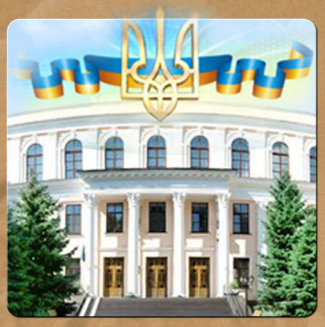


CONFERENCE PROCEEDINGS

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF PERSONNEL TRAINING FOR INDUSTRY AND TRANSPORT

ITPTIT'2025

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ТРАНСПОРТУ»

Відкрите Знання

OPEN ACCESS

Навчальний центр «Інфотех»
AUTODESK
Silver Partner

25 – 26 April 2025

Dnipro University of Technology

SCI-FORUM
NET
UA

Ministry of Education and Science of Ukraine

Dnipro University of Technology
(Ukraine)

Vellore Institute of Technology (India)

Aktobe Regional State University named after K. Zhubanov (Kazakhstan)

Training Center 'Infotech'

Public Organization
Education Center 'Open Knowledge'

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Велорський технологічний інститут (Індія)

Актюбинський регіональний державний університет ім. К. Жубанова (Казахстан)

Учбовий центр «Інфотех»

Громадянська організація
Освітній центр «Відкрите знання»

Innovative Technologies of Personnel Training for Industry and Transport 2025 **(ITPTIT'2025)**

Conference Proceedings

Збірник наукових праць міжнародної конференції

«Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2025»

25-26 April 2025

Ukraine, Dnipro

25-26 квітня 2025 року

Україна, Дніпро

УДК [[622:378.6]:[005.96:004]](082)

С 232

С 232 Збірник наукових праць міжнародної конференції «Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2025». – Дніпро: НТУ «ДП», 2025. – 276 с.

Збірник містить науково-методичні праці студентів, аспірантів, молодих вчених, співробітників ВНЗ, навчальних закладів, представників підприємств і практикуючих фахівців, які розглядають проблеми і сучасні інноваційні рішення в галузі вищої освіти, науки і техніки. Всю повноту відповідальності за зміст наданих матеріалів і сам факт їх публікації несуть автори. Редакція збірника праць може не поділяти думку авторів і не несе відповідальності за недостовірність інформації, що публікується. Редакція не несете ніякої відповідальності перед авторами і/або третіми особами і організаціями за можливі збитки, викликаний публікацією матеріалів.

Innovative Technologies of Personnel Training for Industry and Transport 2025 (ITPTIT'2025). Conference Proceedings. (2025) Ukraine, Dnipro: DUT, 276 p.

ITPTIT'2025 is a comprehensive conference covering all the various topics of High Education, Engineering Personnel Training for the Mining and Transport Industry, Innovation Research in Technical Sciences.

Authors are notified, that it is the responsibility of the authors, not the publisher, to determine whether disclosure of their material requires the prior consent of other parties and, if so, to obtain it. Authors are also advised that it shall be acknowledged that statements and opinions given in work published by ITPTIT are the expression of the authors. Responsibility for the content of published papers rests upon the authors, not the publisher.

ISSN 2311-147X (CD-ROM)
ISSN 2312-198X (Online)

Design and layouting: Ilya Verner
www.sci-forum.net.ua
Technical support: Laboratory of Informational Technology Design
Department of Engineering and Generative Design

© 2025 The Authors. Published by Dnipro University of Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

ORGANIZING COMMITTEE

Chairman – **Kirill Ziborov,** PhD, Dean of Mechanical Engineering Faculty, Dnipro University of Technology;

Secretary – **Dmitro Laukhin,** PhD, Professor, Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology;

SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. **Victor Gristchak** - PhD, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Dnipro University of Technology;

Dr. **Ganna Kononenko** - PhD, Professor, Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology;

Prof. **S. Kalainathan** - Deputy Director, Center for Crystal Growth, SAS, Vellore Institute of Technology (India);

Dr. **Girish M. Joshi** - Associate Professor in Physics, Polymer Nanocomposite Lab, Center for Crystal Growth, Vellore Institute of Technology (India);

Mr. **Serhii Fedoriachenko** - PhD, Associate Professor, Head of Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology;

Ms. **Tatniana Pismenkova** – PhD, Associate Professor, Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology;

Ms. **Lubov Chernova** – Ph.D., PO EC "Open Knowledge";

Technical editor – **Ilya Verner**, Lecturer, Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова оргкомітету конференції – **Зіборов К.А.,** кандидат технічних наук, декан механіко-машинобудівного факультету, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка";

вчений секретар – **Лаухін Д.В.,** доктор технічних наук, професор кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка";

Члени оргкомітету конференції:

Грищак В.З. - доктор технічних наук, Заслужений діяч науки і техніки України, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка";

Кононенко Г.А. - доктор технічних наук, професор кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка";

S. Kalainathan - професор, генеральний директор, Center for Crystal Growth, SAS,Vellore Institute of Technology (Індія);

Girish M. Joshi – кандидат фізичних наук, лабораторія нанополімерних композитів, Центр дослідження кристалів, Велорській технологічний інститут (Індія);

Федоряченко С.О. - кандидат технічних наук, завідувач кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка";

Письменкова Т.О. - кандидат педагогічних наук, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка";

Чернова Л.Є. – кандидат філософських наук, ГО ОЦ «Відкрите знання»;

технічний редактор – **Вернер І.В.**, старший викладач, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

Table of Contents	Зміст	5

Mechanical Engineering and Engineering Science
Машинобудування і машинознавство

Oleksandr Bohdanov, Vitalii Derbaba, Vladyslav Ruban *Optimization of Cutting Modes to Increase the Efficiency of Metal-working on CNC Machines*	***О.О. Богданов, В.А. Дербаба, В.М. Рубан*** *Оптимізація режимів різання для підвищення ефективності металообробки на верстатах з ЧПК*	**13**
Nikita Kerekelytsia, Kostiantyn Medvedskyi, Maksym Balaka *Development of Testing Complex for Tire Wear Research During Operation*	***Н.С. Керекелиця, К.М. Медведський, М.М. Балака*** *Розробка випробувального комплексу для дослідження зносу шин в процесі експлуатації*	**21**
Nadiia Palianychka, Alexandr Kovalov *Research of the Emulsion Dispersion Process Using Computer Modeling in the Ansys Workbench Environment*	***Н.О. Паляничка, О.О. Ковальов*** *Дослідження процесу диспергування емульсій за допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі Ansys Workbench*	**27**
Oleksandr Voichyshen, Kyrylo Andriushchenko, Serhii Patsera *Monte Carlo Simulation of the Design Reliability of Forming Complex Product Surfaces*	***О.Л. Войчишен, К.В. Андрющенко, С.Т. Пацера*** *Моделювання методом Монте Карло проєктної надійності формоутворення складних поверхонь виробів*	**32**
K.S. Gushchin, V.A. Derbaba, V.M. Ruban *Development of a Technology for Manufacturing a Mould Half Matrix*	***К.С. Гущин, В.А. Дербаба, В.М. Рубан*** *Розробка технології для виготовлення напівматриці пресформи*	**38**

Nataliia Rott, Dmytro Huzenko *Substantiation of the Construction and Material of the Tank for the Transportation and Storage of Liquefied Hydrocarbon Gases*	***Н.О. Ротт, Д.І. Гузенко*** *Обґрунтування конструкції та матеріалу виготовлення цистерни транспортування і зберігання зріджених вуглеводневих газів*	**44**
Zoia Sazanishvili, Mariia Korniienko *Stress Analysis of Turning Cutting Tools*	***З.В. Сазанішвіл, М.Д. Корнієнко*** *Аналіз навантажень у токарних ріжучих інструментах*	**53**
O.V. Fedoskina, M.M. Yerisov, V.O. Fedoskin *Prerequisites for the Creation of a Small-Sized Modular Crushing and Sorting Plant for Processing Solid Municipal Waste*	***О.В. Федоскіна, М.М.Єрісов, В.О.Федоскін*** *Передумови створення малогабаритної модульної дробільно-сортувальної установки для переробки твердих побутових відходів*	**59**

