)

При загартуванні на місці контакту евтектичного карбіду з рідиною утворилися ділянки тонкодиференційованої евтектики на базі карбіду M_7C_3 .

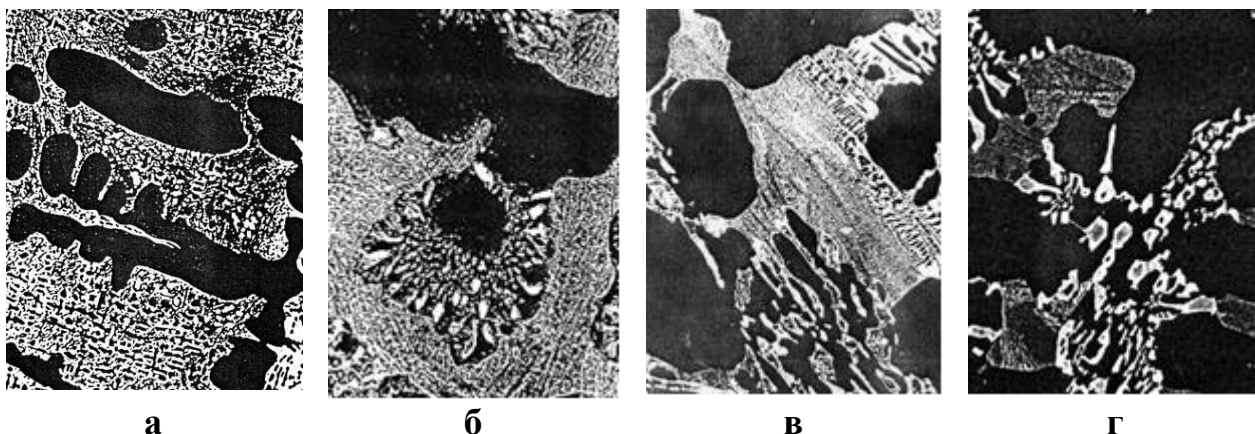


Рисунок 2 - Мікроструктура сплава, що містить 3,51 % С и 9,51%. Сг після загартування від різних температур:

а –1260 °С, ×200; б - 1180 °С, ×800; в –1170 °С, ×400; г –800 °С, ×800

Починаючи з 1170°С у структурі виявляються колонії аустенітно-цементитної евтектики (рис.2в) - перші ділянки евтектики $A+M_3C$ у місцях контакту карбіду M_7C_3 з рідиною. Розташування рідини фіксується утворенням квазіевтектики.

У процесі даних досліджень нонваріантне перетворення фіксувалося у вузькому температурному інтервалі, що може пояснюватися недоліками методики вимірювання температури. Утворення ледебуриту відбувається при підплавленні евтектики $\gamma+M_7C_3$. Карбід хрому розчиняється повільніше аустеніту (він частково зберігається на тлі оплавлення). У місцях, де контакт розплаву з хромистокарбідною евтектикою був відсутній, кристалізація ледебуриту відбувалася за звичайним механізмом. Результати кількісного мікроструктурного аналізу досліджуваних зразків дозволяють засвідчити, що в утворенні ледебуриту бере участь і хромистокарбідна евтектика, поступово розчиняючись у залишку рідини, оскільки об'ємна частка цієї евтектики зі зниженням температури зменшується.

За результатами мікрорентгеноструктурного аналізу спочатку вміст хрому в карбіді M_7C_3 не змінюється, тобто при розчиненні і аустеніту, і карбіду помітної дифузії в самому карбіді не спостерігається. Зіставивши це з результатами мікроструктурного аналізу загартованих зразків, слід зазначити, що найімовірніше, базова пластина евтектичного цементиту з'являється безпосередньо на поверхні карбіду хрому.

Далі колонія ледебуриту проростає в рідину (рис 2г), тобто в процесі подальшого охолодження решта рідини, що залишилася, кристалізується в ледебурит (рис. 3). На периферії ледебуритних і хромистокарбідних колоній, в місцях їх дотику залишки карбідів хрому, що частково розчинилися, оточуються евтектичним цементитом (рис. 3 б), причому склад цього «оболонкового» цементиту дещо відрізняється від складу цементиту безпосередньо в евтектичній колонії. І хоча характер зміни концентрації

хрому в процесі охолодження в обох випадках до 1130°C однаковий, «оболонковий» цементит все ж таки збагачений хромом (рис. 3 а). Враховуючи, що починаючи з температур 1150...1130°C спостерігається тенденція підвищення вмісту хрому в цементитних оболонках, а також збільшення кількості цементиту (Цл), можна зробити висновок, що відбувається перекристалізація карбіду M_7C_3 в карбід M_3C після затвердіння. Цьому передують також зменшення вмісту хрому у його карбіді. Остаточним етапом формування евтектичних колоній є перетворення, подібне до перитектоїдного: $A + M_7C_3 \rightarrow M_3C$.

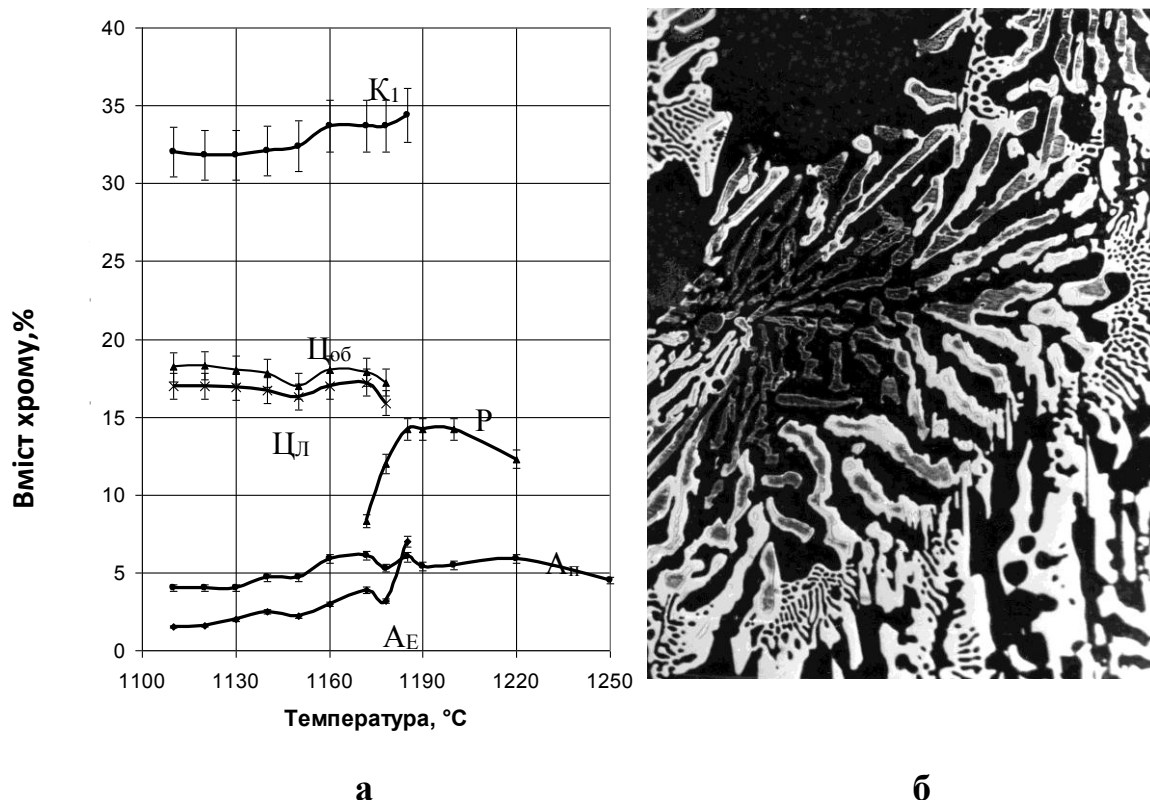


Рисунок 3 – Формування структури хромистого чавуну на останніх етапах кристалізації:

а – зміна вмісту Cr у фазах сплаву з 9,53%Cr та 3,51%С (Цоб – цементит «оболонковий», Ае – аустеніт евтектичний, А1 – аустеніт первинний, Кл – цементит у колонії ледебуриту, К – карбід хрому; б – мікроструктура досліджуваного сплаву після загартування від $T = 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\times 500$

Таким чином, кінцевою структурою доевтектичного білого чавуну в литому стані, що містить до 9,5% за масою хрому, є первинний аустеніт і колонії ледебуриту (рис. 4 а).

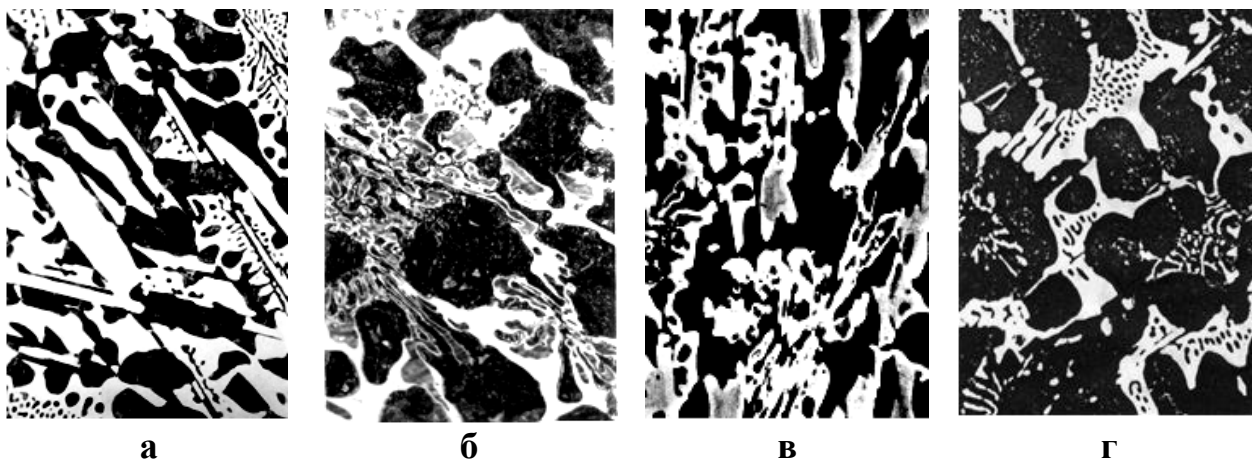
Добавка ванадію, починаючи з 0,5% за масою, призводить до істотних фазових змін. У первинній структурі такого сплаву з'являються ділянки евтектики на базі хромистого карбіду M_7C_3 (рис.4 б). Підвищення вмісту ванадію призводить до збільшення кількості хромистокарбідної евтектики і зменшенню об'ємної частки аустеніто-цементитної евтектики. Це

пояснюється тим, що ванадій, замінюючи частину хрому в карбіді Me_7C_3 , значно знижує швидкість його розчинення, підвищуючи тим самим ступінь незавершеності перитектико-евтектичної реакції.

При зниженні вмісту хрому до 4,5% (сплав №7, табл.1), при легуванні ванадієм понад 1% (швидкість охолодження 1°/с) утворюються евтектичні колонії, що наслідують будову аустеніто-хромистої евтектики (рис.4, в). Проте їх карбідний каркас неоднорідний - внутрішні області утворені карбідом M_7C_3 (сірого кольору), а зовнішні (білі) - M_3C . Такий тип структури свідчить про незавершеність евтектико-перитектичної реакції. Тобто, як і передбачалося, ванадій сприяє зміні положення лінії перитектико-евтектичної рівноваги, при цьому відбувається її переміщення в область менших концентрацій хрому і вуглецю.

При підвищенні вмісту ванадію і зменшенні вмісту хрому до 1% (сплав № 10) у структурі поряд з колоніями ледебуриту (рис.4.г) з'являються колонії тонко розгалуженої евтектики на базі карбиду ванадію.

Як вже зазначалося, сплави систем Fe - C - V і Fe - C - Cr мають подібності, які проявляються в закономірностях формування структури в процесі затвердіння.



а

б

в

г

Рисунок 4 - Мікроструктура Fe-C-Cr:

а – 9,5% Cr (сплав № 1), б – 9,5% Cr и 0,5% V (сплав № 2); в – 4,5% Cr \approx 1,52% V (сплав № 7); г – 0,96% Cr \approx 2,55% V (сплав №10); $\times 400$

Загальним є той факт, що в цих сплавах ледебурит може кристалізуватися з рідини, що з'являється в результаті плавлення евтектики, що раніше утворилася, на базі спеціальних карбідів хрому або ванадію в процесі евтектико-перитектичного перетворення [5,6]. Ступінь завершеності цього перетворення залежить, від швидкості охолодження та легування, як хромом, так і іншими елементами, а саме ванадієм та титаном. Встановлено, що в цих сплавах у процесі подальшої високотемпературної обробки відбувається трансформація в цементит карбиду M_7C_3 , що не розчинився в рідкій фазі при перитектико-евтектичній реакції [9]

Для встановлення впливу швидкості охолодження в процесі кристалізації зразки сплаву №10 охолоджували прискорено 6,5°/с і повільно 0,03°/с (табл.2).

Таблиця 2 - Співвідношення фаз в сплаві №10, що містить 2,55%V і 3,01%С і при різних швидкостях охолодження при кристалізації

Швидкість охолодження, °/с	Об'ємна частка %		
	МС	М ₃ С	аустеніт
6,5	7,16	22,12	81,02
1	3,9	24,25	81,41

Мікроструктурний аналіз показав, що чим повільніше охолодження, тим більш повно відбувається перитектико-евтектичне перетворення. Отже, зміна швидкості охолодження в процесі твердіння впливає на співвідношення двох типів евтектик. Кількість ванадієвокарбідної евтектики після прискореного охолодження, більше ніж в зразках, що охолоджувались повільно (табл. 2).

Слід зазначити, що етапність кристалізації Fe - C - V і Fe - C - Cr сплавів збігається, а саме: на першому етапі при 1280 ... 1250 °С з розплаву виділяються дендрити аустеніту, на другому кристалізується евтектика на базі спецкарбіду (в даному випадку, ванадієвокарбідна евтектика), а на третьому етапі перші кристали цементиту утворюються в місцях контакту карбіду ванадію або хрому з рідиною при розчиненні їх евтектик. І якщо в хромовмісних сплавах утворення кристалів цементиту можливе прямо на поверхні карбідів М₇С₃ і подальше проростання колоній ледебуриту в рідину, то для сплаву з ванадієм на завершальній стадії кристалізації характерним є утворення ледебуриту назустріч евтектичним карбідам VC, що розчиняються (рис. 5 а), і далі їх зростання (рис.5 б).