Transport Technologies and Equipment
Транспортні технології та обладнання

O.M. Zagursky, S.M. Zagurska *Risk Factors of Transportation of Perishable Agricultural Products*	***О.М. Загурський, С.М. Загурська*** *Фактори ризику транспортування швидкопсувної сільськогосподарської продукції*	**63**
V.V. Krivda, K.I. Kornilenko, A.O. Merikova *Documentation Analysis of Traffic Safety in Estimated Suspension Calculation of a Vehicle*	***В.В. Крівда, К.І. Корніленко, А.О. Мерікова*** *Аналіз документації з безпеки руху при оціночному розрахунку підвіски автомобіля*	**69**

Vitalii Krivda, Valentyna Olishevska, Kostiantyn Kornilenko *Possibilities and Prospects of Reciprocating Engine of a Vehicle with a Hybrid Power Unit*	***В.В. Крівда, В.В. Олішевська, К.І. Корніленко*** *Можливості та перспективи поршневого двигуна автомобіля з гібридною енергоустановкою*	***77***
Oleh Pochuzhevskyi, Viktoriia Fedirko, Vitalii Pochuzhevskyi *Impact of the Crisis Events in Ukraine on the European Transport Sector and Adaptation of Logistics to New Conditions*	***О.Д. Почужевський, В.Ю. Федірко, В.Д. Почужевський*** *Вплив кризових подій в Україні на транспортний сектор Європи та адаптація логістики до нових умов*	***82***
Serhiy Cheberyachko, Oleg Deryugin, Bohdan Hrymalo *Justification of the Choice of an Efficient Dump Truck Based on the Analysis of Operating Properties for the Conditions of a Mining Enterprise*	***С.І. Чеберячко, О.В. Дерюгін, Б.В. Грималo*** *Обґрунтування вибору ефективного вантажного автомобіля самоскида на підставі аналізу експлуатаційних властивостей для умов гірничодобувного підприємства*	***88***

Resource and Energy Saving Technologies and Materials
Ресурсо- та енергозберігаючі технології та матеріали

Andrii Khorolskyi *Neural Network Development for Predicting Longwall Mining Performance Indicators*	***А.О. Хорольський*** *Розробка нейронної мережі для прогнозування показників продуктивності очисного вибою*	***99***
Maryna Yelisieieva, Mark Khodus *Comparison of the Regulatory Framework of The European Union and Ukraine in the Issue of Management and Recycling of Construction Waste*	***М.О. Єлісєєва, М.В. Ходус*** *Порівняння нормативної бази європейського союзу та України в питанні управління та рециклінгу будівельних відходів*	***106***

Ihor Chobotko *An Indicative Forecast of the Prospects for the Use of Mining Waste Treatment Technologies For the Next 30 Years*	***І.І. Чоботько*** *Орієнтовний прогноз перспективи використання технологій переробки відходів гірничодобувних підприємств на найближчі 30 років*	**115**

Automation and Mechanization Energy Supply

Автоматизація, енергозабезпечення та механізація

R.O. Gonchar *Directions of Intensification of Technological Processes in Livestock Production*	***Р.О. Гончар*** *Напрямки інтенсифікації технологічних процесів у тваринництві*	**120**

Alternative Energy

Альтернативні джерела енергії

Alexander Pivovarov *Biohydrogen ($BIOH_2$) Obtained by Dark Fermentation*	***О.А. Півоваров*** *Біоводень ($BIOH_2$), отриманий темною ферментацією*	**125**
A.S. Malehina *Biomass As a Source of Renewable Energy for Agriculture: Experience of European Countries and Prospects in Ukraine*	***А.С. Малєгіна*** *Біомаса як джерело відновлюваної енергії для сільського господарства: досвід європейських країн та перспективи в Україні*	**131**

Informational Technologies of Design, Modeling, Design, Modern WEB-technologies

Інформаційні технології проектування, моделювання, дизайну, сучасні WEB-технології

Dmytro Harkavenko, Boris Bahuzh, Maria Korniienko *Computer Modeling of the Contact Problem of the Process of Interaction of Solids*	***Д.В. Гаркавенко, Б.А. Багуж, М.Д. Корнієнко*** *Комп'ютерне моделювання контактної задачі процесу взаємодії твердих тіл*	**140**
Mykola Harkusha *Approaches to Calculating the Hydraulic Characteristics of Waterproofing Structures Made of Metal Corrugated Structures Using the Finite Element Method*	***М.В. Гаркуша*** *Підходи з розрахунку гідравлічних характеристик водопропускних споруд з металевих гофрованих конструкцій методом скінченний елементів*	**145**
Olena Gumen, Nadiia Tykholaz, Mykhailo Vterkovskyi *Optimization of Mechanical Properties Analysis of Materials Using Solidworks*	***О.М. Гумен, Н.А. Тихолаз, М.Я. Втерковський*** *Оптимізація дослідження механічних властивостей матеріалів за допомогою Solidworks*	**152**
Denys Dovhal *Generative Design for Education: Workflow for Creating a Standard Part with Autodesk Fusion 360*	***Д.О. Довгаль*** *Генеративний дизайн в освітньому процесі: алгоритм створення типової деталі в Autodesk Fusion 360*	**157**
Artur Klochko *Decreasing Risk of Data Loss During Communication Between UAVS in Groups*	***А.О. Клочко*** *Зменшення ризику втрати даних під час комунікації між БПЛА в групах*	**162**

Dmytro Pustovoi *Features of Using 3D Modeling and Construction of Associative Drawings of Mechanical Engineering Parts in Autodesk Autocad and Autodesk Inventor Systems*	***Д.С. Пустовой*** *Особливості використання 3D-моделювання і побудови асоціативних креслеників машинобудівних деталей в системі Autodesk Autocad і Autodesk Inventor*	***172***
Yurii Kholodnyak, Alexander Kostikov *Software For Strength Analysis of Beam Structures*	***Ю.С. Холодняк, О.А. Костіков*** *Програмне забезпечення для аналізу на міцність балочних конструкцій*	***177***
Ilya Verner, Elisabeth Anpilohova, Maria Sakhonko *Comparative Analysis of Technologies for Complex Shapes Dependent Poly Modeling in Blender and Autodesk 3Ds Max*	***І.В. Вернер, Є.О. Анпілогова, М.О. Сахонько*** *Порівняльний аналіз технологій залежного полігонального моделювання складних форм у Blender та Autodesk 3Ds Max*	***184***
A.A. Kosolapov, O.V. Hlushkov *On the Task of Building a Rational Structure of Infocommunication in Management Systems*	***А.А. Косолапов, О.В. Глушков*** *Про задачу побудови раціональної структури інфокомунікацій в системах управління*	***191***

Applied Geometry, Engineering Graphics, Ergonomics, Life Safety

Прикладна геометрія, інженерна графіка, ергономіка і безпека життєдіяльності

Olga Kriukovska *Assessment of Hazards and Occupational Risks During the Operation of Thermal Power Equipment and Systems: a Case Study of ZIP LLC*	***О.А. Крюковська*** *Оцінка небезпек та професійних ризиків при експлуатації теплоенергетичного обладнання та систем на прикладі тов ПП "ЗІП"*	***196***

Information Technology in Education
Інформаційні технології в освіті

Oleksandr Kletskov, Oleg Onopriienko *The Use of Artificial Intelligence in Teaching Technical Disciplines*	***О.М. Клєцков, О.Д. Онопрієнко*** *Використання штучного інтелекту при викладанні технічних дисциплін*	***202***
Andrii Khorolskyi *Practical Aspects of Using AI-Based Services for Creating and Processing Multimedia Objects in the Teaching of Informatics According to the New Education Standard*	***А.О. Хорольський*** *Практичні аспекти застосування сервісів на основі штучного інтелекту для створення та опрацювання об'єктів мультимедіа в процесі викладання інформатики за новим стандартом освіти*	***211***
Viktoriia Shevchuk, Oleksandra Lytvynchuk, Maksym Balaka *Conceptual Model Development of Database for Learning Results Assessment*	***В.Г. Шевчук, О.К. Литвинчук, М.М. Балака*** *Розробка концептуальної моделі бази даних для оцінювання результатів навчання*	***219***
Svitlana Nuzhna *Interactive Online Technologies in Training Agricultural Engineers: Experience of Using the Moodle Platform*	***С.А. Нужна*** *Інтерактивні онлайн-технології в навчанні агроінженерів: досвід використання платформи Moodle*	***227***
N.V. Rudenko, N.D. Volkova *Innovative Approaches to Higher Education in the Context of Digital Transformation and Global Challenges*	***Н.В. Руденко, Н.Д. Волкова*** *Інноваційні підходи у вищій освіті в умовах цифрової трансформації та глобальних викликів*	***236***

Oleksandr Nosykov, Oleh Sytnyk *Establishing a Unified Information Environment at the National Aerospace University: Challenges, Solutions, and Development Perspectives*	***О.С. Носиков, О.О. Ситнік*** *Формування єдиного інформаційного простору національного аерокосмічного університету: виклики, рішення, перспективи розвитку*	**246**

Humanities Education Issues

Гуманитарные проблемы образования

A.V. Vakulenko *Features of Functioning of a Scientific Student Club for Technical Specialties*	***А.В. Вакуленко*** *Особливості функціонування наукового гуртка для здобувачів технічних спеціальностей*	**253**
Tetiana Oliinyk, Liudmila Sklyar, Nataliia Kushniruk *Professional Competencies of Academic and Teaching Staff as the Foundation for High-Quality Training of Mining and Metallurgical Industry Specialists*	***Т.А.Олійник, Л.В.Скляр, Н.В.Кушнірук*** *професійні компетентності науково-педагогічних працівників основа якісної підготовки фахівців гірничо-металургійного комплексу*	**259**
O.M. Otych *Development of Inclusive University Infrastructure as a Mechanism for Ensuring Barrier-Free Higher Education*	***О.М. Отич*** *Розвиток інклюзивної інфраструктури університету як механізм забезпечення безбар'єрності вищої освіти*	**266**
Authors Index	*Авторський покажчик*	**274**
About the Conference Organizers	*Організатори конференції*	**276**

УДК 621.9

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТАЛООБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

О.О. Богданов[1], В.А. Дербаба[2], В.М. Рубан[3]
[1]e-mail: bohdanov.o.o@nmu.one
[2]e-mail: derbaba.v.a@nmu.one
[3]e-mail: ruban.v.m@nmu.one
[1,2,3]доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі розглядається проблема оптимізації режимів різання при фрезеруванні на верстатах із числовим програмним керуванням (ЧПК). Запропоновано математичну модель для визначення оптимальних параметрів різання, яка враховує технічні обмеження та забезпечує мінімізацію собівартості обробки. Проведено порівняльний аналіз часу обробки при стандартних та оптимізованих режимах різання для фрез різних діаметрів. Результати досліджень демонструють значне скорочення часу обробки та покращення економічної ефективності процесу.

Ключові слова: різальний інструмент, механічна обробка, оптимізація, технологічна оснастка, режими різання, фрезерування.

OPTIMIZATION OF CUTTING MODES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF METALWORKING ON CNC MACHINES

Oleksandr Bohdanov[1], Vitalii Derbaba[2], Vladyslav Ruban[3]
[1]e-mail: bohdanov.o.o@nmu.one
[2]e-mail: derbaba.v.a@nmu.one
[3]e-mail: ruban.v.m@nmu.one
[1,2,3]Associate Professor of the Department of technology engineering and materials science Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. This article considers the problem of optimizing cutting modes during milling on CNC machines. A mathematical model is proposed to determine the optimal cutting parameters, which takes into account technical limitations and ensures minimization of processing costs. A comparative analysis of processing time for standard and optimized cutting modes for cutters of different diameters is carried out. The research results demonstrate a significant reduction in processing time and improvement in the economic efficiency of the process.

Keywords: cutting tool, machining, optimization, technological equipment, cutting modes, milling.

Вступ. Оптимізація режимів різання є одним із ключових завдань сучасного металообробного виробництва. Це пов'язано з постійним зростанням вимог до продуктивності, якості обробки та економічної ефективності. Особливо актуальним це питання стає при використанні верстатів з ЧПК, де можливість точного налаштування параметрів різання дозволяє досягти значних переваг [1–3].

У науковій літературі широко представлені дослідження, присвячені оптимізації режимів різання. Так, у роботах [4-6] розглядаються методи математичного моделювання процесів різання, а також застосування методів лінійного програмування для вирішення задач оптимізації. У [7–10] акцент робиться на вплив режимів різання на знос інструменту та якість поверхні. Однак, більшість існуючих досліджень зосереджуються лише на окремих аспектах проблеми, не надаючи комплексного підходу до вирішення задачі.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі для визначення оптимальних режимів різання при фрезеруванні на верстатах з ЧПК, яка враховує технічні обмеження та забезпечує мінімізацію собівартості обробки. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

1) Проаналізувати існуючі методи оптимізації режимів різання.

2) Розробити математичну модель, яка враховує технічні обмеження процесу фрезерування.

3) Провести порівняльний аналіз стандартних та оптимізованих режимів різання для фрез різних діаметрів.

Матеріал і результат досліджень.

Оптимізація режимів різання передбачає визначення таких параметрів, як швидкість різання, подача інструменту та глибина різання, які забезпечують максимальну ефективність процесу обробки. Основними методами оптимізації є:

- Методи математичного моделювання, які дозволяють описати процеси різання через систему рівнянь [11].

- Методи лінійного програмування, які застосовуються для одночасної оптимізації декількох параметрів [12].

- Емпіричні формули, які враховують специфіку оброблюваного матеріалу та інструменту [13].

У даній роботі використовується метод лінійного програмування, який дозволяє врахувати обмеження за потужністю приводу, стійкістю інструменту, жорсткістю системи та іншими факторами.

Математична модель процесу фрезерування містить систему технічних обмежень та цільову функцію. Як цільова функція прийнята собівартість обробки, яка виражається через режими різання. Система обмежень включає [14-17]:

Обмеження за потужністю приводу головного руху верстата.

$$n^{1-w} \cdot S_z^y \le \frac{1020 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot N_в \cdot \eta}{10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot B^n \cdot D^{1-q} \cdot \pi \cdot z \cdot K_{mp}}, \quad (1)$$

де Nв = 11,2 кВт – потужність верстата; η = 0,85 – коефіцієнт корисної дії верстата; Cpz = 825, x = 1, y = 0,75, u = 1,1, q = 1,3, w = 0,2 – коефіцієнти за довідниками; t = 1,1 – глибина різання, мм; B = 1,35 – ширина фрезерування, мм; D = 50 – діаметр фрези, мм; T = 180 – стійкість фрези, хв.; z = 5 – кількість зубів фрези; K_{mp} = 0,98.

Обмеження за стійкістю інструменту.

$$n \cdot S_z^y \le \frac{1000 \cdot C_v \cdot D^{1-q} \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot B^u \cdot \cdot \pi \cdot z^p}, \quad (2)$$

де Cv = 332, q = 0,2, m = 0,2, x = 0,1, y = 0,4, u = 0,2, p = 0 – коефіцієнти за довідниками; Kv = Kmv·Kпв·Kиv, Kmv = 1,06 – коефіцієнт який враховує якість оброблюємого матеріалу; Kпв·= 1 – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки; Kиv = 1 – коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту; Kv = 1,06.

Обмеження за жорсткістю інструменту.

$$n^w \cdot S_z^y \le \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot f \cdot D^q}{10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot B^n \cdot L_{вф}^3 \cdot K_{mp} \cdot K}, \quad (3)$$

де E = 2,1·105 Н/мм^2– модуль пружності матеріалу державки; I – момент інерції перерізу державки; f – допустима величина відтиску фрези; Lвф – виліт фрези; Kmp, K – коефіцієнти.

Обмеження за точністю обробки.

$$n^{-w} \cdot S_z^y \le \frac{T_H \cdot D^q}{10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot B^n \cdot z \cdot K_{mp} \cdot \omega \cdot K}, \quad (4)$$

де ω – піддатливість технологічної системи; Tн – величина допуску розміру, який оброблюється.

Обмеження за шорсткістю обробленої поверхні.

$$S_z \le 2{,}82 \cdot r^{0,5} \cdot R_z^{0,5}, \quad (5)$$

де r – радіус заокруглення різальної кромки; Rz – розрахункова величина нерівностей.