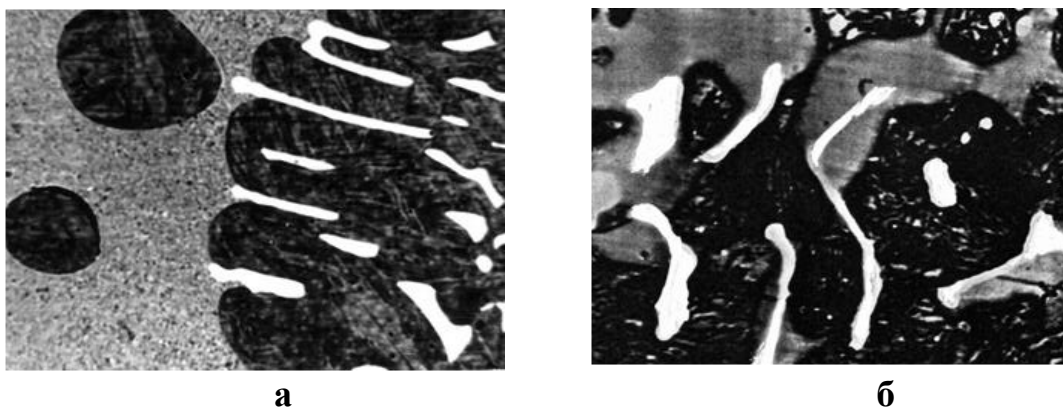
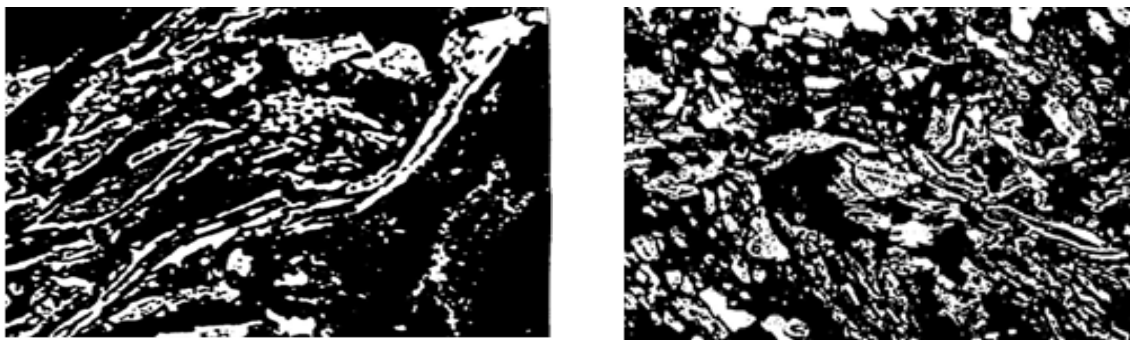


Рисунок 5 – Формування структури Fe-C-V сплаву №10 на останньому етапі кристалізації

Таким чином механізм перитектико-евтектичної реакції полягає у заміні евтектик Ж+(γ+МС) ледебуритом γ+М₃С. У кожній локальній мікроділянці реакція йде у дві стадії. На першій стадії спостерігається процес розчинення

евтектики $\gamma + \text{MC}$, на другій кристалізується ледебурит. В реальних умовах затвердіння перитектико-евтектична реакція має велику міру незавершеності. У системі Fe – C – V ступінь завершеності цієї реакції набагато менше, ніж у системі Fe – C – Cr. Це зумовлено тим, що карбід MC має меншу швидкість розчинення і більше відрізняється за кристалічною структурою та хімічним складом від цементиту, ніж карбід M_7C_3 . Легування хромистого чавуну ванадієм призводить до зменшення ступеня завершеності перитектико-евтектичної реакції. Ванадій заміщує частину хрому в карбіді M_7C_3 , в результаті швидкість його розчинення значно зменшується. У процесі кристалізації чавуну, додатково легуваного ванадієм, при підвищених швидкостях охолодження ступінь незавершеності перитектико-евтектичної реакції настільки велика, що в структурі зберігається евтектика на базі метастабільного карбіду M_7C_3 .

На підставі отриманих результатів було розроблено ряд складів зносостійких чавунів із підвищеною ударною міцністю [7]. Цей ефект досягається за рахунок гальмування перитектико-евтектичної реакції при комплексному легуванні сплаву хромом, ванадієм, кремнієм, марганцем, що забезпечує збереження в структурі евтектики на базі метастабільного карбіду M_7C_3 . Мікротвердість такого карбіду трохи менше, ніж стабільного, але має більш високу пластичність. Це дозволяє таким карбідам не руйнуватися під впливом ударних навантажень, а згинатися і дрібнитися без утворення тріщин (рис.6).



а

б

Рисунок 6 – Деформування метастабільних карбідів M_7C_3 при ударному навантаженні, $\times 1600$ [10]

Висновки.

1. Хром і ванадій мають подібний вплив на послідовність фазових перетворень при кристалізації, а саме в системах Fe–C–Cr і Fe–C–V відбувається перитектико-евтектичне перетворення, заключним етапом якого є утворення ледебуриту з рідини і евтектики на базі карбідів хрому або ванадію відповідно.

2. В чавунах легуваних хромом, при незавершеності перитектико-евтектичного перетворення зберігається в метастабільному стані евтектика на базі карбіду M_7C_3 , що має матричною фазою аустеніт.

3 При збільшенні швидкості охолодження зростає ступінь незавершеності перетворення евтектики на базі спецкарбідів, що виникають на першому етапі реакції. Карбіди хрому, а особливо ванадію, не встигають розчинитися та взаємодіяти з рідиною. Це призводить до того, що в структурі чавуну збільшується частка евтектичних карбідів цих елементів.

4. Збільшення в структурі частки евтектики на базі метастабільного карбіду хрому, в якій матричною фазою є більш пластичний аустеніт, сприяє поліпшенню механічних властивостей чавуну. Причому, метастабільні евтектичні карбіди хрому, що залишилися при незавершеності перитектико-евтектичного перетворення, відрізняються від стабільних карбідів M_7C_3 меншою твердістю і більшою пластичністю, що загалом сприяє підвищенню ударостійкості деталей із таких сплавів.

5. Легування ванадієм сприяє гальмуванню перитектико-евтектичного перетворення, і в структурі чавуну при меншому вмісті хрому зберігається метастабільна евтектика на базі карбіду M_7C_3 , що забезпечує поліпшення механічних властивостей чавуну, крім цього при додаванні 2% ванадію можна зменшити вміст хрому майже в 2...3 рази.

Посилання

1. Vorob'eva E.L., Migachev B.A, Skoblo T.S. Structure of white cast iron and its conformity with the Charpy rule. Metal Science and Heat, Treatment. 1975, 17 (5), p.415-416
2. Ашкелянєць А.В., Миронова Т.М., Губський С.А. Використання ефекту дактилювання для отримання композиційної структури в білих чавунах при обробці тиском. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем». Дніпро. 2021. С.59-61.
3. G.I. Silman. Alloyed White Iron with Composite Structure. Metal Science and Heat Treatment (Springer New York), 2005, V.47, №7-8, p.343-348.
4. Дукельский Ю.М., Снаговский В.М., Лучкин В.С. Диаграмма состояния Fe-C-V и структура ванадиевых чугунов. «Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа»: тезисы докл., Днепропетровск., 1979. С. 35 – 37.
5. Снаговский Л.М., Васильев Э.Я. Механизм перитектико-эвтектической реакции в системах Fe-C-Cr, Fe-C-V и Fe-C-Cr-V. «Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа»: тезисы докл., Днепропетровск., 1986. -С. 165- 166.
6. Таран Ю.Н. Снаговский Л.М., Василев Э.Я. Механизм перитектико-эвтектической реакции в системе Fe-C-Cr. Изв. ВУЗов. Черная металлургия, 1985. - №7, С. 159 – 160.
7. Снаговский Л.М., Василев Э.Я., Сапунов Ю.Н. Использование комплекснолегированных чугунов для изготовления литых мелющих шаров с повышенной эксплуатационной стойкостью. Проблемы

- повышения технического уровня производства черных металлов и сплавов: Тез. докл. ДонНИИЧермет, Донецк. 1987. С.46-49.
8. Калинушкин Е.П. Перитектическая кристаллизация легированных сплавов на основе железа / Е.П. Калинушкин – Днепропетровск: Пороги, 2007. -171 С.
9. Миронова Т. М., Особенности формирования карбидной составляющей в белых чугунах, легированных хромом / Т. М. Миронова, А. В. Давидюк / *Металлургическая и горнорудная промышленность*/ 2017, № 4, с.49-54.
10. Миронова Т. М., Куцова В.З. Структура и свойства деформируемых чугунов. Днепропетровск: Дриант, 2009. -190 с.

MULTIPARAMETRIC MATHEMATICAL MODEL OF THE STATOR OF A POWERFUL ELECTRIC MACHINE

*Senior Researcher, Candidate of Technical Sciences O. Minko
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine*

Introduction

From the general theory of electrical machines it is known that the mathematical model of a separate unit (or element) of an electrical machine (EM) should describe its main functions, in operating or design conditions, and provide basic information about the design of this unit. For example, the mathematical model of the stator winding should contain the rated current, voltage level and cross-sectional area of the current-carrying part. In some cases, it is possible to expand the mathematical model with information about the number of parallel branches in the phase, the thickness of the electrical insulation and the total length of the winding. But this all belongs to the field of classical mathematical apparatus, in the scope of multiparametric mathematical modeling, mathematical models become significantly more complicated and provide more information about physical processes (electromagnetic, electromechanical and heat-ventilation). In addition, the mathematical model may also contain an operational element, when, for example, it is important to specify the thickness of the core winding sleeve in the model, or to obtain information about the type of finning and its material execution, the cooling tube used in the heat exchanger, etc.

Such information, embedded in the mathematical model, complicates its calculation, but qualitatively describes the functional unit of the EM in a new way and provides additional information about its design and its inherent physical processes, which significantly changes the intellectual composition of the model and raises it to a higher level in its design value [1]. That is, such a multiparametric mathematical model allows you to solve several problems at once when designing this unit, for example, to set the limiting current density (A/mm^2) in the conductor

and determine the maximum ability to remove excess heat (°C) from this conductor, under given design conditions.

In order to substantiate the multiparametric mathematical apparatus, we will develop a mathematical model of the stator of a powerful electric machine (turbogenerator), show the logic of its obtaining, and highlight the results achieved through the use of such a mathematical model.

Main material

To obtain a multiparametric mathematical model of the stator, we will specify the necessary conditions:

- we will avoid complex differential and integral expressions as much as possible, where possible, for the purpose of practical use of the mathematical model;
- first, we will compile the multiparametric model in a general form to explain the logic of building the model, and in the next step, using numerical mathematical expressions;
- for a better perception of the mathematical model, we will compile the model in a matrix form.

Let the conditional matrix of the parametric data array have a size of 3×3 , and contain elements $a_{11} \dots a_{33}$, then we will denote the series of quantities dependent on a as a set $b_1 \dots b_m$. Let us assign the name of the matrix – Stator(a), and define six (by the number of columns and matrix term) multiparametric dependencies (criteria) and in Fig. 1 we will obtain a general form of the mathematical model of the stator of the EM in a multiparametric representation [2].

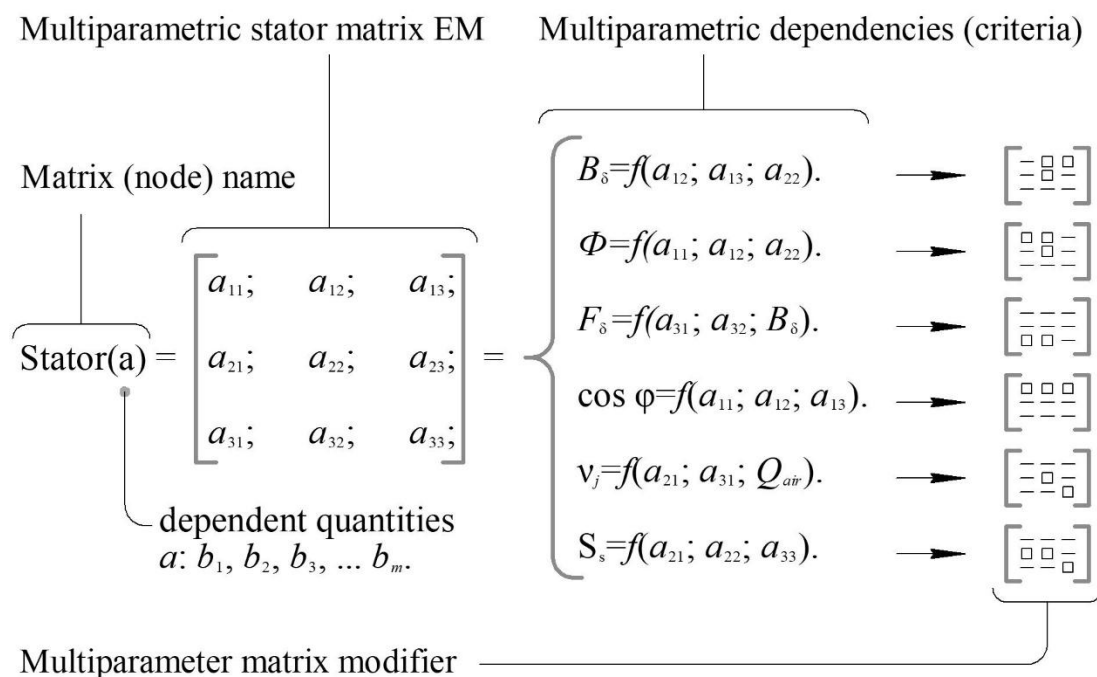


Figure 1 – General view of the mathematical model of the EM stator in a multiparametric representation

Fig. 1 shows the name of the matrix, the array of variables a , a number of dependent secondary variables $b(a)$, parametric design criteria and a multiparametric matrix modifier, which will help organize a Boolean function for programming the mathematical model, during its further calculation.

The purpose of building a multiparametric mathematical model is to obtain functional dependencies of the EM stator, among which the following criteria are proposed to be established:

1. Electromagnetic:

B_δ – value of induction in the air gap, H;

F_δ – value of magnetomotive force in the air gap, A;

2. Electromechanical:

Φ – magnetic flux per pole at nominal voltage level (in this case, with a phase connection scheme in a “star”), Wb;

S_s – cross-sectional area of the stator core, mm²;

3. Heat and ventilation:

v_j – speed of movement of the cooling medium in the radial ventilation channels of the stator core, m/s;

4. Operational (or energy):

$\cos \varphi$ – indicator of active power utilization as part of the total power of the EM, p.o.

These indicators were chosen as those that substantiate the economic, technological and functional feasibility, which should be relied on when designing a competitive electromechanical energy converter of any type [3].

Based on the needs of establishing these dependencies, the composition of the multiparametric matrix is determined, in which we have collected:

a) indicators specified by the project: nominal EM level (U_n), preliminary value of stator winding current (I_n), and desired value of active EM (P_a);

b) indicators inherent in typical electric machines from previous design experience: outer diameter of the stator core (D_a), inner diameter of the stator core (D_1), and depth of the stator core groove (h_{n1});

c) indicators of the first approximation (as generally recommended) of the geometry of the stator core ventilation channels: thickness of the stator core package (b_p), width of the radial ventilation channel of the stator core (b_{r1}), i.e. the distance between the stator core packages, and diameter of the axial ventilation channels of the stator core (d_v).

Having performed mathematical transformation and simplification of mathematical calculations, we obtain a numerical mathematical model (using the example of a stator of a three-phase synchronous turbogenerator), which is shown in Fig. 2, which contains a personalized multiparameterization matrix, dependent values from a-elements that participate in the calculation of functional dependencies, and simple mathematical expressions with which you can establish the values of the above-mentioned design criteria (B_δ , Φ , F_δ , S_s , v_j , $\cos \varphi$).

From Fig. 2 it should be noted that when calculating the magnetomotive force in the air gap (F_δ), the induction index in the air gap (B_δ) is expectedly used,

therefore in general the dependence F_δ takes the following form: $F_\delta = f(a_{31}; a_{32}; a_{13}; a_{22})$. In addition, to calculate the speed of movement of the cooling medium in the radial ventilation channels of the stator core (v_j), the model does not contain data on the volumetric flow rate (Q_{air}) of this medium, and requires additional calculation:

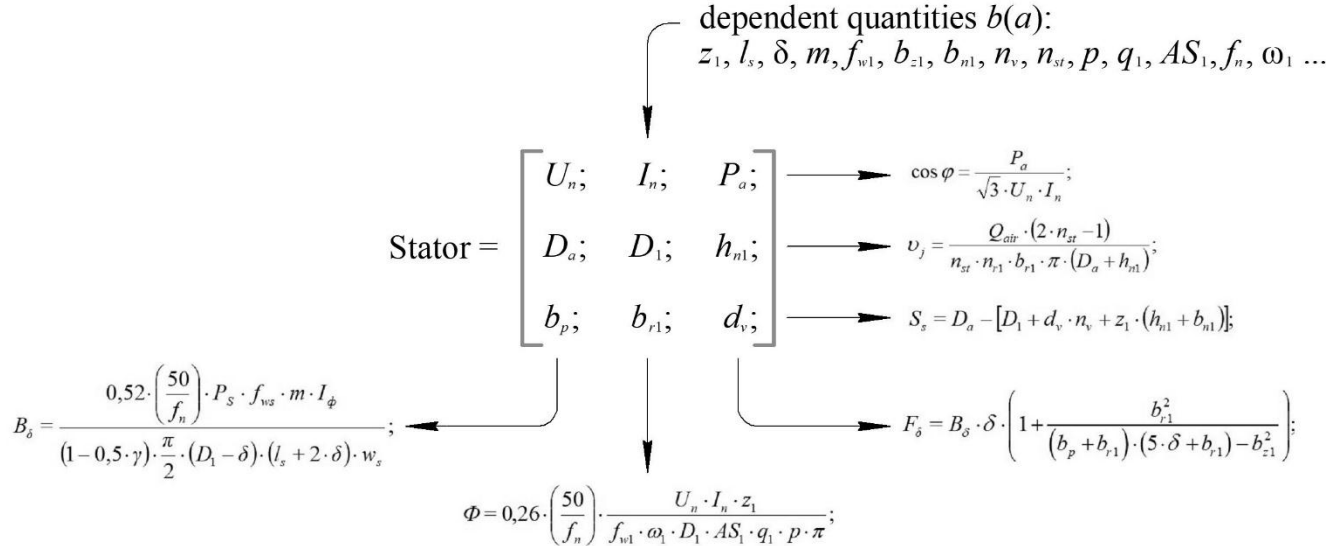


Figure 2 – Multiparametric mathematical model of the turbogenerator stator

$$Q_{air} = \frac{102 \cdot \eta_{fan} \cdot Q_{cool}}{H_{fan} \cdot P_{cool}}; \quad (1)$$

where, Q_{cool} – electrical energy losses for cooling the EM stator, kW; η_{fan} – fan efficiency, %; P_{cool} – hydrogen excess pressure (if provided) under the EM housing, Pa; H_{fan} – pressure that the fan can produce at the maximum temperature in the EM, Pa.