Обмеження за мінімальними та максимальними обертами шпинделя.

$$n \ge n_{\min}. \quad (6)$$

$$n \le n_{\max}. \quad (7)$$

Обмеження за мінімальною та максимальною подачею.

$$n \cdot S_z \geq \frac{S_{хв\min}}{z}. \quad (8)$$

$$n \cdot S_z \leq \frac{S_{хв\max}}{z}. \quad (9)$$

Вибрані технічні обмеження разом із цільовою функцією дозволяють побудувати математичну модель процесу обробки. Як цільову функцію прийнято собівартість операції F, яка виражається через режими обробки у вигляді [16]

$$F = \frac{C}{n \cdot S}, \quad (10)$$

де коефіцієнт C залежить від умов обробки, але не залежить від режимів різання.

Цільова функція буде мати наступний вигляд:

$$F = \ln(n) + \ln(S) \to \max. \quad (11)$$

Подача множиться на 100, щоб уникнути отримання негативних значень логарифмів. Введемо позначення: y = ln(n), x = ln(100·S_Z).

Для полегшення проведення математичних обчислень всі обмеження та цільова функція були приведені до лінійного вигляду шляхом логарифмування. Розрахунки проводилися з використанням пакету MathCad та додатку Geogebra [16].

В загальному вигляді система обмежень для фрезерної обробки буде мати вигляд:

$$\left.\begin{aligned}
&(1-w)\cdot\ln(n) + y^p \cdot \ln(100\cdot S_z) \leq \ln\left(\frac{1020\cdot 60\cdot 10^3 \cdot N_в \cdot \eta}{10\cdot C_{pz}\cdot t^x \cdot B^n \cdot D^{1-q}\cdot \pi \cdot z \cdot K_{mp}}\right)\\
&\ln(n) + y^v \cdot \ln(100\cdot S_z) \leq \ln\left(\frac{1000\cdot C_v \cdot D^{1-q}\cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot B^u \cdot\cdot \pi \cdot z^p}\right)\\
&w\cdot\ln(n) + y^v \cdot \ln(100\cdot S_z) \leq \ln\left(\frac{3\cdot E\cdot I\cdot f\cdot D^q}{10\cdot C_{pz}\cdot t^x \cdot B^n \cdot L^3_{вф}\cdot K_{mp}\cdot K}\right)\\
&-w\cdot\ln(n) + y^p \cdot \ln(100\cdot S_z) \leq \ln\left(\frac{T_H \cdot D^q}{10\cdot C_{pz}\cdot t^x \cdot B^n \cdot z \cdot K_{mp}\cdot \omega \cdot K}\right)\\
&\ln(100\cdot S_z) \leq \ln(2{,}82\cdot r^{0,5}\cdot R_z^{0,5})\\
&\ln(n) \geq \ln(n_{\min})\\
&\ln(n) \leq \ln(n_{\max})\\
&\ln(100\cdot S_z) \geq \ln\left(\frac{100\cdot S_{хв\min}}{n\cdot z}\right)\\
&\ln(100\cdot S_z) \leq \ln\left(\frac{100\cdot S_{хв\max}}{n\cdot z}\right)\\
&F = \ln(n) + \ln(100\cdot S_z) \to \max
\end{aligned}\right\} \quad (12)$$

Визначення оптимальних режимів обробки за моделлю (12) виконаємо графічним способом. Визначення оптимальних режимів різання графічним методом приведено на рисунку 1. Цифрами від 1 до 9 на ньому позначені криві технічних обмежень, многокутник ABCDE – многокутник рішень. Визначив координати точок A, B, C, D та E, знайдемо точку, яка буде задовольняти умові F = y + x → max.

Координати точок: A (0,65; 8,01); B (3,23; 6,978), C (3,23; 2,3); D (-2,71; 2,3); , E (-2,71; 8,01). Точка максимуму – B. Оптимальні значення режимів різання:

$$Sz = e^{3,23}/100 = 0,25 \text{ мм/зуб};$$
$$n = e^{6,978} = 1027,27 \text{ об/хв.};$$
$$V = 168,42 \text{ м/хв.};$$
$$T_0 = 0,14 \text{ хв.}$$

Режими різання без оптимізації для фрези Ø50 мм.

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p}, \quad (13)$$

$$V = \frac{332 \cdot 50^{0,2} \cdot 1,06}{180^{0,2} \cdot 1,1^{0,1} \cdot 0,28^{0,2} \cdot 1,35^{0,2} \cdot 5^0} = 422,78 \text{ м/хв.},$$

Частота обертів шпинделю:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (14)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 422,78}{\pi \cdot 50} = 2691,5 \text{ об/хв.}$$

Час фрезерування:

$$T_0 = \frac{L}{S_z \cdot n} = \frac{180 + 8 + 1,5}{0,28 \cdot 2691,5} = 0,25 \text{ хв.} \quad (15)$$

За попереднім алгоритмом визначено оптимальні режими різання для фрез діаметром 50, 63, 66, 80, 100 мм. Потім визначено режими різання за стандартними формулами без оптимізації для фрез діаметром 50, 63, 66, 80, 100 мм. Отримані данні для режимів різання приведено в таблицях 1 та 2.

З таблиць 1-2 та графіка (рис. 1) слід, що без оптимізації найменший час на обробку дорівнює 0,25 хв. при використанні фрези діаметром 50 мм, найбільший час на обробку – 0,45 хв. та фреза діаметром 100 мм.

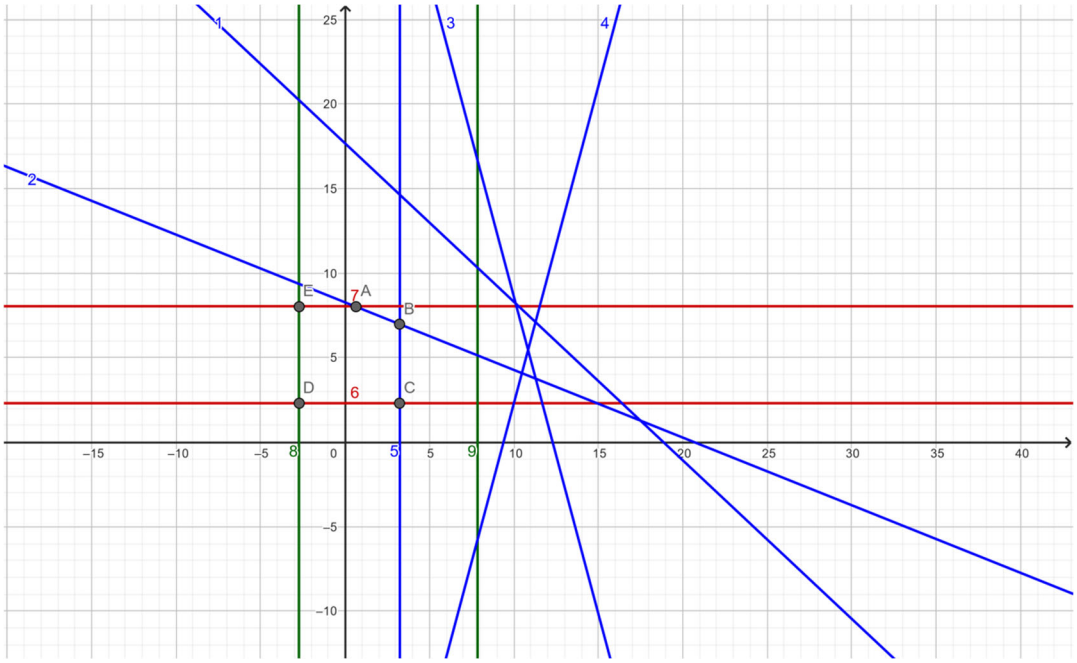


Рис. 1. – Графічне рішення задачі (діаметр фрези 50 мм) з технічними обмеженнями: 1 – за потужністю приводу головного руху верстата, 2 – за стійкістю інструмента, 3 – за жорсткістю інструмента, 4 – за точністю обробки, 5 – за шорсткістю обробленої поверхні, 6 – за мінімальними обертами шпинделя, 7 – за максимальними обертами шпинделя, 8 – за мінімальною подачею, 9 – за максимальною подачею

Таблиця 1. – Режими різання за стандартними формулами

Діаметр фрези D, мм	Подача на зуб Sz, мм/зуб	Частота обертів шпинделя n, об/хв	Довжина різання L, мм	Швидкість різання V, м/хв.	Час обробки To, хв.
50	0,28	2691,5	189,5	422,78	0,25
63	0,28	2237,16	189,5	442,78	0,3
66	0,28	2155,44	192	446,92	0,32
80	0,28	1847,98	192	464,45	0,37
100	0,28	1545,86	195	485,65	0,45

Після визначення оптимальних режимів різання (подача на зуб та частота обертів шпинделя) для фрез того ж ряду діаметрів час на обробку значно скоротився: при використанні фрези найменшого діаметру 50 мм на 44%, при використанні фрези найбільшого діаметру 100 мм на 64%.