Conclusion

By using the multiparametric stator model (Fig. 2), the following results can be achieved:

- determination of the basic geometry of the stator core segment;
- determination of the basic electromagnetic parameters in the air gap of the EM, which will be used in further modeling of the processes of the magnetic circuit of the entire EM;
- determination of the electromechanical parameters of the stator, which can be used in the development of the housing (inactive) component of the stator, and in calculating the permissible mechanical loads on the EM as a whole;
- clarification of the thickness of the packages and the width of the radial channels of the stator core;
- clarification of the overall dimensions and mass indicators of the EM stator.
- provides information on the utilization factor of the EM active power for its further analysis.

In addition, the use of the obtained results is extremely useful in the overall layout of an electromechanical energy converter, especially one that is in the project and has no close analogue in design or operating mode.

References

1. Degano, M.; Murataliyev, M.; Shuo, W.; Barater, D.; Buticchi, G.; Jara, W.; Bianchi, N.; Galea, M.; Gerada, C. Optimised Design of Permanent Magnet Assisted Synchronous Reluctance Machines for Household Appliances. *IEEE Trans. Energy Convers.* 2021, 36, 3084–3095.
2. Nasiri-Zarandi, R.; Karami-Shahnani, A.; Toulabi, M.S.; Tessarolo, A. Design and Experimental Performance Assessment of an Outer Rotor PM-Assisted SynRM for the Electric Bike Propulsion. *IEEE Trans. Transp. Electrification.* 2023, 9, 727–736.
3. Kang, H.; Wang, J.; Liu, L.; Sun, L.; Li, Z.; Zhou, L. Analysis and Optimization of Unbalanced Magnetic Pull for Eccentric Doubly-Fed Induction Motor. In *Proceedings of the International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Torino, Italy, 1–4 September 2024.

МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Старший дослідник, канд. техн. наук О.М. Мінко

Національний аерокосмічний університет

«Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна

Вступ

Синтез базових елементів потужної електричної машини (наприклад, турбогенератор потужністю від 500 МВт) з використанням мультипараметричного проектування являє собою трудомісткий, але ефективний процес, що дозволяє отримувати (або оптимізувати) кожну складову електричної машини (ЕМ) на основі взаємозв'язаних багатофізичних параметрів, враховуючи електромагнітні, електромеханічні, теплові та конструктивні обмеження. Мультипараметричний синтез полягає не просто в обранні оптимального варіанту для кожного елемента конструкції, а в узгодженні їх у загальній (базовій) моделі ЕМ, та математично це багатокритеріальна задача проектування (оптимізації). Під базовою ЕМ мається на увазі узагальнена електрична машина, яка містить загальні атрибути які дійсні для всіх типів ЕМ загальнопромислового призначення [1].

У проектуванні таких ЕМ зазвичай синтезуються й параметризуються згідно індивідуальних атрибутів такі ключові елементи (див. рис. 1):

Елемент модель	Атрибут	Схематична
Статор	→ геометрія пазів магнітний потік діаметр, довжина	→ короткий циліндр
Ротор	→ пазове ділення струм збудження сполучення з підшипником	→ довгий циліндр
Обмотки	→ щільність струму вентиляційний канал перетин, довжина	→ стрижень
ТО-апарат	→ площа теплообміну коефіцієнт теплообміну перепад температур теплоносіїв	→ паралелепіпед
Корпус	→ надлишковий тиск товщина, форма опорні конструкції	→ кронштейн

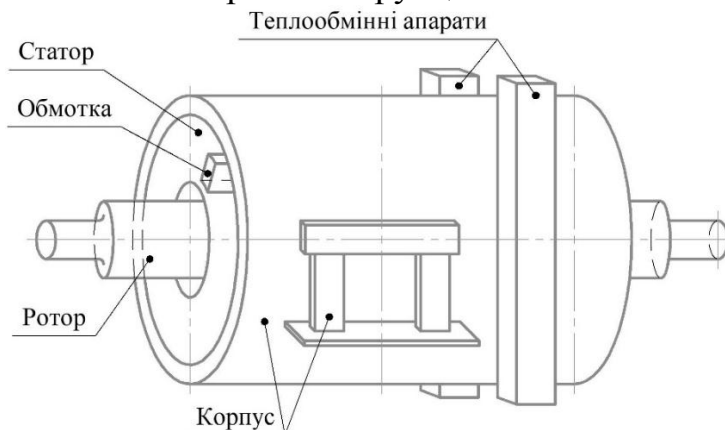


Рисунок 1 – Схематичне зображення загального виду базової ЕМ

Безумовно атрибутів у кожного елемента може бути більше ніж наведено, головне щоб атрибути відображали ті особливості конструкції та особливості процесів (навантажень) в яких знаходиться той, чи інший елемент ЕМ. На рисунку 2 показана схематична модель елементів базової ЕМ для подальшого розрахунку та моделювання.



**Рисунок 2 – Схематичні моделі елементів базової ЕМ
для подальшого моделювання**

Основний матеріал

Як і в класичному проектуванні основою для початкових даних є Технічне завдання на проектування, результати огляду місця установки майбутньої ЕМ та додаткові дослідження щодо режимів використання ЕМ згідно технологічного процесу. Крім того, слід проаналізувати національні та галузеві стандарти на предмет вимог до електричних машин в обсязі галузі використання та країні використання (якщо ЕМ буде використовуватись за кордоном), такі як ДСТУ (Україна), ГОСТ (країни Азії), ISO (стандарти Європейського Союзу), вимоги міжнародної електротехнічної асоціації ІЕС (International Electrotechnical Commission) та стандарти ASME (American Society of Mechanical Engineers) – для американського та ізраїльського ринку збуту [2].

Для мультипараметричного синтезу базової електричної машини ми віділяємо наступні категорії початкових даних:

а) робочі умови (напруга живлення, частота обертання ротору, діапазон навантажень, електромеханічний момент, електрична потужність, температурний режим навколишнього середовища);

б) цільові характеристики (номінальний та піковий крутний момент, коефіцієнт корисної дії, потужність на осі й щільність потужності);

в) матеріальні властивості (магнітна проникність та гістерезис сталі, теплопровідність й питома теплоємність матеріалів, фізичні властивості провідника електричного струму та ізоляції);

г) геометричні вимоги (габарити статора та ротора, висота осі обертання, ширина пазів, товщина стінок, обмеження маси, монтажні та транспортувальні розміри ЕМ);

д) виробничі та економічні вимоги (вартість матеріалів та їх обробки, клас точності технологічних допусків та квалітетів, наявність необхідних виробничих ліній та устаткування);

е) управлінські та експлуатаційні вимоги (тип інвертора та метод керування, максимальні струми та швидкості перемикавання, обмеження щодо шуму й вібрацій).

Аналіз галузевої та міжнародної нормативно-технічної документації [3, 4] дозволив сформулювати широкий діапазон початкових даних для мультипараметричного синтезу різних типів ЕМ (вид. табл. 1).

Границі мультипараметричного синтезу визначимо через формування вихідної множини проектних варіантів системи на основі морфологічного підходу [5, 6]. При проектуванні системи проектні рішення x визначаються варіантами структури системи f з деякої вихідної множини проектних. Як правило, структура системи складається із деяких підсистем (блоків). У цьому випадку для визначення вихідної множини допустимих варіантів системи згідно морфологічного підходу, маємо:

Таблиця 1 – Діапазон початкових даних для мультипараметричного синтезу різних типів ЕМ

Параметр	Показник для різних типів ЕМ:		
	індукційна ЕМ	з постійними магнітами	змінного струму
Кількість полюсних пар, шт.	1 ... 4	2 ... 8	1 ... 12
Діаметр статора, мм	50 ... 500	30 ... 400	100 ... 3000
Ширина пакету осердя статора, мм	10 ... 100	8 ... 80	10 ... 60
Ширина пазу статора, мм	3 ... 20	2 ... 15	5 ... 55
Ширина зубу між пазами, мм	1 ... 5 мм	1 ... 4	4 ... 25
Температурний ліміт обмотки, °С	125 ... 180	120 ... 180	100 ... 180
Частота обертання ротору, об/хв.	750 ... 3000	1000 ... 6000	400 ... 3000

- виявлення переліку основних функцій системи та її декомпозиція на окремі підсистеми за функціональними ознаками $(f_l, l = \overline{1, L})$;
- визначення альтернативних способів реалізації кожної підсистеми та завдання допустимих варіантів їх побудови $F_l = (f_{l1}, f_{l2}, \dots, f_{lk_l})$;
- формування різних варіантів побудови системи в цілому на основі морфологічних класів – безліч варіантів побудови кожної підсистеми, для яких виконуються умови $\Delta(l) = F_l, l = \overline{1, L}, \Delta(l) \cap \Delta(j) = 0$.

За таких умов можемо сформуванати таблицю морфологічних варіантів рішення (табл. 2). Кожен варіант побудови системи, які мають задовільні рішення, визначається різними можливими варіантами підсистем. При формуванні допустимого безлічі варіантів системи повинні враховуватися обмеження на структуру (наприклад, геометричний розмір, або сила струму), параметри і технічну реалізацію окремих підсистем і системи в цілому, а також допустимі комбінації об'єднання окремих варіантів підсистем між собою. Кількість можливих варіантів системи визначається як:

$$Q = \prod_{l=1}^L K_l \quad (1)$$

Таблиця 2 – Морфологічні варіанти рішення задач мультипараметричного проектування електричних машин

Морфологічні класи	Ймовірні способи реалізації рішень підсистеми	Кількість способів реалізації системи
$\Delta(1)$	$f_{11}, f_{12}, f_{13} \dots f_{1k_1}$	K_1
$\Delta(2)$	$f_{21}, f_{22}, f_{23} \dots f_{2k_2}$	K_2
...
$\Delta(l)$	$f_{l1}, f_{l2}, f_{l3} \dots f_{lk_l}$	K_l
...
$\Delta(L)$	$f_{L1}, f_{L2}, f_{L3} \dots f_{Lk_L}$	K_L

Стосовно табл. 2 та виразу 1 слід зауважити, що з одного боку, бажано розглядати всі можливі допустимі варіанти підсистем, але з іншого боку, можуть існувати певні обмеження на обсяг вихідної множини варіантів системи, які задаються часом або вартістю проектування системи. В кожному окремому випадку розумні границі мультипараметричного проектування слід встановлювати або доцільністю в комплексному дослідженні проектною задачі, що вирішує інженер-розробник, або економічною складовою проекту.

На початку проектування будь-яких типів ЕМ, виконується «збір масиву даних» який необхідний для попереднього визначення напрямку проектування та початкових проектних кроків. Пропонується такий масив формувати за допомогою табличної мультипараметризації. Обґрунтуємо логіку отримання мультипараметричної таблиці та наведемо приклади табличної мультипараметризації для різних типів електричних машин: трансформатор, електричний двигун, та турбогенератор. Оскільки таблична мультипараметризація це побудова структурованого набору комбінацій ключових параметрів та ознак конструкції електричної машини, то такий масив даних дозволяє [7]:

- одразу порівнювати варіанти атрибутів ЕМ за її основними характеристиками;
- виконувати швидкий попередній відбір та аналіз в межах серійного ряду ЕМ;
- створювати вхідні дані для подальшої оптимізації або покращення окремо взятих показників ЕМ.

Процес та логіка формування табличної мультипараметризації наведено на рисунку 3, які складаються із трьох інформаційних блоків – «Загальні атрибути ЕМ», «Показники, які задані проектом» та блок «Результати проекту».

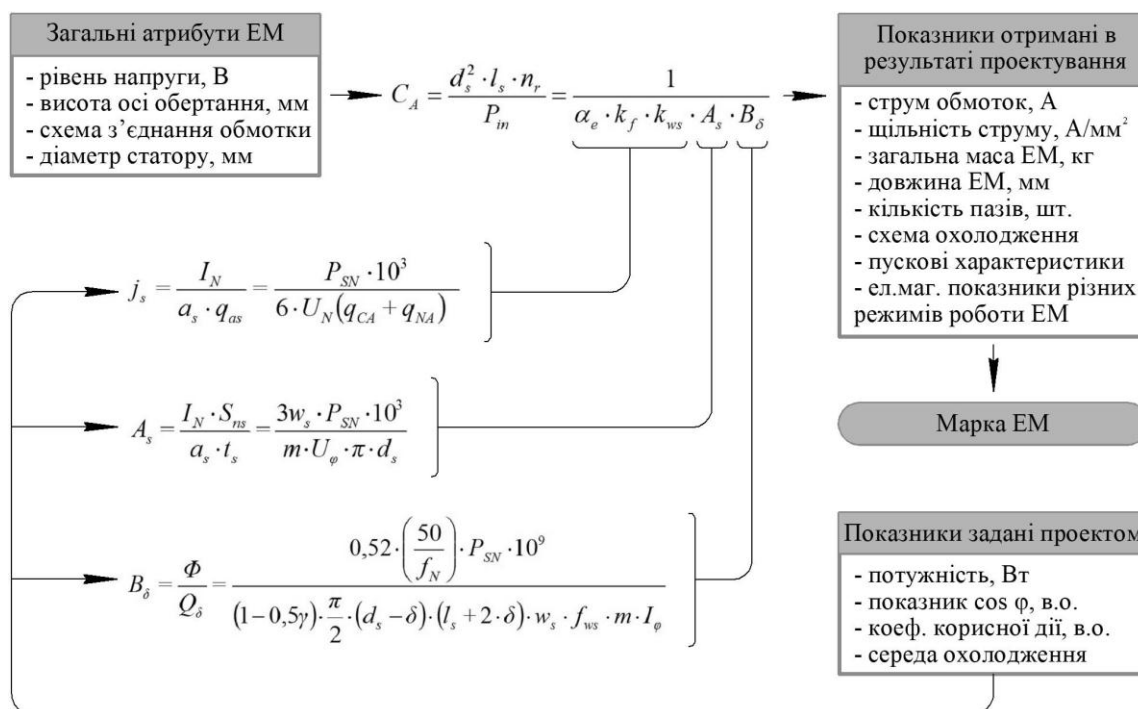


Рисунок 3 – Формування табличної мультипараметризації проектних рішень, на прикладі трифазного синхронного турбогенератору

Збір масиву даних для нового проекту виконується наступним чином. Блок «Загальні атрибути ЕМ» виконують обмеження головним чином за принципом *призначення машини та її первинне уявлення*, цей блок інформації дозволяє сконцентрувати яка ЕМ нам потрібна в першому наближенні: індукційна машина, машина постійного струму чи змінного, трансформатор току чи напруги, тощо. Цей крок робиться на основі загальних атрибутів електромеханічного перетворювача енергії та загальній теорії електричних машин (машина стала Арнольда (C_A) чудово ілюструє цей крок). Другий крок відбувається за рахунок вводу додаткових змінних, які мають багатозначний характер процесів (в нашому прикладі це j_s , A_s та B_δ , але можуть бути і інші критерії), головне щоб вони мали прямий зв'язок із загальними атрибутами ЕМ, або виходили з них. Поява додаткових змінних регламентується вимогами технічного завдання на проектування та вимогами галузевих стандартів та норм, найчастіше це техніко-економічні показники ЕМ такі як коефіцієнт корисної дії, встановлена електрична потужність на інші. Після виконання розрахунку всіх додаткових показників блок «Показники отримані в результаті проектування» завершує формування таблиці мультипараметризації, результатом цього ми маємо марку ЕМ, яка наближена до проектних вимог та може бути прийнята як базова модель ЕМ перед початком проектних робіт. Кінцевою частиною є «Марка ЕМ», яка обирається з таблиці мультипараметризації, приклади таких таблиць для різних електромеханічних перетворювачів енергії наведено нижче (табл. 3, табл. 4, та табл. 4).

Таблиця 3 – Таблична мультипараметризація для різних типів трансформаторів

№	Марка трансформатора	Тип охолодження	Потужність кВА	Напруга ВН/НН кВ	Втрати холостого ходу Вт	Втрати КЗ, Вт	Струм х. ходу %	Повна маса ,кг
1	ТМГ-100/10	Масляне	100	10/0.4	305	2200	2.2	625
2	ТМГ-250/10	Масляне	250	10/0.4	560	4200	1.9	1118
3	ТМГ-400/10	Масляне	400	10/0.4	830	6200	1.1	1630
4	ТМГ-630/10	Масляне	630	10/0.4	1050	8500	1.0	2420
5	ТМГ-1000/10	Масляне	1000	10/0.4	1550	10800	0.9	3020
6	ТМЗГ-160/10	Газове	160	10/0.4	460	3100	2.0	900
7	ТМЗГ-250/10	Газове	250	10/0.4	560	4200	1.9	1100
8	ТМЗГ-400/10	Газове	400	10/0.4	830	6200	1.1	1600
9	ТМЗГ-630/10	Газове	630	10/0.4	1050	8500	1.0	2400
10	ТМЗГ-1000/10	Газове	1000	10/0.4	1550	10800	0.9	3000
11	ТСЗ-160/10	Повітряне	160	10/0.4	480	3200	2.1	850
12	ТСЗ-250/10	Повітряне	250	10/0.4	570	4300	1.8	1050
13	ТСЗ-400/10	Повітряне	400	10/0.4	850	6300	1.0	1550
14	ТСЗ-630/10	Повітряне	630	10/0.4	1070	8600	0.9	2350
15	ТСЗ-1000/10	Повітряне	1000	10/0.4	1570	11000	0.8	2950

Таблиця 4 – Таблична мультипараметризація для різних типів електричних двигунів

№	Марка	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертання об/хв	ККД %	cos φ	Струм, А	Маса кг
1	СДН-1000/6	1000	6000	1000	96.5	0.95	110	4200
2	СДК-500/6	500	6000	1000	96.0	0.94	56	2800
3	СДМ-250/4	250	380	1500	94.5	0.92	460	950
4	СТД-100/4	100	380	1500	93.0	0.90	180	520
5	ТДС-50/4	50	380	1500	91.5	0.88	95	320
6	АІР-132М4	7.5	380	1500	88.0	0.85	15.5	65
7	АІР-160М4	11	380	1500	89.0	0.86	22.5	95
8	АІР-180М6	15	380	1000	90.0	0.87	30.2	120
9	4А160S4	11	380	1500	89.5	0.86	23.0	100
10	4АМ160М6	15	380	1000	90.5	0.88	31.0	130

Таблиця 5 – Таблична мультипараметризація для різних типів турбогенераторів

№	Марка генератора	Тип охолодження	Потужність, МВт	Напруга, кВ	Частота обертання об/хв	ККД, %	Система збудження	Маса, т
1	Т-12-2У3	Повітряне	12	6.3	3000	96.5	Безщіткова	43
2	Т-35-2У3	Повітряне	35	10.5	3000	97.0	Статична	65
3	ТА-120-2У3	Повітряне	120	15.75	3000	97.5	Статична	270
4	ТА-160-2У3	Повітряне	160	15.75	3000	97.8	Безщіткова	300
5	ТА-200-2У3	Повітряне	200	15.75	3000	98.0	Статична	285
6	ТГВ-200-2	Водневе	200	15.75	3000	98.6	Статична	320
7	ТГВ-235-2	Водневе	235	15.75	3000	98.7	Статична	330
8	ТГВ-250-2	Водневе/вода	250	16.5	3000	98.7	Безщіткова	345
9	ТГВ-300-2	Водневе/вода	300	20.0	3000	98.8	Статична	370

Згідно таблиць зазначених вище можна достатньо ефективно та швидко підібрати електромеханічний перетворювач енергії, наприклад за критерієм системи охолодження (виділено в таблицях кольором), або за рівнем напруги чи електричної потужності. Використовуючи програмування в межах табличної мультипараметризації можна розширити функціонал підбору інженерних та конструкторських рішень – додати гіперпосилання на кожен модель ЕМ яка надає більш детальну інформацію про розрахунки та креслення ЕМ, яка вже була виготовлена в виробництві або на яку вже виконано проект.

Висновок

Запропонована таблична мультипараметризація має наступні переваги:

- швидке порівняння конструкцій ЕМ при початковому техніко-економічному обґрунтуванні;
- створення навігаторів і каталогів для індивідуальних та серійних розробок;
- підготовка вхідних даних для алгоритмів оптимізації та виконання етапів проекту.

Посилання

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навчальний посібник/ За ред. М.Г.Поповича. – К.: Либідь, 2005. – 672 с
2. ДСТУ EN 60034-1:2016 Машини електрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные и рабочие характеристики (EN 60034-1:2010; EN 60034-1:2010/AC:2010, IDT).
3. Omelchenko E.Y., Telezhkin O.A., Enin S.S., Tanich V.O. Computer Model of a Synchronized Asynchronous Motor. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 129, pp. 629-634. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.082>.
4. Електричні машини і трансформатори: навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. д-ра техн. наук, професора. В. І. Мілих. — Київ: Каравела, 2018. – 452 с.
5. Минко А.Н. Математическая модель полипараметрического проектирования трехфазного синхронного турбогенератора. – XII Міжнародна конференція молодих вчених «Молоді вчені 2021– від теорії до практики». – Днепр. – 2021. – С. 160-164
6. Многокритериальный анализ и выбор средств телекоммуникаций: монография / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва, Ю.В. Скорик. – Харьков: компания СМІТ, 2017. – 268 с. ISBN 978-617-621-006-1
7. Malyar, V. S., Namola, O. Y., Maday, V. S., & Vasylchyshyn, I. I. (2022). Mathematical modeling of rheostat-reactor start of wound-rotor induction motors. *Electrical Engineering & Electromechanics*, (3), 8–14. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2022.3.02>

ПРИНЦИП ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ПРИ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧНОМУ ПРОЕКТУВАННІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

*Старший дослідник, канд. техн. наук О.М. Мінко
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна*

Вступ

Фундаментальні принципи мультипараметричного проектування електромеханічних перетворювачів енергії базуються на комплексному аналізі, зборі досвіду проектування, синтезі задач моделювання, та оптимізації параметрів електричних машин для досягнення максимальної ефективності та надійності. Цей підхід дозволяє враховувати взаємозв'язок електромагнітних, механічних, теплових та конструктивних характеристик електричної машини яка знаходиться в розробці, або на шляху модернізації.

Згідно з сучасними науково-дослідницькими на методологічними результатами теорії проектування електромеханічних перетворювачів енергії та загальної теорії електротехніки слід визначити наступні принципи мультипараметричного проектування [1, 2]:

- принцип системності (системний підхід проектування);
- принцип цілісності;
- принцип ієрархічності;
- принцип взаємозв'язку (однорідності);
- принцип адаптивності;
- принцип оптимізації.

Крім того, слід зазначити що принципи мультипараметричного проектування ефективно застосовується не тільки в машинобудівельній галузі, а і в енергетичному секторі проектування, наприклад для проектування електричних апаратів (визначення робочих режимів, електромагнітних навантажень, моделювання селективності, тощо), проектування окремих частин електричних станцій (визначення параметрів спільної роботи «генератор-турбіна») та моделювання процесів передачі електричної енергії в електричній мережі (прогнозування навантажень та коливань пікових навантажень в мережі). В дійсній роботі розглянемо принцип взаємозв'язку (однорідності).

Основний матеріал

Принцип взаємозв'язку при проектуванні будь-якого електромеханічного перетворювача енергії, в обсязі мультипараметричного проектування, передбачає, що всі компоненти проекту повинні бути узгоджені між собою для подальшого використання електричної машини за призначенням. Принцип взаємозв'язку розповсюджується на електричні, механічні, магнітні, теплові та вібраційні процеси перетворювача енергії, які мають бути гармонійно пов'язані. Традиційно основними ознаками принципу взаємозв'язку мають бути [3]:

- багатозв'язкова взаємодія: електромагнітні поля та процеси впливають на механічний рух та характер обертання ротора, в той же час в зворотному напрямку механічні процеси мають вплив на показники електромагнітного навантаження на електричну машину;

- сумісність параметрів: електричні показники (напруга, струм, електрична провідність, тощо), механічні показники (механічний момент, швидкість, кут прискорення, тощо), магнітні показники (індукція, потік, напрямлення потоку, тощо), теплові показники (температура міді, осердя, ізоляції та температура охолоджуючої середовища – повітря, водню, води, мастила) повинні бути узгоджені між собою та результатом цієї узгодженості є отримання ефективної конструкції електричної машини;

- наявність динамічних рівнянь, які описують взаємозв'язок між вищевказаними параметрами, що дозволяють моделювати поведінку системи перетворення різних видів енергії.

На рисунку 1 показано принцип взаємозв'язку (однорідності) при проектуванні електромеханічних перетворювачів енергії (на прикладі трифазного синхронного турбогенератора), який пропонується використовувати при реалізації мультипараметричного проектування.

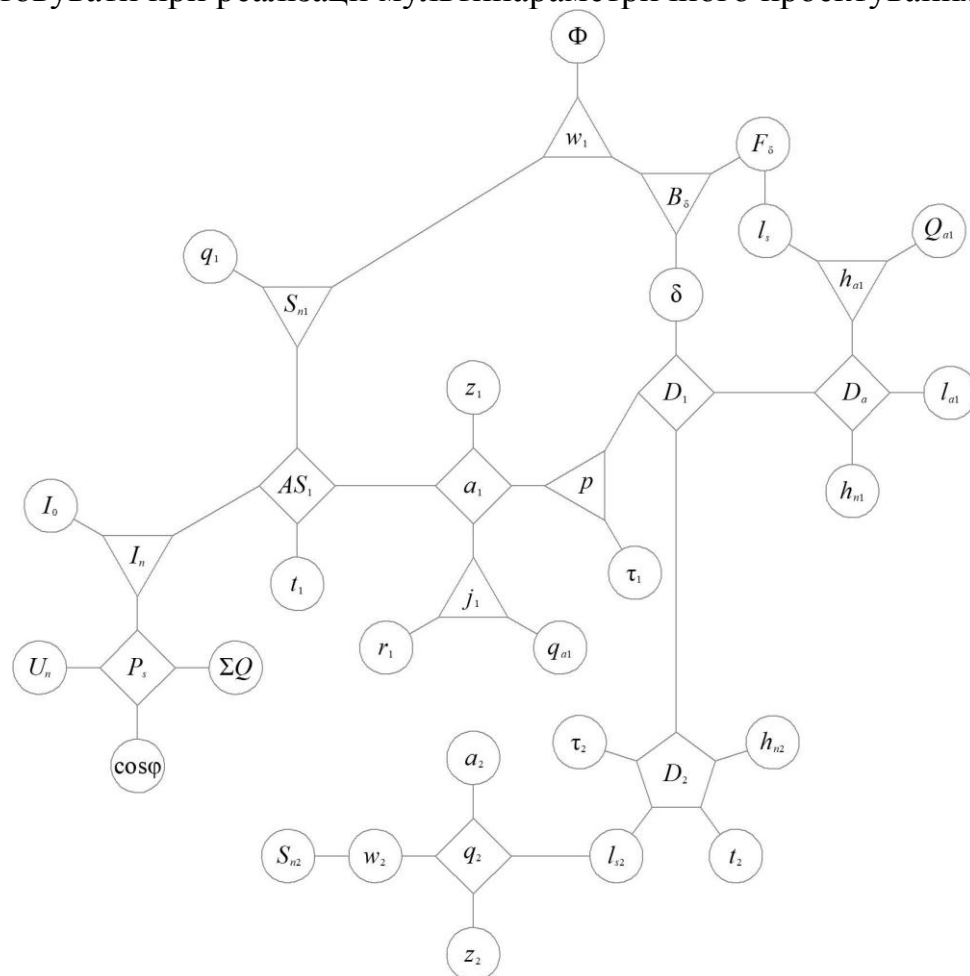


Рисунок 1 – Принцип взаємозв'язку (однорідності) для проектування електромеханічних перетворювачів енергії (синхронного турбогенератора)

Рис. 1 містить наступні пояснення [4]: P_s – повна потужність електричної машини, Вт; U_n – номінальна напруга електричної машини, В; I_n – номінальний струм електричної машини, А; $\cos \varphi$ – коефіцієнт використання потужності, о.е.; ΣQ – сума втрат електричної потужності, Вт; I_0 – струм електричної машини без навантаження, А; AS_1 – лінійне навантаження електричної машини, А/мм; t_1 – зубцевий розподіл статора, в.о.; S_{n1} – кількість ефективних провідників в пазу статора, шт.; q_1 – кількість пазів статора на полюс та фазу, шт.; w_1 – кількість послідовних витків у фазі обмотки статора, шт.; a_1 – кількість паралельних гілок в фазі обмотки статора, шт.; z_1 – кількість пазів статора, шт.; j_1 – щільність струму обмотки статора, А/мм²; r_1 – електричний опір фази обмотки статора, Ом; q_{a1} – площа міді поперечного перетину ефективного провідника обмотки статора, мм²; p – кількість пар полюсів електричної машини, шт.; τ_1 – полюсний розподіл

осердя статора, мм; D_1 – внутрішній діаметр осердя статора (розточки), мм; δ – «повітряний зазор» між внутрішнім діаметром осердя статора та зовнішнім діаметром ротора, мм; B_δ – електромагнітна індукція у «повітряному зазорі», Тл; Φ – магнітний потік на полюс статора, Вб; F_δ – магніторушійна сила, А; l_s – довжина осердя статора, мм; h_{a1} – висота «ярма» осердя статора, мм; Q_{a1} – площа перетину «ярма» осердя статора, мм²; D_a – зовнішній діаметр осердя статора, мм; l_{a1} – розрахункова довжина магнітних ліній у «ярмі» осердя статора, мм; h_{n1} – висота паза осердя статора, мм; D_2 – зовнішній діаметр валу ротору (бочки), мм; h_{n2} – глибина паза ротора, мм; t_2 – зубцевий розподіл ротора, в.о.; τ_2 – полюсний розподіл ротора, мм; l_{s2} – довжина лобової частини обмотки ротора, мм; q_2 – кількість котушок ротора на полюс, шт.; a_2 – кількість паралельних гілок обмотці ротора, шт.; z_2 – кількість пазів ротора, шт.; w_1 – кількість витків на полюс паралельній гільці обмотки ротора, шт.; S_{n2} – кількість ефективних провідників в котушці обмотки ротора, шт.

Згідно принципу взаємозв'язку та рисунку 1 функціональний взаємозв'язок між, наприклад показниками номінального струму електричної машини та внутрішнім діаметром осердя статора цієї машини складає [5]:

$$\begin{cases} I_n = f(AS_1; a_1; p), \\ D_1 = f(AS_1; S_{n1}; w_1; B_\delta; \delta). \end{cases} \quad (1)$$

Таким чином можливо зв'язати та узгодити між собою всі показники електричної машини на будь-якому етапі проектування, і оскільки кількість змінних у функції (1) декілька штук (більш за одну у кожній строчці виразу), то доцільно вирішувати таку систему рівнянь в межах мультипараметричного проектування електромеханічних перетворювачів енергії.

Висновок

Сформульовано принципи мультипараметричного проектування електромеханічних перетворювачів енергії на основі загальновідомих засадах параметричного та класичного моделювання, який забезпечує однорідність виконання проектного рішення, та позбавлений такого недоліку традиційного проектування, як наявність ітераційних операцій (підбору) між окремими показниками конструкції електричної машини, який ускладнює взаємозв'язок між вхідними та вихідними параметрами в процесі реалізації проектних етапів робіт.

Посилання

1. Jayarama P. Reddy, Principles of Energy Storage Systems. – Bsp Books. – 2023. – 664 p. SBN-13: 978-9395038072
2. Мінко О.М. Проектування електромеханічних перетворювачів енергії за допомогою параметризації. – Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс]: матеріали Міжнар. наук.-практ.