Таблиця 2. – Оптимізовані режими різання

Діаметр фрези D, мм	Подача на зуб Sz, мм/зуб	Частота обертів шпинделя n, об/хв	Довжина різання L, мм	Швидкість різання V, м/хв.	Час обробки To, хв.
50	0,25	1072,77	189,5	168,42	0,14
63	0,25	896,05	189,5	177,26	0,14
66	0,25	862,64	192	178,77	0,15
80	0,25	741	192	186,14	0,15
100	0,25	620,17	195	194,73	0,16

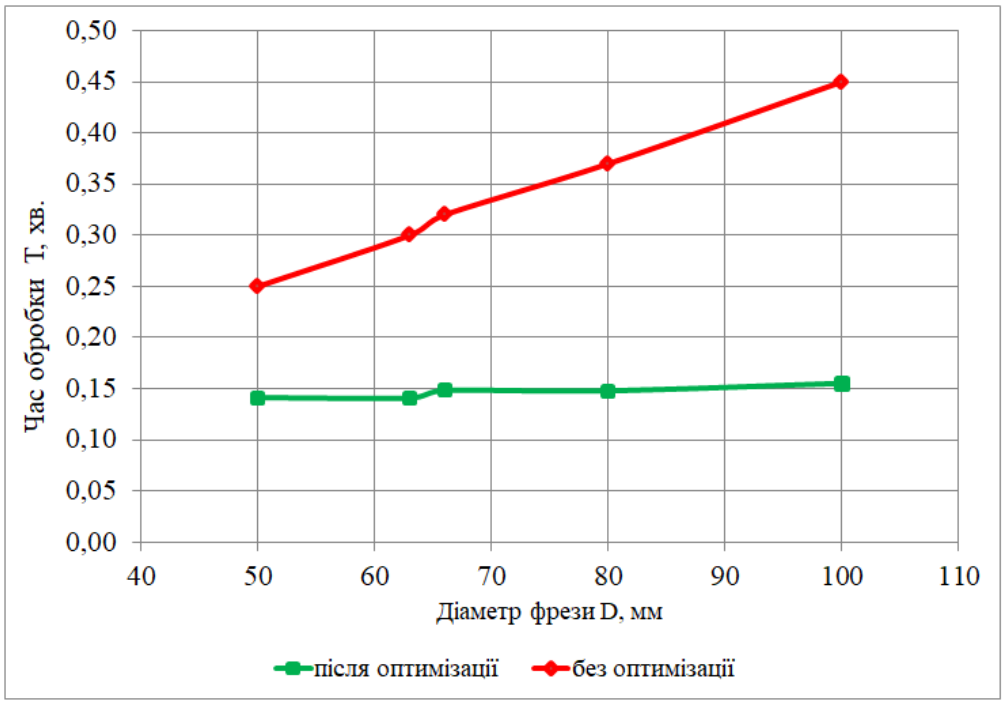


Рис. 2. – Графік залежності часу обробки від діаметру фрези

Крім того встановлено, що при оптимізованих параметрах режиму різання, час на обробку суттєво не залежить від діаметру фрези та знаходиться в межах T_0 = 0,14÷0,16 хвилин.

Висновки. Розглянуто оптимізацію режимів різання для фрезерування поверхні деталі. Розроблена математична модель для визначення оптимальних значень частоти обертів шпинделя та подачі на зуб. Проведено розрахунки оптимальних режимів різання для діаметрів фрез від 50 до 100 мм.

Обґрунтовано, що при фрезеруванні площини довжиною 180 мм фрезою Ø50 мм оптимальні значення подачі на зуб Sz та частоти обертів шпинделя n становлять 0,25 мм/зуб та 1072,77 об/хв., фрезою Ø63 мм – Sz = 0,25 мм/зуб, n = 896,05 об/хв., фрезою Ø66 мм – Sz = 0,25 мм/зуб, n = 862,64

об/хв., фрезою Ø80 мм – Sz = 0,25 мм/зуб, n = 741 об/хв., фрезою Ø100 мм – Sz = 0,25 мм/зуб, n = 620,17 об/хв.

Встановлено, що при використанні отриманих параметрів режимів різання (Sz та n) час на обробку площини довжиною 180 мм скоротився у порівнянні з режимами різання, які отримані за стандартними формулами, для фрези найменшого діаметру 50 мм на 44%, при використанні фрези найбільшого діаметру 100 мм на 64%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Іванов В. А., Петренко О. М. Оптимізація режимів різання у металообробці. – Київ: Наукова думка, 2019. – 256 с.

2. Сидоренко А. В. Методи математичного моделювання у металообробці. – Львів: ЛНТУ, 2020. – 180 с.

3. Коваленко М. Д. Лінійне програмування у задачах оптимізації. – Харків: ХНУ, 2018. – 200 с.

4. Федоров Ю. М. Технологія механічної обробки металів. – Дніпро: ДНУ, 2021. – 300 с.

5. Григоренко В. Л. Емпіричні формули для розрахунку режимів різання. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 150 с.

6. Оптимізація механічної обробки тіл обертання : монографія / В.Є. Карпусь, О.В. Котляр, В.О. Іванов.; за ред. В.Є. Карпуся. – Харків : НТМТ, 2012. – 296 с.

7. Бондаренко С. П., Кузьменко А. В. Оптимізація процесів фрезерування на верстатах із ЧПК. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2020. – 220 с.

8. Петренко Л. М. Вплив режимів різання на знос інструменту при обробці сталей. – Харків: НТУ "ХПІ", 2019. – 190 с.

9. Васильєв О. І. Якість поверхні при фрезеруванні твердосплавними інструментами. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 170 с.

10. Кравець Р. М. Моделювання процесів різання для підвищення ефективності металообробки. – Львів: Львівська політехніка, 2018. – 200 с.

11. Дмитрієв А. С. Математичні методи в технологіях металообробки. – Дніпро: ДМетІ, 2020. – 230 с.

12. Мельник В. Г. Лінійне програмування в задачах оптимізації технологічних процесів. – Одеса: ОНПУ, 2019. – 180 с.

13. Шевченко І. В. Емпіричні методи визначення параметрів різання для сучасних інструментів. – Харків: ХДПУ, 2021. – 160 с.

14. Математичне моделювання та оптимізація процесів металообробки : монографія / Ф.В. Новіков. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 384 с.

15. Optimization of product processing modes in modeling and programming of machining on machine tools with program control / V. Ruban, V. Derbaba, O. Bohdanov, Ye. Shcherbyna // Національний гірничий університет. Збірник наукових праць. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. – № 72. – С. 222-238. https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.222

16. Щербина Є.Ю. Оптимізація режимів різання при фрезеруванні площини / Щербина Є.Ю., Богданов О.О. // «Наукова весна» 2024: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 27–29 березня 2024 року /

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – С . 26-27.

17. Богданов О. О. Використання пакетів прикладних програм при визначенні оптимальних режимів різання / О. О. Богданов, В. У. Григоренко // Національний гірничий університет. Збірник наукових праць. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. – № 72. – С. 194-201. https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.194

УДК 620.178.4:621.878.2

РОЗРОБКА ВИПРОБУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ ШИН В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Н.С. Керекелиця[1], К.М. Медведський[2], М.М. Балака[3]
[1]студент групи БМО-22, e-mail: kerekelytsia_ns-2022@knuba.edu.ua
[2]студент групи БМО-22, e-mail: medvedskyi_km-2022@knuba.edu.ua
[3]доцент кафедри будівельних машин, e-mail: balaka.mm@knuba.edu.ua
[1,2,3]Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Анотація. У роботі розглянуто питання підвищення достовірності результатів дослідження абразивного зносу протектора шин самохідних транспортно-технологічних машин шляхом удосконалення випробувальної бази. Запропоновано конструктивне рішення випробувального комплексу, який поєднує самохідний скрепер та стаціонарний стенд, оснащений інформаційно-вимірювальною системою збору і обробки даних.

Ключові слова: знос шин, самохідний скрепер, експлуатація, взаємодія, ґрунт, стаціонарний стенд, випробувальний комплекс.

DEVELOPMENT OF TESTING COMPLEX FOR TIRE WEAR RESEARCH DURING OPERATION

Nikita Kerekelytsia[1], Kostiantyn Medvedskyi[2], Maksym Balaka[3]
[1]Student of BMO-22 group, e-mail: kerekelytsia_ns-2022@knuba.edu.ua
[2]Student of BMO-22 group, e-mail: medvedskyi_km-2022@knuba.edu.ua
[3]Associate Professor of Construction Machinery Department, e-mail: balaka.mm@knuba.edu.ua
[1,2,3]Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Abstract. The paper considers the issue of increasing the reliability of abrasive wear research results for tire tread of self-propelled transport and technological machines by improving the testing base. The constructive decision for the testing complex combining the self-propelled scraper and the stationary stand equipped with an information and measuring data collection and processing system is proposed.

Keywords: tire wear, self-propelled scraper, operation, interaction, soil, stationary stand, testing complex.

Вступ. Адекватність узагальненої моделі абразивного зносу протектора шин самохідних транспортно-технологічних машин (кар'єрних автомобілів-самоскидів, землерийно-транспортних і навантажувальних машин, тягачів) значною мірою визначається достовірністю вихідних даних. Насамперед це стосується параметрів реологічних моделей пневматичних шин та ґрунтів [1–3], а також характеристик процесу стирання протекторної гуми [4–7].

Дослідження параметрів реологічних моделей шин залежно від конструктивних особливостей і внутрішнього тиску доцільно здійснювати у стаціонарних умовах – на стендах або лабораторних установках. У свою чергу, вивчення впливу експлуатаційних факторів на знос шин більш ефективне при використанні мобільних випробувальних комплексів.

У науково-технічній літературі та патентних джерелах описано низку схем стендових установок, призначених для випробування одинарних коліс з пневматичними шинами. Незважаючи на те, що кожна з них реалізує окремі аспекти процесу кочення еластичного колеса, зазначені рішення, за умови відповідної модифікації, можуть бути використані як основа для створення спеціалізованого випробувального комплексу для дослідження зносу протектора шин в процесі експлуатації.

Мета роботи полягає в розробці конструктивного рішення випробувального комплексу для дослідження зносу шин самохідних транспортно-технологічних машин і впливу експлуатаційних факторів на цей процес.

Матеріал і результат досліджень. На основі проведеного аналізу технічних рішень існуючих на сьогодні стендів для дослідження та випробування пневматичних шин розроблено їх класифікацію за функціональними ознаками та принципами реалізації дослідних процесів [5, 8].

Для забезпечення комплексного вивчення зносу протектора шин, а також оцінювання впливу на нього параметрів реологічних моделей шин, характеристик ґрунтів і умов експлуатації самохідного скрепера, випробувальний комплекс, на нашу думку, має реалізовувати повний набір взаємозв'язків типу «ознака – характеристика» [6, 8–13]. Тому найбільш повно вказаним вимогам, очевидно, відповідатиме наступна структура:

1) для дослідження зносу шин в процесі експлуатації – самохідний скрепер, оснащений інформаційно-вимірювальною системою;

2) для дослідження параметрів реологічних моделей шини і ґрунту – стаціонарний стенд із встановленим на ньому скрепером, який обладнано аналогічною інформаційно-вимірювальною системою.

В результаті пропонується схема випробувального комплексу «стаціонарний стенд – скрепер самохідний» (рис. 1), на якій позначено: 1 – стійка-ліжко; 2 – плита опорна передня; 3 – гідроциліндр управління передньою

опорною плитою; 4 – плита опорна задня; 5 – ємність з ґрунтом; 6 – тяга динамометрична; 7 – гідроциліндр навантажувальний; 8 – муфта «миттєвого» розвантаження; 9 – самохідний скрепер.

Підготовка випробувального комплексу до роботи полягає в наступному. Скрепер 9 заїжджає на стаціонарний стенд своїм ходом і встановлюється над стійкою-ліжком 1 поперечним відносно поздовжньої осі тягача циліндричним шарніром O_1. До напірної та зливної магістралей гідросистеми управління робочим обладнанням скрепера через спеціальні пристрої, що запобігають розгерметизації гідросистеми, приєднуються трубопроводи (напірний та зливний) гідросистеми стенду [14, 15]. За допомогою двох гідроциліндрів управління 3 передніми опорними плитами 2 при втягуванні їх штоків шарнір O_1 тягача «сідає» на стійку-ліжко 1 і передній міст тягача розвантажується від вертикального навантаження.

До точки O_2 буферної рами скрепера 9 шарнірно кріпиться муфта «миттєвого» розвантаження 8. Навантажувальний гідроциліндр 7 підключається до гідросистеми стенда, а вільний кінець штока, обладнаний спеціальним наконечником, вводиться в центральний отвір муфти «миттєвого» розвантаження 8 і при висування штока – жорстко зіштовхується з муфтою. Після цього стенд підготовлений до проведення досліджень параметрів реологічної моделі пневматичної шини, а за необхідності, і ґрунтів.

На стенді, шляхом навантаження шини гідроциліндром 7, можуть зніматися статичні характеристики нормальної жорсткості шини, тобто залежності $P_z = P_z(z)$. При цьому вертикальне навантаження на шину вимірюється тензометричними датчиками, встановленими на динаметричній тязі 6, а деформація шини – багатофункціональним датчиком.

При знятті кривих загасаючих коливань шини шляхом спрацьовування муфти «миттєвого» розвантаження 8 під дією максимального навантаження на штоку гідроциліндра 7 на реєструвальному приладі стенда записуються сигнали відповідних вимірювальних пристроїв (табл. 1).

Слід мати на увазі, що в конструкції стаціонарного стенда передбачена установка в задній опорній плиті 4 ємності з ґрунтом 5. Це дає можливість проведення досліджень на різних за фізико-механічними властивостями ґрунтах при динамічному впливі пневматичних шин [6, 11]. При визначенні параметрів реологічної моделі шини ємність з ґрунтом 5 знімається з плити 4 і шина взаємодіє з жорсткою плитою (див. виносний елемент *А* на рис. 1), в якій розміщується датчик нормальних контактних напружень.

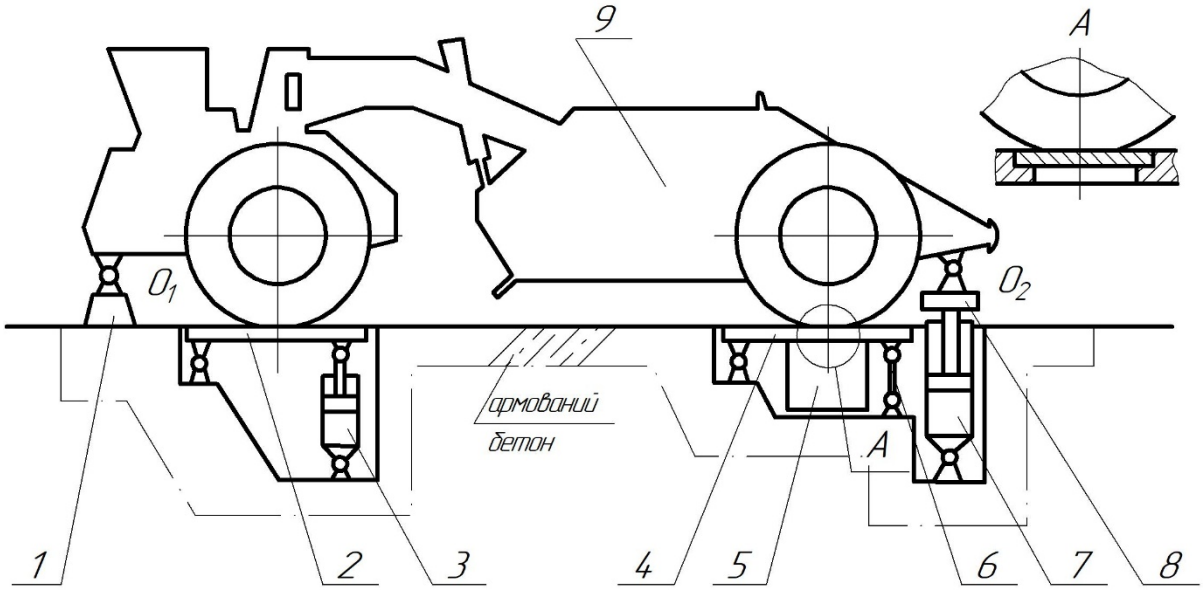


Рис. 1. – Схема випробувального комплексу «стаціонарний стенд – скрепер самохідний»; виносний елемент *А* при взаємодії шини з опорою, що не деформується (ємність з ґрунтом 5 знята)