конф., 6 листопада 2024 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2024. – 149-150 с. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiyi/>

3. Shevchenko V.V., Minko O.M., Stoychev V.T. Proposals for the Multiparametric Design Application in Electrical Mechanical Engineering / Problemele Energeticii Regionale. 2024. No. 4(64). Pp. 135-149. URL: https://journal.ie.asm.md/assets/files/12_04_64_2024.pdf

4. Зозулін Ю.В., Антонов О.Є., Бичік В.М., Боричевський А.М. та ін. Створення нових типів та модернізація діючих турбогенераторів для теплових електричних станцій. Харків: ПФ «Колегіум», 2011. – 228 с.

5. Hannon, B., Sergeant, P., Dupré, L., Pfister P.D. Two-Dimensional Fourier-Based Modeling of Electric Machines. An Overview. IEEE Transactions on Magnetics, 2019, vol. 55, issue 10, pp. 1–8. doi: 10.1109/TMAG.2019.2923544.

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАВУГЛЕЦЮВАННЯ ЗАЛІЗА ТВЕРДИМ ВУГЛЕЦЕМ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ З ВІЮСТИТУ

*Доцент, канд. техн. наук С.П. Пантейков,
аспірант А.А. Романенко, аспірант Я.І. Бондаренко*

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

Відомо, що залізо відновлюється з його оксидів (залізородних матеріалів) поступово – через послідовне відщеплення кисню від кожного оксиду – початкового та проміжних (утворюються в процесі відновлення заліза). Відновлене залізо завжди піддається навуглецюванню до стану чавуну, причому вважається, що цей процес відбувається внаслідок взаємодії заліза як з газом СО, так і з твердим вуглецем вугілля (коксу). Деякі наукові положення з цього питання містяться в літературі та на різних інтернет-ресурсах.

Отримання чистого (безвуглецевого) або маловуглецевого заліза (сталі) як кінцевого продукту неможливе через неминучість навуглецювання відновленого заліза у відновних печах. Зважаючи на це, особливу актуальність набувають питання термодинамічного аналізу процесів навуглецювання заліза під час його відновлення з віюститу завдяки взаємодії останнього з СО і С. Термодинамічні дослідження умов перебігу хімічних реакцій навуглецювання відновленого заліза за участю газу СО та твердого вуглецю (С) дозволять краще зрозуміти процес прямого відновлення заліза із залізородної сировини з його подальшим навуглецюванням в металургійних печах. Це сприятиме створенню істинної фізико-хімічної моделі процесу відновлення заліза, що є необхідним для теоретичного обґрунтування та

промислового розвитку інноваційних технологій одностадійного отримання рідкої сталі замість рідкого чавуну (або його гранульованого аналога) у печах безпосередньо із залізовмісної сировини. Це дозволить спростити і значно здешевити технологічний цикл отримання рідкої сталі шляхом виключення з нього проміжної стадії отримання переробного чавуну і працювати за технологією відновлення заліза в одному агрегаті [1], яка в минулому була реалізована в сиродутних печах, але досі так і не відтворена в сучасних відновних агрегатах, незважаючи на наявність у світовій металургії різноманітних технологій прямого відновлення заліза, які за своєю суттю є альтернативою доменного процесу отримання чавуну.

Результати термодинамічного аналізу, проведеного за допомогою отриманих (власних) виразів [1] для обчислення вільної енергії Гіббса в хімічних реакціях непрямого відновлення заліза з вюститу та науглецювання заліза газом CO, дозволили встановити, що процес науглецювання відновленого заліза за допомогою CO (поряд з неможливістю відновлення заліза з вюститу газом CO понад 765°C [2, 3], що було встановлено раніше за даними як з літератури [4], так і власних досліджень [5-7]) термодинамічно не відбувається, або ступінь науглецювання заліза є надзвичайно малим. Це узгоджується з даними деяких наукових джерел. На підставі цього зроблено попередній висновок [8] (який вимагав подальшої перевірки) про можливість науглецювання відновленого Fe з FeO виключно за рахунок твердого вуглецю.

Тому був проведений термодинамічний аналіз за допомогою отриманих (власних) виразів шляхом розрахунку вільної енергії Гіббса для хімічних реакцій прямого відновлення з вюститу заліза та його науглецювання твердим вуглецем [9], який дозволив встановити, що науглецювання заліза твердим вуглецем термодинамічно можливе при температурах, значення яких вищі за 1123°C (поряд з можливістю відновлення заліза з вюститу безпосередньо твердим вуглецем при термодинамічних температурах вищих за певне значення температури, що за літературними даними знаходиться в інтервалі 580–776°C [10], а за результатами власних термодинамічних досліджень склало 703°C [11]).

Висновок. Таким чином, із значною долею вірогідності можна стверджувати, що при відновленні заліза з вюститу науглецювання першого у доменних печах відбувається виключно за рахунок твердого вуглецю (як і відновлення заліза з FeO), причому науглецювання є невід'ємною частиною останньої стадії відновлення заліза (тобто не $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$, а $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$), адже воно виходить тільки у науглецьованому стані (тобто як чавун).

Посилання

1. Panteikov S.P. Thermodynamic analysis of flow conditions of the solid–phase process of iron carburization CO gas at indirect reduction from wustite // “The modern vector of the development of science”: Proceedings of the I-st International Scientific and

- Practical Conference. Philadelphia, USA. November 17–18, 2022. Pp. 52–58. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7341840>.
2. Пантейков С.П. Розрахунок температур перебігу хімічних реакцій процесу ступінчастого відновлення заліза з гематиту газом СО і газифікації твердого вуглецю за існуючими формулами і за стандартними значеннями ентальпії та ентропії речовин // *Збірник наукових праць ДДТУ: (технічні науки)*. Кам'янське: ДДТУ, 2021. Випуск 2 (39). С. 16–26. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.39.2021.2>.
 3. Пантейков С.П. Розрахунок температур перебігу хімічних реакцій процесу ступінчастого відновлення заліза з гематиту газом СО і газифікації твердого вуглецю за мірами хімічної спорідненості речовин до кисню // *International Science Journal of Engineering & Agriculture (Poland)*. Volume 1, Issue 2, June 2022. Pp. 1–8. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20220102.1>.
 4. Пантейков С.П. Романенко А.А., Осташко О.М. Термодинамічний аналіз умов перебігу хімічних реакцій ступінчастого відновлення заліза з гематиту газом СО і газифікації твердого вуглецю за літературними даними // Матеріали XV Всеукраїнської конференції молодих вчених «Молоді вчені 2025 – від теорії до практики», м. Дніпро, 20 березня 2025 р. – Дніпро: Журфонд, 2025. – С. 115–120. URL: https://drive.google.com/file/d/1PtwIvWScZl130O8Oxg_hRIZFJVSprqIG/view.
 5. Пантейков С.П. Про можливість відновлення вюститу монооксидом вуглецю // *Monografia pokonferencyjna “SCIENCE, RESEARCH, DEVELOPMENT #31. TECHNICS AND TECHNOLOGY”* (Rotterdam (NL), 30.07.2020-31.07.2020). – Warszawa: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2020. – Str. 8-11.
 6. Пантейков С.П. Визначення температур перебігу реакцій відновлення заліза з гематиту газом СО та газифікації твердого вуглецю за стандартними значеннями ентальпії та ентропії // “Modern aspects of science and practice”: Abstracts of the XI-th International Scientific and Practical Conference, November 30 – December 03, 2021, Melbourne, Australia. – Pp. 558-564. <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.II.XI>.
 7. Пантейков С.П. Визначення температур перебігу реакцій відновлення заліза з гематиту газом СО та газифікації твердого вуглецю за ступенем хімічної спорідненості речовин до кисню // “Perspectives of development of science and practice”: Abstracts of the XIII-th International Scientific and Practical Conference, December 14–17, 2021, Prague, Czech Republic. – Pp. 596-605. <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.II.XIII>.
 8. Пантейков С.П. Термодинамічний аналіз умов перебігу хімічних реакцій навуглецювання заліза газом СО при відновленні з вюститу // *Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. Серія: Технічні науки*. Дніпро: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2024. Вип. 49, том 1. С. 175–183. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.49.1.2024.321243>.
 9. Panteikov S.P. Thermodynamic analysis of flow conditions of the solid–phase process of iron carburization carbon in direct reduction from wustite // “Current questions of modern science”: Proceedings of the I-st International Scientific and Practical Conference. Tallinn, Estonia. November 24–25, 2022. Pp. 87-94. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7371359>.
 10. Пантейков С.П., Осташко О.М., Романенко А.А. Аналіз термодинамічних умов перебігу хімічних реакцій відновлення заліза з гематиту твердим вуглецем за літературними даними // Тези доповіді XIV Всеукраїнської конференції молодих

вчених «Молоді вчені 2024 – від теорії до практики», м.Дніпро, 21 березня 2024 р. – С. 61–65. URL: https://drive.google.com/file/d/14IDC5TSRmvmWkiQXhyB_PG5VYSu1BZzX/view.

11. Пантейков С.П. Визначення температур перебігу реакцій відновлення заліза з гематиту твердим вуглецем за рівнем хімічної спорідненості речовин до кисню // “Advancing in research, practice and education”: Proceedings of the XVIII-th International Scientific and Practical Conference, May 10–13, 2022, Florence, Italy. Pp. 634–644. <https://doi.org/10.46299/ISG.2022.1.18>.
12. Пантейков С.П., Романенко А.А., Бондаренко Я.І. Розробка металургійного агрегату прямого відновлення заліза для отримання рідкої сталі // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Розвиток промисловості та суспільства” (28-30 травня 2025 року, м. Кривий Ріг). – Кривий Ріг, КНУ, 2025. – С. 59. URL: https://www.knu.edu.ua/storage/files/2/Наука/Конференції/Конференції_2025/rozvytok2025/Тези%20доповідей%20на%20конференції%20-%202025.pdf

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАВУГЛЕЦЮВАННЯ МАРГАНЦЮ ТВЕРДИМ ВУГЛЕЦЕМ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ З МАНГАН МОНООКСИДУ

*Доцент, канд. техн. наук С.П. Пантейков,
аспірант Я.І. Бондаренко, аспірант А.А. Романенко
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам’янське, Україна*

Відновлення марганцю з його оксидів, які є невід’ємною частиною як залізозмісної, так і марганцевмісної сировини, є багатоетапним процесом, що супроводжується зниженням ступеня окислення марганцю за рахунок поступового видалення кисню з його оксидів (як початкового, так і проміжних, що утворюються на різних етапах відновлення).

В умовах промислового виробництва основним методом отримання металевого марганцю є його термічне відновлення за допомогою твердого вуглецю (С) коксу або вугілля, та газоподібного монооксиду вуглецю (СО), що утворюється у ході процесу. В ньому марганець, подібно до процесу відновлення заліза, вступає в реакцію з відновниками (СО і С), що призводить до утворення марганцевих карбідів та/або розчинення вуглецю в марганці. Деякі відомості про можливі механізми відновлення марганцю та супутні реакції навуглицювання є в наукових працях і на сучасних інтернет-ресурсах.

Високий афінитет марганцю до кисню та складність його повного відновлення без супутнього навуглицювання ускладнюють відновлення марганцю (без утворення його карбідів) у відновлювальному залізі або отримання марганцевистих низьковуглецевих сплавів (Fe-Mn і Si-Mn) без подальших етапів очищення. Це обумовлює необхідність проведення

глибокого термодинамічного аналізу процесів, що пов'язані із відновленням марганцю з його оксидів, зокрема з MnO , за участю CO та твердого вуглецю. У зв'язку з цим актуальними стають питання термодинамічного аналізу процесів науглецювання марганцю під час його відновлення з MnO за рахунок газу CO і твердого вуглецю для з'ясування умов можливості перебігу цих процесів.

Були проведені термодинамічні дослідження хімічних реакцій непрямого відновлення Mn з MnO та науглецювання марганцю газом CO із використанням власних виразів для обчислення числових значень вільної енергії Гіббса, що дало змогу оцінити можливість перебігу зазначеного процесу за конкретних температурних режимів. На основі отриманих даних встановлено, що за певних температур реального процесу науглецювання марганцю в газовій фазі за участю CO є малоімовірним і практично не відбувається (поряд із неможливістю відновлення Mn з MnO газом CO , що було досліджено раніше [1, 2] як за літературними даними [3], так і за даними власних досліджень [4-6]). Такий висновок узгоджується з деякими літературними даними і дає підстави припустити, що основним механізмом науглецювання відновленого марганцю є його взаємодія з твердим вуглецем.

Дане припущення вимагало свого подальшого підтвердження, тому був проведений термодинамічний аналіз за допомогою власних (отриманих у ході досліджень) виразів для розрахунку значень вільної енергії Гіббса хімічних реакцій прямого відновлення марганцю з його монооксиду та науглецювання марганцю твердим вуглецем, результати якого дозволили встановити, що процес науглецювання відновленого марганцю за допомогою твердого вуглецю термодинамічно можливий (поряд з можливістю відновлення Mn з MnO безпосередньо твердим вуглецем при термодинамічних температурах вищих за певне значення температури, що за літературними даними знаходиться в інтервалі $1003\text{--}1626^\circ\text{C}$ [7], а за результатами власних термодинамічних досліджень склало 1419°C [7, 8]).

Отримані результати є важливими для побудови достовірної фізико-хімічної моделі процесу відновлення марганцю. Це також необхідно для розробки та вдосконалення агрегатів [9] і технологій виробництва низьковуглецевих марганцевих сплавів без подальшого рафінування, а також при розробці та вдосконаленні агрегатів [10] і технологій прямого відновлення заліза для отримання сталі з максимальним вмістом в ній марганцю.

Висновок. Таким чином, із значною долею вірогідності можна стверджувати, що при відновленні марганцю з манган монооксиду науглецювання першого у відновних печах відбувається виключно за рахунок твердого вуглецю, як і відновлення Mn з MnO , причому науглецювання вірогідно є невід'ємною частиною останньої стадії відновлення марганцю.