Таблиця 1. – Інформаційно-вимірювальна система

Завдання	Вимірювальний пристрій (ВП)	Місце розміщення	
		ВП	РП
Дослідження взаємодії шини з опорною поверхнею, що не деформується	датчик нормальних напружень (ДНН)	еталонна ділянка опорної поверхні	поруч з еталонною ділянкою
	датчик проковзування (ДП1)		
	датчик деформацій шини (ДДШ)	внутрішня поверхня шини	на скрепері (зв'язок РП з ВП, розміченими на частинах, що обертаються, через струмознімальний пристрій
	датчик крутного моменту на півосі (ДКМ)	піввісь тягача	
	датчик кутової швидкості ведучого колеса (ДКШ)	те саме	
	датчик лінійної швидкості скрепера (ДЛШ)	мірне колесо	
Дослідження взаємодії шини з деформівною опорною поверхнею	ДП2	еталонна ділянка опорної поверхні	поруч з еталонною ділянкою
	ДНН	протектор шини	на скрепері (зв'язок РП з ВП, розміченими на частинах, що обертаються, через струмознімальний пристрій
	ДДШ	внутрішня поверхня шини	
	ДКМ	піввісь тягача	
	ДКШ	те саме	
	ДЛШ	мірне колесо	

Дослідження зносу шини при контрольних пробігах	датчик зносу шини (ДЗШ)	протектор шини (на всіх колесах)	лабораторія
Збір статистичної інформації щодо тривалості операцій робочого циклу скрепера	хронометри (8 шт)	кабіна машиніста скрепера	
Дослідження параметрів реологічної моделі шини	ДНН	задня опорна плита стенда	поруч із випробувальним комплексом
	багатофункціональний датчик	зовнішня поверхня шини	
	датчик вертикальних прискорень осі колеса	диск колеса	
	датчик нормального навантаження	тяга між задньою опорною плитою і рамою стенда	
Дослідження параметрів реологічної моделі ґрунту	експрес-лабораторія	еталонна ділянка земляної споруди	—

На скрепер як елемент випробувального комплексу залежно від поставлених дослідницьких завдань встановлюються різні вимірювальні (ВП) та реєструвальні пристрої (РП) (див. табл. 1). Загальну характеристику вимірювальних пристроїв випробувального комплексу наведено в [3, 14, 15]. Основу датчиків, що використовуються для вимірювання різних параметрів при взаємодії пневматичної шини з опорною поверхнею, становлять перетворювачі механічних величин в електричні сигнали.

У складі випробувального комплексу в якості реєструвальних і допоміжних пристроїв використовуються: цифровий осцилограф з високим рівнем віброзахищеності, що живиться від бортової мережі; підсилювач для роботи з датчиком прискорень; спеціальний блок балансування та налаштування вимірювального моста при використанні напівпровідникових тензорезисторів; аналого-цифровий і цифро-аналоговий перетворювач; ноутбук та інші засоби та технічні рішення.

Висновки. Запропонована конструкція випробувального комплексу забезпечує повний набір вимірювань і досліджень абразивного зносу шин самохідних транспортно-технологічних машин та впливу експлуатаційних факторів на цей процес. Разом з тим, використання сучасних вимірювальних пристроїв у складі комплексу дозволяє досягти точних показників та достовірності результатів досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балака М. М. Вплив умов експлуатації на довговічність великогабаритних шин. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків,

2014. Вип. 65–66. С. 79–86. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2014_65-66_15 (дата звернення: 14.04.2025).

2. Pelevin L. E., Abrashkevich Yu. D., Balaka M. N., Arzhaev G. A. Modeling of the interaction process of an elastic wheel with a deformable support surface. *Mining equipment and electromechanics.* 2013. Vol. 7. P. 10–16.

3. Балака М. М., Пелевін Л. Є., Аржаєв Г. О., Василенко А. В. Експериментальні дослідження роботи колеса з пневматичною шиною на опорній поверхні, що деформується. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії.* Херсон, 2013. № 1(8). С. 132–139.

4. Balaka M., Mishchuk D., Palamarchuk D. Suchasni uiavlennia pro mekhanizm znosu protektornykh hum [Modern understanding of the tread rubbers wear mechanism]. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny.* 2021. No. 98. P. 30–36. URL: https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.98.0302 (дата звернення: 14.04.2025).

5. Балака М. М., Бабський В. Р., Міщук Д. О., Санкін І. Є. Дослідження зносу шин скрепера в експлуатаційних умовах. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2024):* матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф. (23–24 трав. 2024 р.). Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. Т. 1. С. 83.

6. Балака М. М. Дослідження часового фактору зносу протектора шин самохідного скрепера. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.* Харків, 2021. Вип. 92, т. 2. С. 116–121. URL: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.2.116 (дата звернення: 14.04.2025).

7. Балака М. Н., Антонков М. А. Проявление различных видов износа при эксплуатации пневматических шин. *Нефть и газ Западной Сибири:* материалы Междунар. науч.-техн. конф. (17–18 окт. 2013 г.). Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. Т. 4. С. 14–16.

8. Пелевін Л. Є., Аржаєв Г. О., Балака М. М. Аналіз технічних рішень випробувальних стендів для дослідження роботи колеса з пневматичною шиною. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини.* Київ, 2007. Вип. 69. С. 64–70.

9. Балака М. М., Міщук Д. О., Гох В. В., Кібаленко В. С. Обґрунтування факторів підвищення ефективності використання самохідних скреперів. *Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн:* тези доп. XXIII Міжнар. онлайн-конф. наук.-пед. працівників, наук. співробітників та аспірантів (11–12 квіт. 2024 р.). К.: НУБіП України, 2024. С. 22–24.

10. Пристайло М. О., Балака М. М., Щербина Т. Ф. Технічні засоби навчання. К.: КНУБА, 2020. 108 с.

11. Balaka M., Gorbatyuk Ie., Mishchuk D., Prystailo M. Characteristic properties of support surfaces for self-propelled scrapers motion. *Fundamental and applied research in the modern world:* Abstracts of the 6th International scientific and practical conference (January 20–22, 2021). Boston, USA, 2021. 53–58.

12. Побийпеч М. О., Хорошун А. В., Балака М. М. Визначення розрахункових зусиль в елементах тягової рами скрепера. *Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2023:* матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. (28–29 квіт. 2023 р.). Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. С. 69–75. URL: https://okmm.nmu.org.ua/ua/2023/ITPTIT2023.pdf (дата звернення: 14.04.2025).

13. Балака М. М., Кім А. О., Міщук Д. О., Ходневич М. М. Особливості робочого циклу і організації скреперних робіт. *Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України:* тези доповідей Міжнар. наук.-практ. онлайн конф. (23–24 верес. 2021 р., м. Київ). К.: НУБіП України, 2021. С. 16–18.

14. Пелевін Л. Є., Балака М. М., Аржаєв Г. О. Мехатронні системи гідропневмоавтоматики. К.: Аграр Медіа Груп, 2014. 192 с.

15. Pelevin L. Ye., Balaka M. M., Prystailo M. O., Machyshyn H. M., Arzhaiev H. O. Teoretychni osnovy vzaiemodii pruzhno-deformovanykh vykonavchykh elementiv budivelnoi tekhniky i robochoho seredovyscha z vrakhuvanniam termoreolohichnykh protsesiv [Interaction theoretical foundations of elastically deformed actuating elements for construction equipment and working environment taking into account thermorheological processes]: monograph. Kyiv: Interservis, 2015. 232.