Посилання

1. Аналіз процесів ступінчастого відновлення марганцю з його діоксиду газом CO і газифікації твердого вуглецю з позицій термодинаміки / С.П. Пантейков, Я.І. Бондаренко, А.А. Романенко, І.І. Узунов // *Сучасні проблеми металургії*. № 27. 2024. С. 141–158. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2024.01.10>
2. Розрахунок термодинамічних температур перебігу хімічних реакцій процесу ступінчастого відновлення марганцю з його діоксиду газом CO і газифікації твердого вуглецю за мірами хімічної спорідненості речовин до кисню / С.П. Пантейков, Я.І. Бондаренко, А.А. Романенко, І.І. Узунов // *Збірник наукових праць ДДТУ: (тематичний випуск) «До 95-річчя кафедри металургії ім. проф. В.І.Логінова ДДТУ»*. Кам'янське: ДДТУ. 2024. С. 63–75. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.tm.2024.6>
3. Пантейков С.П., Узунов І.І., Бондаренко Я.І. Аналіз літературних даних щодо термодинамічних умов перебігу хімічних реакцій відновлення марганцю з його діоксиду газом CO і газифікації твердого вуглецю // Тези доповіді XIV Всеукраїнської конференції молодих вчених «Молоді вчені 2024 – від теорії до практики», м. Дніпро, 21 березня 2024 р. – С. 66–71. URL: https://drive.google.com/file/d/14IDC5TSRmVnWkiQXhyB_PG5VYSu1BZzX/view
4. Пантейков С.П. Про відновлення монооксиду марганцю монооксидом вуглецю // “SCIENCE, RESEARCH, DEVELOPMENT #36. TECHNICS AND TECHNOLOGY” (London (GB), 29.12.2020-30.12.2020). – Warszawa: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2020. – Str. 73-76.
5. Пантейков С.П. Визначення температур перебігу реакцій відновлення марганцю з його діоксиду газом CO і газифікації твердого вуглецю за стандартними значеннями ентальпії та ентропії // “Стратегія якості в промисловості і освіті”: Матеріали XVIII Міжнародної конференції (3–6 червня 2024 р., м. Варна, Болгарія). – Дніпро-Варна, 2024.– С. 95–101.
6. Пантейков С.П. Визначення температур перебігу реакцій відновлення марганцю з його діоксиду газом CO і газифікації твердого вуглецю за хімічною спорідненістю речовин до кисню // “Стратегія якості в промисловості і освіті”: Матеріали XVIII Міжнародної конференції (3–6 червня 2024 р., м. Варна, Болгарія). – Дніпро-Варна, 2024.– С. 101–106. URL: <https://nmetau.edu.ua/file/varna-2024-full-1.pdf>
7. Пантейков С.П., Бондаренко Я.І., Узунов І.І. Термодинамічний аналіз умов перебігу хімічних реакцій ступінчастого відновлення марганцю з його діоксиду твердим вуглецем за літературними даними // Матеріали XV Всеукраїнської конференції молодих вчених «Молоді вчені 2025 – від теорії до практики», м. Дніпро, 20 березня 2025 р. – Дніпро: Журфонд, 2025. – С. 110–115. URL: https://drive.google.com/file/d/1PtWivWScZl130O8Oxg_hRIZFJVSprqIG/view
8. Пантейков С.П. Визначення температур перебігу реакцій відновлення марганцю з його діоксиду твердим вуглецем за ступенем хімічної спорідненості речовин до кисню // Литво. Металургія. 2025: Матеріали XXI Ювілейної Міжнародної науково-практичної конференції і XIV Міжнародної науково-практичної конференції (27-29 травня 2025 р., м. Харків–м. Київ) / Під заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. – Харків, НТУ «ХПІ». – С. 436-441. URL: <https://www.ptima.nas.gov.ua/index.php/institut/dokumenty/455-zmistlytvometalurhiiia2025>

9. Пантейков С.П., Бондаренко Я.І., Романенко А.А. Розробка металургійного агрегату для отримання феромарганцю і металевого марганцю // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Розвиток промисловості та суспільства” (28-30 травня 2025 року, м. Кривий Ріг). – Кривий Ріг, КНУ, 2025. – С. 60.
10. Пантейков С.П., Романенко А.А., Бондаренко Я.І. Розробка металургійного агрегату прямого відновлення заліза для отримання рідкої сталі // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Розвиток промисловості та суспільства” (28-30 травня 2025 року, м. Кривий Ріг). – Кривий Ріг, КНУ, 2025. – С. 59. URL: https://www.knu.edu.ua/storage/files/2/Наука/Конференції/Конференції_2025/rozvytok2025/Тези%20доповідей%20на%20конференції%20-%202025.pdf

IMPLEMENTATION OF SYSTEM ANALYSIS IN HUMAN HEALTH PROTECTION IN THE «HUMAN - PERSONAL COMPUTER» SYSTEM

*Prof., Candidate of Technical Sciences Ya.O. Serikov
Kharkiv National University of Urban Economy
named after O.M. Beketov, Kharkiv, Ukraine*

At the present time, the problem of preserving the health of a working person, and therefore the labor potential of the country, is one of the most urgent. Moreover, this problem is relevant not only for Ukraine [1, 2], but also for economically developed foreign countries. This is confirmed by the information provided by the International Labor Organization (ILO) and the World Health Organization (WHO). According to published statistics, every year about 2.3 million people die in the world as a result of injuries received at work, and about 160 million occupational diseases occur [3]. Objectively, this is due to the fact that the evolution of humanity in both the «man – domestic environment» system and the «man – production environment» system occurs in a technogenic direction, as well as under the influence of the main motivating genetic characteristic of a person – achieving a comfortable life [4].

At the same time, the creation of anthropogenic systems, equipment, etc., as a rule, leads to the emergence of new negative factors in the production environment that directly affect human health. Quite often, the presence and characteristics of such factors are not investigated at the stage of developing an anthropogenic object and they manifest their negative effect on a person directly during its operation. As a result, as the experience of the development of humanity and each individual shows, any human activity is potentially dangerous [5]. This is also projected onto the entire society.

This thesis directly applies to the functioning of such a widespread local system as «man – personal computer». It is obvious that computers have become an integral part of the modern human environment. They increase both the comfort of the production environment (data processing speed, typing, etc.) and everyday life. Currently, about 95% of modern professions use computer technology in their work. But as a result of the fact that such equipment is often used without sufficient analysis of the negative impact and its consequences, new and developing diseases appear in humans, and existing diseases are modernized.

An effective direction in solving the problem of determining negative factors of the production environment is the use of systems analysis in occupational safety [6], including the «man – personal computer» system. This approach allows you to identify hazards, including potential ones, develop directions and specific organizational and technical solutions that will ensure the preservation of human health as a PC operator.

The first stage of solving this problem is to build a «human – personal computer» system (Fig. 1).

The degree of adequacy of such a model, which is actually the main one in the task, depends on the reliability of achieving the goal of the system – preserving human health. In this case, when building a system, it is important to form a list of its elements and the relationship between them, taking into account various aspects that can affect not only the physical, but also the mental health of the employee.

It should be noted that when determining the list of system elements, it is necessary to be guided not only by the provisions of the relevant regulatory legal acts on protection, safety, occupational hygiene, industrial sanitation, ergonomics, but also to analyze the latest research results in this area, including foreign ones.

For example, the widespread (massive) use of computer technology has led to an overload of the human visual analyzer, which has caused the emergence of a new medical and social disease called «Computer Vision Syndrome – CVS» [7]. According to statistics, this disease, depending on the degree of load on the visual analyzer, is found in 40-70% of regular users of personal computers and laptops. Computer vision syndrome is a set of functional and organic changes in the human visual analyzer that arise as a result of working with a computer monitor. In fact, computer vision syndrome is one of the components of the global problem of the 21st century. in terms of the emergence of a number of new diseases that have arisen as a result of the use of computers.

Analysis of the constructed system «man - personal computer» allows us to provide the following general recommendations that should be included not only in the program of labor protection training and labor protection instructions, but also brought to everyday users of computer equipment.

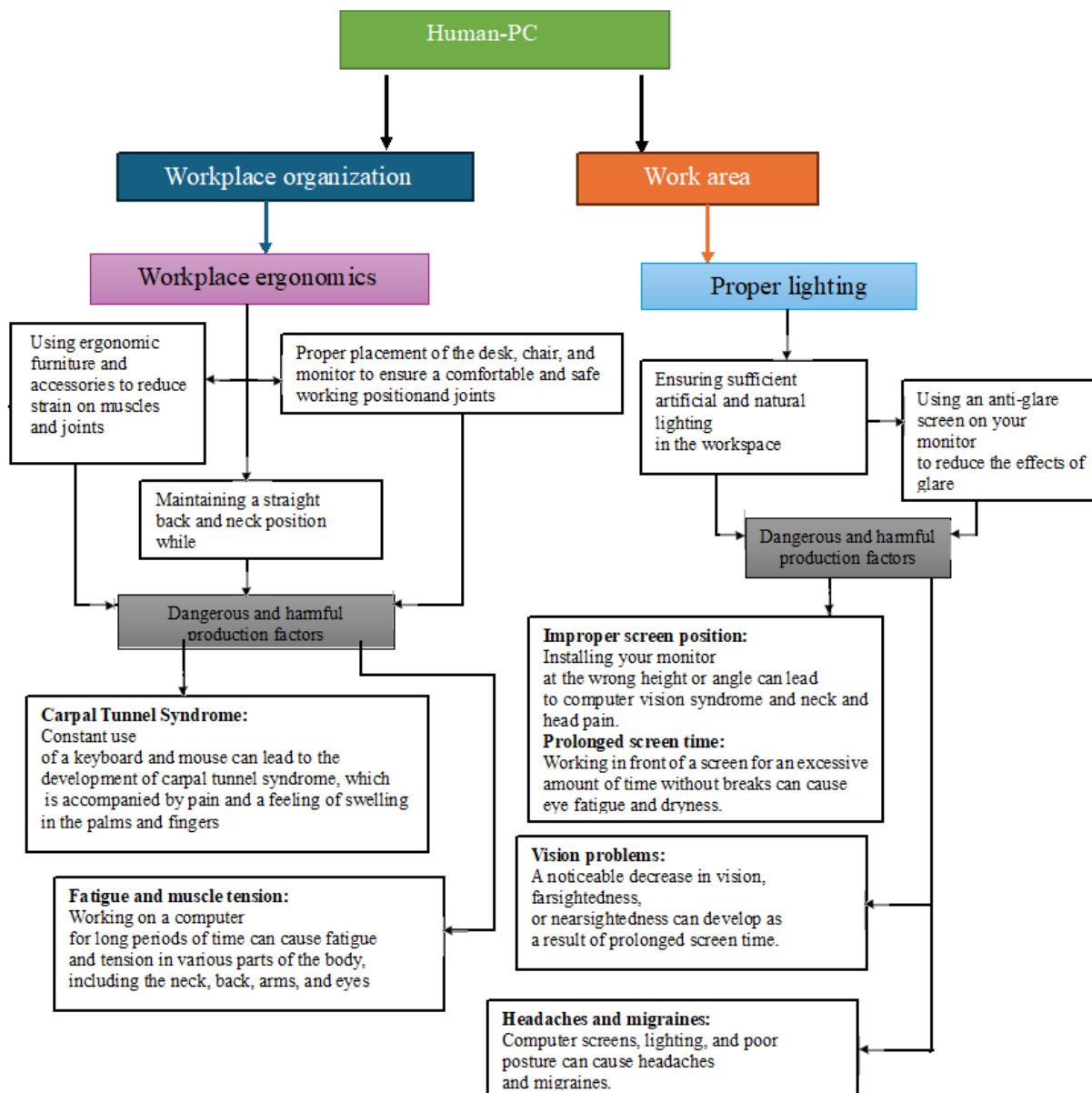


Figure 1 – The system «human – personal computer»

Ergonomics of the workplace

Task: Correct location (within reach) and design parameters of the table, chair, monitor and auxiliary devices, elements of the work area to ensure a comfortable and safe working position (Fig. 2). In this case, it is necessary to take into account the anthropometric parameters of the PC operator, as well as his gender.

The use of ergonomic furniture and determining the right place for accessories will ensure a reduction in stress on the muscles of the human body, its joints and hands.

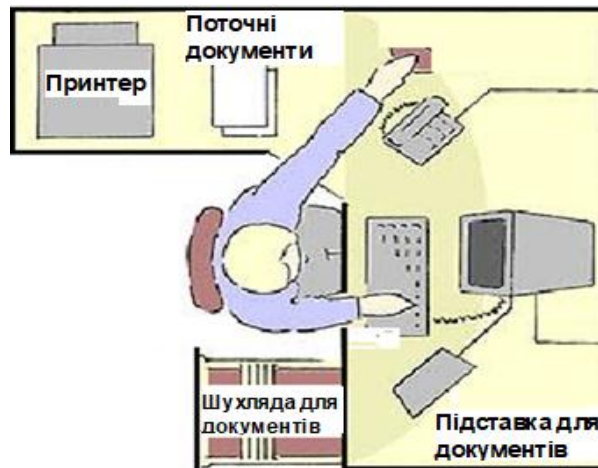


Figure 2 - Layout of the workplace and work area when working at a computer

Correct body position

Task: Maintaining a straight back and neck position during work. As well as the use of soft footrests to support the legs.

This will reduce the load on both the legs and the back of the operator.

Proper lighting

Task: Ensuring compliance with the quantitative and qualitative parameters of artificial lighting of the working area.

Solving this task, in the case of using the «Human Centric Lighting» lighting system*, will allow not only to ensure the preservation of the optical system of the human visual analyzer (eye), but also to eliminate the negative impact of light on the nervous system and the mental state of a person [8].

Using a monitor screen with an anti-glare coating will reduce the harmful effects of glare from the monitor screen.

Regular breaks

Task: Introduction and observance of breaks regulated by the State Sanitary Rules when working with a PC [9].

Taking short breaks to reduce muscle tension. Providing an opportunity for the eyes to rest, in particular by looking away from the monitor screen. During regular breaks, it is necessary to perform physical exercises and stretches to relieve muscle tension and maintain (restore) blood circulation.

In order to reduce eye strain, it is necessary to look away from the screen every 20-30 minutes and focus it on distant objects, the blue sky.

Hygiene of the visual analyzer

Task: Reducing the impact of the blue component of light from the monitor screen. Using appropriate screen parameters (resolution, brightness, contrast, etc.).

During prolonged use of a computer monitor, the blue component of light from the screen can lead to disruption of circadian rhythms, sleep disturbances, and

* Human Centric Lighting (HCL) – artificial lighting whose characteristics are adapted to the human body

metabolic disorders [10]. In order to minimize such effects, it is necessary to use special protective glasses or monitors manufactured using «Low Blue Light Plus» technology [11].

Psychological support

Task: Providing psychological support and training on stress, managing work emotions. Providing opportunities for counseling and psychological support for those who experience stress or emotional exhaustion.

These measures are especially necessary for Oblenergo dispatchers, railway transport management systems and people who perform programming work. That is, in the case of performing work accompanied by significant psycho-emotional overload. These measures are aimed at preventing the risks of nervous system disorders and professional burnout, increasing stress resistance.

Avoiding work in the late hours of the day:

The duration of work at the PC in the late, night hours of the day can negatively affect the quality of sleep, night rest, as well as the general state of human health.

The above set of measures is aimed at ensuring an optimal working regime for employees working with PCs, reducing their physical and emotional stress, and improving mental health. The above measures contribute not only to maintaining health, but also to increasing work efficiency and job satisfaction. It is important to comply with such measures, to translate their compliance into mandatory procedures, habits. This will make it possible to make a significant contribution to the problem of maintaining health and efficiency of employees.

Conclusions

The application of the system analysis methodology when creating a «human - personal computer» system allows you to determine both the configuration of the system and the relationships between its elements. In the case of using not only the provisions of regulatory documents, but also research results, there is a possibility of increasing the adequacy of the model in order to obtain reliability in achieving its goal - preserving the health of a working person.

The results obtained determine those elements of production activity on which the tasks of representatives of the labor protection service of enterprises or organizations, as well as when training the population, should be emphasized.

References

1. Serikov Ya.O. et al. Methodology for reducing the level of occupational injuries in the electric power industry of Ukraine / NTZ «Communal Services of Cities», Ser.: Technical Sciences and Architecture. - 2022. Vol. 3 No. 170. P. 302-306. - URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5991>
2. Serikov Ya.O. State, problems, ways to reduce the level of occupational injuries in the housing and communal services of Ukraine / NTZ «Communal Services of Cities», Ser.: Technical Sciences and Architecture. - 2025. Vol. 1, issue 189. P. 398-403. - URL: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-1-189-398-403>

3. Occupational safety. World statistics. – URL: <https://unglobalcompact.org/take-action/safety-andhealth>
4. Korzeniowski L., Serikov Y. (co-author, 50%): European dimension of securitology. Monograph. Kraków: EAS, 2011. - 244 p.
5. Serikov Ya.O., Kozhenevsky L. F. Life safety – securitology. Problems, tasks, solutions. Monograph. Kharkiv: KhNAMG, 2012. Part 1 – 170 p., Part 2 – 332 p.
6. Biljana Vranjes, Mladen Todić «A model of analysis of the occupational safety and health system in the production system» / Journal of Applied Engineering Science, Original Scientific Paper, Volume 17, Number 3, Year 2019, No 605, pp 264 – 272. URL: DOI: 10.5937/jaes17-213727. Sowjanya Gowrisankaran, James E. Sheedy «Computer vision syndrome: A review» / A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3233/WOR-152162>
8. Serikov J., Serikova K. Theoretical justification and practical aspects of implementation of Human Centric Lighting Program in production conditions / Ukrainian Metrological Journal, Kharkiv, 2021, No 1. С. 40-45. URL: <http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/13837>
9. DSanPIN 3.3.2.007-98 State sanitary rules and standards for working with visual display terminals of electronic computers.
10. Haghani M, Abbasi S, Abdoli L, Shams SF, Baha'addini Baigy Zarandi BF, Shokrpour N, Jahromizadeh A, Mortazavi SA, Mortazavi SMJ. «Blue Light and Digital Screens Revisited: A New Look at Blue Light from the Vision Quality, Circadian Rhythm and Cognitive Functions Perspective» / J Biomed Phys Eng. 2024 Jun 1; 14(3). Pp. 213-228. URL: doi: 10.31661/jbpe.v0i0.2106-1355.
11. Low Blue Light Plus. URL: <https://inter-systems.kiev.ua/novosti/bloh/331-yak-robota-z-monitorom-mozhe-vplivati-na-nash-zir-tekhnologiya-low-blue-light-plus-tech-monitoriv-benq-v-chomu-osoblivist.html>

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ

*Доц., канд. техн. наук Д.П. Часов¹, доц., канд. техн. наук В.О. Бейгул¹,
доц., канд. техн. наук Д.Л. Серілко²,
аспірант Р.Ф. Гільмутдінов¹, аспірант І.С. Пузирецький¹*

¹Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

*²Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне, Україна*

За результатами статичних та динамічних розрахунків гвинтових конвеєрів доцільно говорити про необхідність роботи конструкцій самої спіралі шнеку у працювати на більш високих навантаженнях при постійній енергоємності. Така умова може бути реалізована за можливості зменшення металомісткості виконавчого органу конвеєру при забезпеченні вимог до

шорсткості конструкції, що забезпечується критично ефективним розрахунком опорних конструкцій тримачів спіралі шнеку – опорних стійок. Але статичні розрахунки не розкривають усі навантаження, а отже доцільним є визначення критичних навантажень динамічної стійкості обуреного руху системи «опорна стійка – стрічка спіралі шнеку» та її зв'язок з енергоємністю.

В основу визначення критичних навантажень покладено енергетичний метод, з якого маємо рівняння

$$\Pi_1 + \Pi_2 = A_1 + A_2$$

де: Π_1 - потенційна енергія вигину опорної стійки, дж;

Π_2 - потенційна енергія крутіння опорної стійки, дж;

A_1 - робота зосередженої сили P , дж;

A_2 - робота зосередженого крутного моменту $M_{кр} = Pd$, дж.

При розрахунку потенційної енергії вигину опорної стійки згинаючу жорсткість кожного кутика може бути прийнята рівною EI_{\min} , де I_{\min} - мінімальний момент інерції профілю кутика.

Прогин кутика у стиснутій зоні $y + \frac{h^*}{2} \varphi$, а прогин кутика у розтягнутій зоні

$$y - \frac{h^*}{2} \varphi,$$

де y - поточний прогин опорної стійки;

φ - поточний кут повороту перерізів опорної стійки.

Тоді потенційну енергію вигину опорної стійки можна записати у такому вигляді:

$$\Pi_1 = \left(\frac{EI_{\min}}{2} \right) \int_0^{\ell} \left(\frac{d^2 y}{dx} + \frac{h^*}{2} \frac{d^2 \varphi}{dx^2} \right)^2 dx + \left(\frac{EI_{\min}}{2} \right) \int_0^{\ell} \left(\frac{d^2 y}{dx^2} - \frac{h^*}{2} \frac{d^2 \varphi}{dx^2} \right)^2 dx$$

Потенційна енергія кручення опорної стійки:

$$\Pi_2 = \frac{GI_{\kappa}}{2} \int_0^{\ell} \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)^2 dx$$

де: GI_{κ} – крутильна жорсткість опорної стійки.

Робота зосередженої сили P :

$$A_1 = P\varphi = P \left(- \int_0^{\frac{\ell}{2}} \varphi \frac{d^2 y}{dx^2} dx \right),$$

де: φ - прогин під силою P .

Робота зосередженого крутного моменту

$$A_2 = M_{кр} \cdot \varphi = Pd\varphi.$$

Висновки

Під час розрахунків слід враховувати статичні та динамічні навантаження, що дозволить визначити критичні навантаження, які є головною складовою для визначення мінімально допустимих розмірів конструктивних елементів, що в свою чергу є гарантуванням зменшення енергозатрат при подрібненні чи транспортуванні комбінованими шнековими конвеєрами.

Посилання

1. O. Romaniuk, D. Chasov, Y. Romaniuk, O. Sasov, V. Beihul (2025). Optimization of Rotating Assembly Masses in Mechanical Transmissions of Machine Units. *Science and Innovation*, 21(2), 93–100. <https://doi.org/10.15407/scine21.02.093>
2. Serilko L. S., Lyashuk O. L., Chasov D. P., Serilko D. L., Ihnatiuk R. M. (2025). Body movement along the surface of an inertial conveyor chute under combined friction. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, Vol. 12(1), pp. D1–D8. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).d1](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).d1)
3. D. Chasov (2016). Determining the equation of surface of additional blade of a screw conveyor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (Engineering technological systems)*. – 5/1 (83). – 2016. – p. 4 – 9.
4. D. Chasov, L. Sorokina, S. Havrylin (2017) Aspects of distance learning for engineering sciences. *Effective Development of Teachers' Skills in the Area of ICT and E-learning / Katowice - Cieszyn 2017*. – p. 319 – 331.
5. O. Beihul, D. Grischenko, V. Beihul, D. Chasov, A. Lepetova, B. Kolyada (2020) Devising a procedure for calculating the designed strength of a kingpin-type load-carrying system for an articulated tractor container carrier. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies (Engineering technological systems)*. – 5/7 (107). – 2020. – p.22 – 29.

РЕЖИМИ ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДГРІВУ МЕТАЛОБРУХТУ В КИСНЕВОМУ КОНВЕРТЕРІ

*Проф., докт. техн. наук А.Г. Чернятевич,
зав. каф., докт. техн. наук Є.М. Сігарьов,
доц., канд. техн. наук А.А. Похвалітий,
аспіранти Д.С. Кондрашенков, А.В. Круть*

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

У традиційній киснево-конвертерній плавці частка металобрухту зазвичай обмежується 15–25 % через дефіцит теплоти для його нагрівання та плавлення. Застосування попереднього підгріву брухту дозволяє

компенсувати теплові втрати, підвищити частку перероблюваного брухту та знизити питомі викиди CO_2 [1]. Найбільш доцільними з позицій енергоефективності є способи внутрішньоконвертерного підігріву, що не потребують додаткових агрегатів та значних капіталовкладень.

Аналіз виконано на основі попередніх [2, 3] та поточних досліджень на лабораторній моделі кисневого конвертера місткістю 80 кг [4] із використанням різних конструкцій кисневих та паливно-кисневих фурм, які описані у вище зазначених роботах. Оцінювали характер горіння палива, рівномірність нагріву брухту, час досягнення температури $\sim 800^\circ\text{C}$ та ризик утворення локальних зон оплавлення.

Режим 1 (кускове вугілля): на шар металобрухту завантажували кам'яне вугілля, яке підпалюється кисневим струменем або газокисневим пальником. Цей спосіб є діючим на підприємствах та є найпростішим у реалізації і дозволяє швидко (3–6 хв) підвищити температуру верхньої частини брухту до $\sim 500\text{--}600^\circ\text{C}$, що за спеціальних умов може дати можливість збільшити вміст брухту в шихті. Проте він страждає на суттєву нерівномірність нагрівання: верхні шари перегріваються й можуть оплавлюються, тоді як нижні залишаються холодними. Крім того, витрата кисню при такому підігріві висока (приблизно $1,5\text{--}2,8\text{ м}^3\text{ O}_2$ на 1 кг вугілля), причому значна його частина проходить крізь шар брухту, не взаємодіючи з паливом. Цей режим придатний для відносно невеликих додавань брухту і вимагає точного контролю умов займання та часу продувки, аби уникнути локального оплавлення металу.

Режим 2 (газокисневий струмінь): застосувалася киснева фурма, що подає змішаний природний газ і кисень у конвертер. Цей режим забезпечує інтенсивний тепловий потік і кращий контроль подачі палива. За експериментальними даними, для прогріву до заданої температури 30 % брухту потрібно $\sim 10\text{--}15$ хв, причому поверхня брухту схильна до локального перегріву (верхні уламки плавляться, а глибші шари залишаються холодними). Підігрів за допомогою природного газу та кисню є більш керованим, порівняно із режимом зі спалюванням вугілля (можна регулювати співвідношення газ/кисень), але він подовжує тривалість плавки і підвищує знос футеровки через вплив високотемпературного полум'я. На практиці застосування газокисневих пальників дозволяє збільшити долю брухту в шихті на кілька відсотків без критичних технологічних ускладнень, проте ефективність використання кисню при цьому також не є високою – велика частина теплового потоку спрямовується на поверхню, що може бути вже розплавлена.

Режим 3 (пиловугільне паливо + кисень, носій – повітря): Для реалізації цього режиму використовували спеціальну фурму типу «труба в трубі» з внутрішнім каналом для пиловугільного палива (ПВП) та несучого газу і зовнішнім, для кисню. ПВП подається у потоці стисненого повітря, а кисень — по кільцевій оболонці навколо нього. Після виходу з фурми пиловугільне паливо змішується з киснем і спалахує над брухтом, утворюючи

яскраві високотемпературні факели з великою світимістю. Цей режим забезпечує дуже інтенсивне й рівномірне нагрівання металобрухту: майже всі леткі речовини палива згорають одночасно з твердим вуглецем, тому факели нагріву охоплюють весь об'єм завантаження. Експериментально показано, що при оптимальній витраті кисню (~1,0–1,3 м³ O₂ на 1 кг пилу) досягається максимальний ефект: полум'я достатньо гаряче, але не викликає плавлення металу.

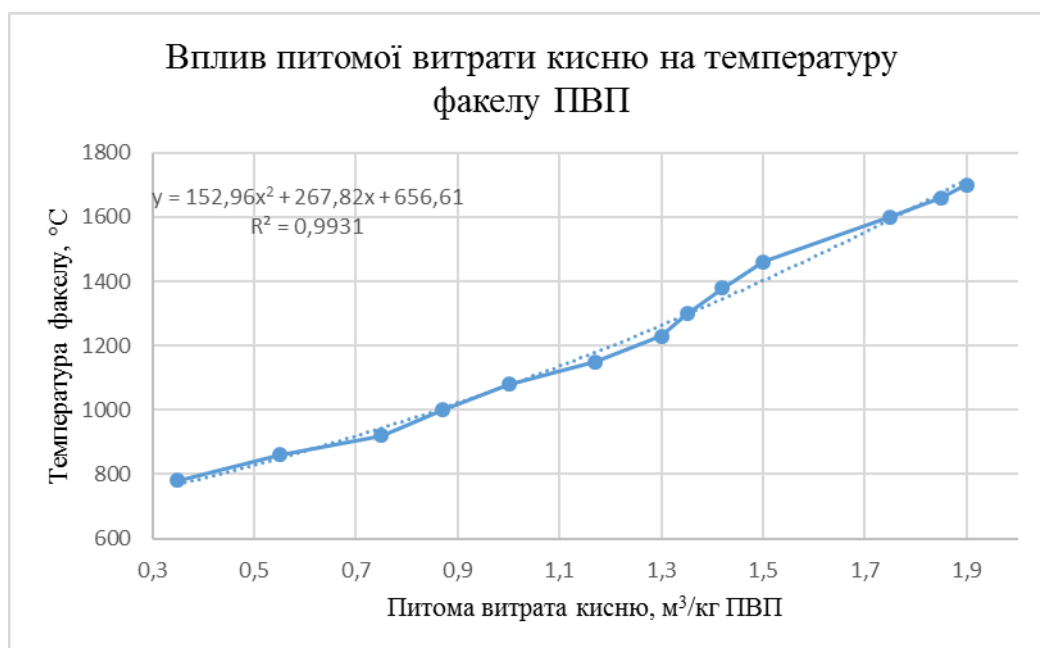


Рисунок 1 - Вплив питомої витрати кисню на температуру факелу ПВП

У цьому режимі час нагріву значно скорочується, і вдається уникнути утворення зон локального оплавлення. Перевагами є рівномірність нагріву та висока ефективність використання енергії палива й кисню, що дозволяє підвищити частку брухту понад 25% без втрати якості плавки. Недоліками залишаються а складність і велика витрата кисню (хоча на одиницю теплового внеску вона менша, ніж у режимі з кусковим вугіллям завдяки кращому теплообміну). Правильний добір співвідношення пил/кисень є критичним для уникнення неповного згорання або зайвого окислення.

Режим 4 (комбінований факел – ПВП + інертний газ + природний газ + кисень): Синтезує переваги режимів 2 і 3 шляхом одночасної подачі пилу в потоці інертного газу (азоту або аргону), додаванням невеликої кількості природного газу та кисню по кільцевій оболонці. Інертний носій дозволяє відстрочити займання пилу від природного газу до моменту змішування з киснем, забезпечуючи глибше проникнення факела у шар брухту і потенційно ще більшу рівномірність нагріву по висоті. Природний газ виконує роль проміжного полум'я, яке ініціює займання пилових частинок при контакті з киснем. Комбінований факел створює довший і гарячіший полум'яний струмінь, що дозволяє максимально ефективно прогріти навіть великі шматки брухту і звести до мінімуму втрати теплоти,

завдяки підмішуванню природного газу. Такий режим має на меті усунути нерівномірність нагріву поверхні брукхту і зменшити загальний час технологічного циклу. Наразі комбіновані режими перебувають на стадії дослідного опрацювання; їхні недоліки – складність конструкції (треба трирівнева фурма або багатооточковий пальник) та великі витрати інертного газу – поки що стримують промислове впровадження. Однак перші досліди вказують на високий потенціал цього підходу.

Нижче наведено кадри застосування кожного з режимів.

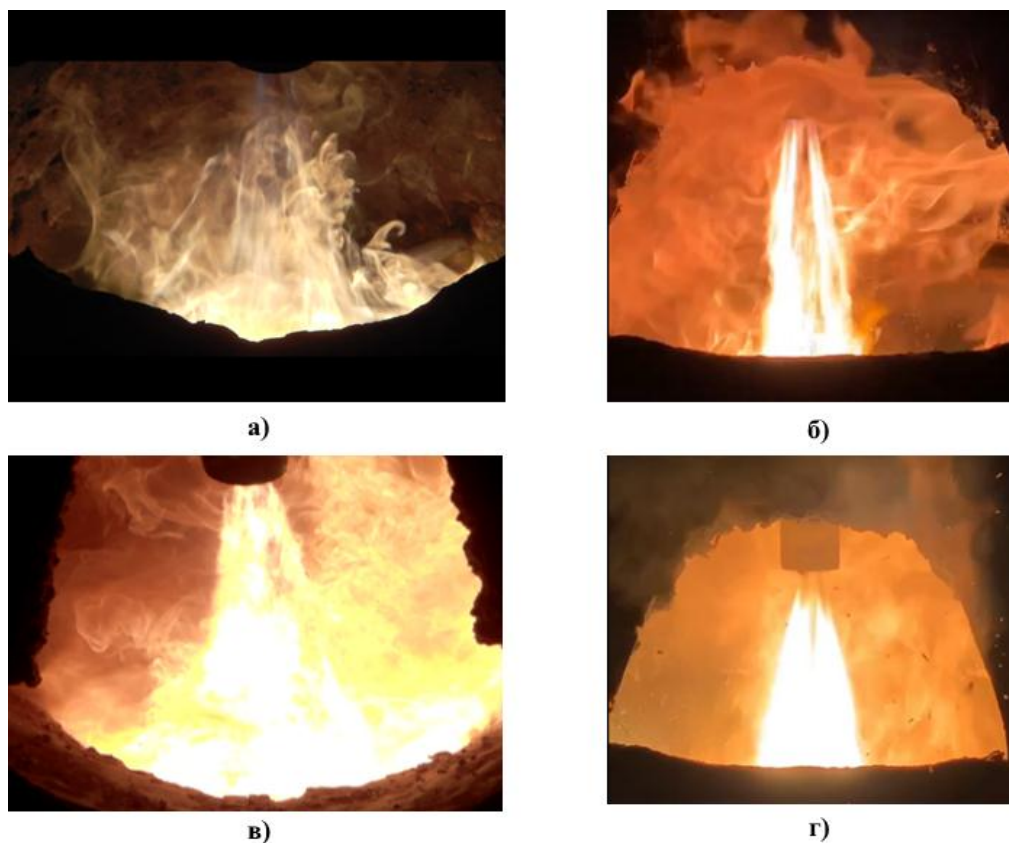


Рисунок 2 – кадри режимів попереднього підгріву брукхту:

а) режим 1 (підігрів за допомогою кускового вугілля) ;

б) режим 2 (газокисневий струмінь);

в) режим 3 (за допомогою тловугільного палива);

г) режим 4 (комбінований режим)

Висновки

1. Попередній підігрів металобрукхту у порожнині кисневого конвертера є ефективним інструментом підвищення частки брукхту в шихті та зниження витрат рідкого чавуну, однак його результативність істотно залежить від типу палива та способу подачі теплового потоку.

2. Режими поверхневого нагріву (кускове вугілля та газокисневі пальники) характеризуються обмеженою глибиною проникнення тепла, нерівномірністю температурного поля та підвищеним ризиком локального оплавлення верхніх шарів брукхту, що обмежує можливість істотного збільшення його частки.

3. Визначено, що застосування пиловугільного палива в кисневій оболонці забезпечує найбільш рівномірний та інтенсивний нагрів усього об'єму брухту за рахунок об'ємного характеру горіння та високої світимості факелів, що дозволяє скоротити час підігріву й ефективніше використовувати кисень.

4. Встановлено, що комбінований режим із використанням інертного носія, природного газу, пиловугільного палива та кисню, мають більший потенціал подальшої інтенсифікації процесу та зменшення температурної нерівномірності по висоті завантаження шихти, проте потребують подальших експериментальних досліджень з отриманням кількісних показників для отримання багатопланової оцінки якості попереднього підігріву брухту.

5. Перспективним напрямом підвищення частки металобрухту в кисневому конвертері є розвиток технологій внутрішньоконвертерного підігріву з використанням пиловугільного палива, що забезпечує оптимальний баланс між інтенсивністю нагріву, керованістю процесу та енергоефективністю.

Посилання

1. Wimmer G. *Greening Converter Steelmaking* / Metals Magazine. — 01 Jan. 2020. — Режим доступу: <https://www.primetals.com/en/metals-magazine/greening-converter-steelmaking/>
2. Чернятевич, А.Г., Похвалітій, А.А., Сігарьов, Є.М., Чубіна, О.А., Кондрашенко, Д.С. Використання пиловугільного палива для попереднього підігріву металобрухту. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). Науковий журнал. Тематичний випуск "До 95 річчя кафедри металургії ім. професора В.І. Логінова Дніпровського державного технічного університету"*. Кам'янське: ДДТУ, 2024, С. 123–131.
3. Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Молчанов Л.С., Похвалітій А.А., Кондрашенко Д.С., Чубіна О.А. Відеофіксація фізико-хімічних процесів в порожнині конвертера під час нагріву металевго брухту. *Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія. 2024»* (28–30 травня 2024 р., м. Харків – м. Київ). Харків: НТУ «ХПІ», 2024. С. 507–511
4. Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Молчанов Л.С., Похвалітій А.А., Кондрашенко Д.С. Установка високотемпературного моделювання нагріву металевго брухту в конвертері. *Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія. 2024»* (28–30 травня 2024 р., м. Харків – м. Київ). Харків: НТУ «ХПІ», 2024. С. 505–507.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПЛАСТИЧНИХ МАС

*Магістрант Д.В. Шкрєбтієнко, доц., канд. техн. наук С.М. Зибайло
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
УДУНТ, м. Дніпро, Україна*

Переробка полімерних матеріалів у різного типу виробу являє собою складний тип виробництва зі сполученням багатьох процесів, що забезпечують одержання кінцевого продукту, із заздалегідь заданими властивостями, придатними для умов експлуатації [1].

При переробці відходів різних за своїми властивостями полімерних матеріалів здійснюється значна кількість процесів, пов'язаних з тепломасообміном як усередині перероблюваного матеріалу, так і з навколишнім середовищем, релаксаційними явищами, фазовими переходами, хімічними реакціями й іншими супутніми ефектами. Тому в роботі запропоновано системний підхід до вибору обладнання для переробки відходів пластичних з використання математичного моделювання.

Основні завдання математичного моделювання полягають у поглибленні фізичного розуміння процесів та їх кількісному описанні з максимально можливим наближенням до реальних технологічних умов функціонування об'єкту. Досягнення цієї мети забезпечує успішне рішення цілого ряду завдань, які розділяють на три групи: математично-комп'ютерні, технологічні та конструкторсько-машинобудівні [1].

До завдань першої групи відносять співвідношення між точністю одержуваних за допомогою математичних моделей результатів й економічністю роботи комп'ютерного комплексу, з урахуванням його ступеня універсальності [1].

У завдання другої групи входить визначення таких найважливіших технологічних параметрів, як продуктивність устаткування, розподіл силових полів і температури, потужність, затрачувану на переробку матеріалу, тощо, знання яких необхідно, насамперед, для обґрунтованого вибору типу агрегату та його параметрів, а також для машинно-апаратного вибору створюваного технологічного процесу [1].

Завдання третьої групи охоплюють широке коло проблем, що виникають при конструюванні нових машин, і в певному сенсі є зворотними стосовно завдань другої групи. Насамперед необхідно, виходячи із заданої продуктивності, силового поля, припустимої температури переробки конкретного матеріалу, прийнятного рівня енерговитрат, визначити оптимальні геометричні параметри робочого органу переробного обладнання та на їх основі запропонувати його ескізне рішення для того, щоб виконати його робочий проект [1].

Окрім цього, одна з головних переваг 3D-моделювання полягає в тому, що в САD-програмах є потужні засоби, які дозволяють оперативне

редагування моделі: задавати параметричні зв'язки та асоціації як між окремими елементами деталей, так і між деталями в складальних кресленнях. Це дає можливість швидко вносити зміни до проекту та створювати різні варіанти як окремих деталей, так і всього виробу в цілому. Тривимірні твердотілі моделі містять у собі всю геометричну інформацію, необхідну для роботи систем інженерного аналізу [2].

За тривимірною моделлю система легко визначає її фізичні характеристики: площу поверхні, об'єм, координати центру ваги та інші. Якщо користувач визначив властивості матеріалу, то автоматично розраховується маса. Це стосується як деталей, так і складальних одиниць будь-якої складності. Таку модель можна передати до будь-якої системи інженерного розрахунку для виконання її аналізу: розрахунку напружень та деформацій, частотного аналізу для визначення власних частот та форм коливань, теплових розрахунків і пов'язаних із нагріванням температурних деформацій та напружень [2].

В роботі проведено 3D-моделювання конструкції черв'яка з використанням загальноприйнятого порядку моделювання твердого тіла: послідовне виконання булевих операцій, які наведено на рис. 1.



Рисунок 1 - Булеві операції при створенні 3D-моделі секції черв'яка:

а – створення твердотілого циліндра, б - віднімання внутрішнього циліндра;
в - віднімання конуса та гвинтової поверхні

У типових конструкціях існуючих екструзійних машин процеси переміщення полімерного матеріалу у робочому об'ємі пов'язані з рухом однієї межі робочого каналу чи відносного переміщення двох і більше кордонів[3].

В одночерв'яних машинах переміщення перероблюваного матеріалу здійснюється з допомогою обертання черв'яка, тобто в даному випадку з обліком гвинтового робочого каналу рухаються три межі щодо нерухомого корпусу. Однак при моделюванні процесів руху в таких агрегатах приймається зворотна схема, де рушійним елементом є корпус при нерухомому гвинтовому каналі [3].

У робочих об'ємах двочерв'яних машин, залежно від місця перебування матеріалу, що переробляється в робочому обсязі, розрахункові схеми можуть відрізнятися від аналогічної одночерв'ячної схеми в радіальному зазорі, які утворені між поверхнею гребеню одного черв'яка та поверхнею сердечника другого черв'яка [3].

Досить вагома частина екструзійної техніки відноситься до дискових екструдерів на їх основі. Даний тип обладнання має низку переваг перед одночерв'ячними, а саме: малу енергоємність і металомісткість розрахунку на одиницю маси отримуваної продукції; значно менший час перебування в робочому обсязі, що особливо важливо для переробки не термостабільних полімерних матеріалів; більш висока якість змішування на одиницю споживаної потужності [3].

Рух полімерного матеріалу для дискових екструдерів здійснюється за рахунок відносного обертання двох дисків. При цьому в агрегатах без додаткових транспортуючих елементів рух в дисковому зазорі відбувається лише за рахунок пружних властивостей матеріалу, які викликають ефект Вайссенберга, що формує доцентровий рух матеріалу [3].

В роботі досліджено ефект Вайссенберга при обертанні ротора зі змінною швидкістю в розплаві відходів поліетилену різного фізико-хімічного складу при температурі 130°C. Встановлено, що відцентровий вплив використовується для передачі матеріалу з однієї робочої зони до іншої, що дозволяє покращити перемішування матеріалу в робочому об'ємі апарату. Тому для переробки відходів пластичних мас доцільно використовувати саме черв'ячно-дискові екструдери.

Висновки

1. Обґрунтовано вибір черв'ячно-дискового екструдера для переробки відходів пластичних мас з використанням елементів моделювання обладнання, що дає значний економічний ефект: дозволяє проводити дослідження, що відбуваються в різних агрегатах, при незмірно менших витратах, ніж натуральні дослідження на реальних агрегатах, на стендах або на фізичних моделях.

2. Проведено моделювання процесів переробки відходів пластичних мас за допомогою пробної безкоштовної версії Mathcad express та розраховано продуктивність екструдера, а також проведено перевірочний розрахунок черв'ячного циліндра на міцність.

Посилання

1. Кузяев, І.М. Основи математичного моделювання процесів з переробки полімерних матеріалів / І. М. Кузяев, О. Н. Півень, В. П. Місяць. – Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2016. – 278с.
2. Семенець, О. А. Моделювання та проектування обладнання хімічної промисловості за допомогою сучасних пакетів САПР / О. А. Семенець, І. М. Кузяев // Вопросы химии и химической технологии. – 2012. – № 2. – С.209-217.
3. Кузяев И. М. Моделирование экструзии и экструдеров при переработке полимеров : монография. В 2 ч. / И. М. Кузяев, В. А. Свидерский, А. Д. Петухов. – Киев :НТУУ «КПИ» Изд-во «Политехника», 2016. – 276 с.

ЗМІСТ CONTENTS

(прізвища авторів і назви доповідей наведені мовою оригіналу)
(authors surname and the list of reports correspond to originals)

СЕКЦІЯ 1: ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ SECTION 1: INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN EDUCATION

<i>Балакін В.Ф., Николаєнко Ю.М., Соловйова І.А., Водін І.Й., Кузнецов О.А.</i> Політика використання штучного інтелекту студентами у вищій освіті: нормативні основи та педагогічні орієнтири	6
<i>Братченко А.С.</i> Ціннісні орієнтири освіти в умовах цифрової епохи	10
<i>Єльнікова Г.В., Скороходова І.Є.</i> Адаптивний підхід у викладанні ветеринарних дисциплін за допомогою моделі «перевернутого класу» (flipped class)	13
<i>Кирпича Т.В., Давидова Т.А., Левицька С.І.</i> Переосмислення іншомовної освіти у вищій школі в епоху генеративного штучного інтелекту: від засвоєння контенту до розвитку критичної ШІ-грамотності	19
<i>Кузнецов О.А.</i> Видатні постаті вітчизняної історії. Велика київська княгиня Ольга	23
<i>Ладозубець Н.В., Лузік Е.В.</i> Вища технічна освіта як об'єкт наукового дослідження	32
<i>Мироненко М.А.</i> Професор Андрій Павлович Виноградов та його роль у становленні вищої технічної освіти на Придніпров'ї	37
<i>Огоренко В.В., Шустерман Т.Й., Ніколенко А.Є.</i> Сертифікатні курси "Перша психологічна допомога в кризових ситуаціях" як елемент неформальної освіти в Дніпровському державному медичному університеті	45
<i>Попович Л.М.</i> Управлінська діяльність керівників закладів освіти у період воєнного стану в Україні: трансформаційні процеси	47
<i>Соловйова І.А., Николаєнко Ю.М., Балакін В.Ф., Ревенко О.О.</i> Формування професійних компетентностей здобувачів вищої освіти з металургії засобами електронного довідника з технологічного проектування	51
<i>Ступак Ю.О., Хохлова Т.С.</i> Штучний інтелект як інструмент наукової діяльності: парадигмальна трансформація та етичні виклики	55
<i>Тютюнник М.М., Пугач І.О.</i> Використання платформи H5P.COM для створення інтерактивного освітнього контенту в умовах цифровізації освіти	59

СЕКЦІЯ 2: СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ НАУКИ І ВИРОБНИЦТВА
SECTION 2: MODERN PROBLEMS OF SCIENCE AND PRODUCTION
DEVELOPMENT

Вовк А.О., Сігарьов Є.М., Похвалітій А.А., Руденко М.Р., Чубіна О.А. Вплив кількості та кута сопел сталевипускного каналу на відсічку та захист струменя	65
Водін І.Й., Жук В.В., Росоленко Р.В., Філіппов В.Є. Аналіз особливостей технології виплавки передільного малофосфористого шлаку	69
Гришин Е.С., Дюжикова Т.М. Функціоналізація органічних сполук як спосіб підвищення біологічної активності	73
Гуцалова В.І., Толстіков Г.І. Інвестиційна стратегія як одна з базових стратегій на підприємстві	79
Клименко Д.В. Деякі закономірності проявів газодинамічних явищ при відпрацюванні вугільних пластів у шахтних умовах	84
Kovalov V., Vasylchenko Y., Sharovalov M., Ponomarenko O., Chuiko V. Modeling and analysis of hydrostatic spindle bearings with an adaptive feed system	90
Кривчик Л.С., Пінчук В.Л., Дейнеко Л.М., Тараненко А.О., Панченко А.В. Особливості хіміко-термічної обробки трубопресового інструменту з вітчизняних і зарубіжних сталей з метою їх зміцнення для роботи в важких умовах експлуатації	93
Миронова Т.М., Комеристий І.В. Формування структури в процесі перитектико-евтектичної кристалізації в легованих залізо-вуглецевих сплавах	109
Minko O. Multiparametric mathematical model of the stator of a powerful electric machine	118
Мінко О.М. Мультипараметричний синтез та моделювання електромеханічних перетворювачів енергії	122
Мінко О.М. Принцип взаємозв'язку при мультипараметричному проектуванні електромеханічних перетворювачів енергії	129
Пантейков С.П., Романенко А.А., Бондаренко Я.І. Термодинамічні дослідження процесу науглецювання заліза твердим вуглецем при відновленні з вюстити	133
Пантейков С.П., Бондаренко Я.І., Романенко А.А. Термодинамічні дослідження процесу науглецювання марганцю твердим вуглецем при відновленні з манган монооксиду	136

Serikov Ya.O. Implementation of system analysis in human health protection in the «human - personal computer» system	139
Часов Д.П., Бейгул В.О., Серілко Д.Л., Гільмутдінов Р.Ф., Пузирецький І.С. До питання визначення критичних навантажень конструктивних елементів гвинтових конвеєрів	144
Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Похвалітій А.А., Кондрашенков Д.С., Круть А.В. Режими попереднього підігріву металобрухту в кисневому конвертері	146
Шкретієнко Д.В., Зибайло С.М. Моделювання процесів та обладнання для переробки відходів пластичних мас	151

Наукове видання

**VIII Міжнародна конференція
«Інноваційні технології в науці та освіті.
Європейський досвід»**

20 - 24 грудня 2025 р., Дніпро, Україна

МАТЕРІАЛИ

/статті, доповіді, тези доповідей, аналітичні матеріали/
Українською та англійською мовами

Відповідальні за випуск: Хохлова Т. С., Ступак Ю. О.

Укладачі: Хохлова Т. С., Ступак Ю. О.

Комп'ютерна верстка Ступак Ю. О.

Технічний редактор Ступак Ю. О.

Здано на складання 23.12.25. Підписано до друку 26.12.25.

Електронне видання.

Ум. друк. арк. 19,5. Обл.-вид. арк. 18,2. Зам. №02-24

Видавництво «Журфонд»
49001, Дніпро, вул. Старокозацька, 8.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
ДК №684 від 21.11.2001 р.

Підготовлено до публікації:

ТОВ «Дніпровський освітній центр»
49000, Україна, м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського, 1/2

Колектив авторів

М34 VIII Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті.
Європейський досвід»: Матеріали. Електронне видання. – Дніпро: Журфонд,
2025. – 157 с.

ISBN 978-617-8737-45-0

До збірника матеріалів VIII Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (20-24 грудня 2025 р., Дніпро, Україна)* увійшло 29 доповідей (статті, тези), що надійшли до оргкомітету та були прийняті до опублікування.

* конференцію було включено УкрІНТЕІ до Плану МОН України проведення наукових, науково-технічних заходів на 2025 рік., з проведенням у м. Гельсінкі (Фінляндія), але через складні обставини, пов'язані з воєнним станом, за узгодженням з титульними організаторами (ун-т Аалто, ун-т Алгарве) конференцію вирішили провести в повністю «заочному» форматі, у м. Дніпро (УДУНТ), без виїзду учасників до університету Аалто

УДК 658.562.012.7