УДК 637.134.001.57

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ANSYS WORKBENCH

Н.О. Паляничка[1], О.О. Ковальов[2]

[1]доцент кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика, e-mail: nadiia.palianychka@tsatu.edu.ua

[2]старший викладач кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика, e-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua

[1,2]Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Запоріжжя, Україна

Анотація. У роботі представлено дослідження процесу диспергування емульсій за допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі Ansys Workbench. Аналіз процесу здійснювався на прикладі імпульсного гомогенізатора молока, який можна використовувати в технологічних лініях переробки молока та виробництва молочної продукції.

Ключові слова: диспергування, емульсія, Ansys Workbench, моделювання.

RESEARCH OF THE EMULSION DISPERSION PROCESS USING COMPUTER MODELING IN THE ANSYS WORKBENCH ENVIRONMENT

Nadiia Palianychka[1], Alexandr Kovalov[2]

[1]Associate Professor, Department of Processing and Food Production Equipment named after professor F. Yalpachik, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Zaporizhzhya, Ukraine, e-mail: nadiia.palianychka@tsatu.edu.ua

[2]Senior Lecturer Department of Processing and Food Production Equipment named after professor F. Yalpachik, Zaporizhzhya, Ukraine, e-mail: oleksandr_kovalov@tsatu.edu.ua

Abstract. The paper presents a study of the emulsion dispersion process using computer modeling in the Ansys Workbench environment. The process analysis was carried out on the example of a pulsed milk homogenizer, which can be used in technological lines for milk processing and dairy product production.

Keywords: dispersion, emulsion, Ansys Workbench, modeling.

Вступ. Отримання тонкодисперсних емульсій через процес гомогенізації є широко застосовуваним у харчовій, хімічній, фармацевтичній, сільськогосподарській та косметичній промисловостях [1]. Зокрема, у сільському господарстві така технологія є критично важливою для створення пестицидних емульсій. У фармацевтичній галузі – це основа виробництва інгаляційних препаратів, внутрішньовенних емульсій та клітинних лізатів. У парфумерії та косметології гомогенізація забезпечує змішування олій у складні ароматичні суміші.

Особливо поширене використання гомогенізації в харчовій і переробній галузях. Цей процес запобігає розшаруванню при зберіганні таких продуктів як меланжі, згущене молоко, морозиво, майонез, кетчуп тощо.

У молочній індустрії гомогенізація є ключовою технологічною операцією під час виробництва молока, кисломолочних продуктів, консервів, сирів і морозива. Зменшення розміру жирових кульок покращує не лише споживчі якості, а й біодоступність молока, що сприяє кращому засвоєнню поживних речовин.

Попри велику значущість, гомогенізація є однією з найбільш енергоємних операцій [2]. Серед технічних викликів – обмеження потужностей сучасних гомогенізаторів. Тому розробка ефективніших рішень з можливістю керування рівнем дисперсності є нагальною потребою.

Мета роботи полягає в аналізі процесу диспергування емульсій (на прикладі молока) шляхом моделювання в програмному середовищі Ansys Workbench.

Матеріал і результат досліджень. Проведений огляд показав, що на ефективність процесу найбільше впливають тиск у робочій камері та градієнт швидкості рідини [2,3]. Через складність прямих обчислень, було прийнято рішення здійснити моделювання швидкості та тиску за допомогою CFX-модуля системи Ansys Workbench [4,5,6].

Основними змінними у дослідженні виступали частота та амплітуда коливань поршня-ударника. Саме ці параметри визначають швидкість руху молока в імпульсному гомогенізаторі, а відтак – й інтенсивність диспергування.

За допомогою Solidworks було змодельовано тривимірну конструкцію робочої камери пристрою (рис. 1), яку пізніше інтегровано у CFX-модуль [4].

Для розрахунків було використано геометричні параметри та фізико-хімічні характеристики молока: $D = 0{,}3$ м; $d_{вхід} = 0{,}008$ м; $d_{вих} = 0{,}002$ м; $n = 16$; $S_{пор} = 12$ мм; $h = 2–12$ мм; $f = 45–55$ Гц; $\rho_м = 1029$ кг/м³; $\rho_п = 1035$ кг/м³; $\mu = 0{,}00179$ Па·с; $\sigma_{пов\text{-}плазма} = 0{,}054$ Н/м; $\sigma_{пов\text{-}жир} = 0{,}030$ Н/м.

Область моделі поділили на дві: зона отворів у поршнях-ударниках та зона між поршнями і циліндром. На першому етапі було проведено стаціонарний розрахунок методом замороженого ротора (Frozen rotor), який дав змогу оцінити попередній розподіл швидкості й тиску. Найкращі показники виявлено при частоті 55 Гц, яка забезпечує достатню швидкість потоку без надмірного зростання енергоспоживання.

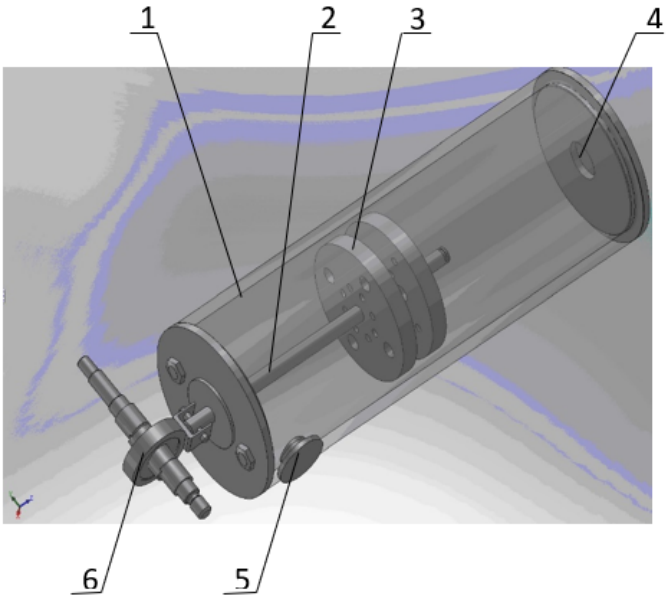


Рис. 1. – Модель робочої камери імпульсного гомогенізатора виконаної в Solidworks: 1 – циліндр; 2 – шток; 3 – поршні-ударники; 4 – патрубок підведення; 5 – патрубок відведення; 6 – кривошипний механізм.

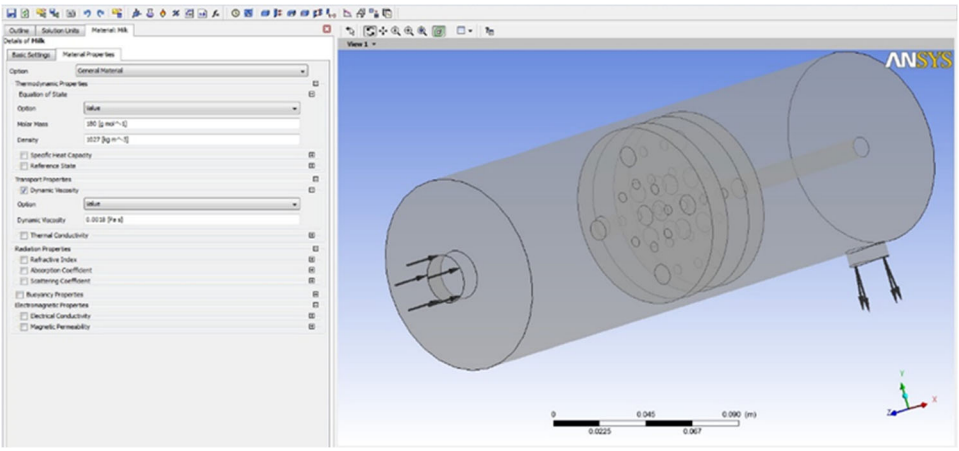


Рис. 2. – Вікно вихідних даних в Ansys Workbench

У нестаціонарному розрахунку застосовано амплітуду 12 мм, що була поділена на 6 інтервалів. Похибка в рівняннях не перевищувала 10^{-5}, що вважається прийнятним рівнем для аналізу рідинної динаміки.

Основним критерієм ефективності гомогенізації був градієнт швидкості. Для цього проаналізовано зміну швидкості потоку молока вздовж камери – від першого поршня до виходу з другого, лінії токів яких представлені на рис. 3.

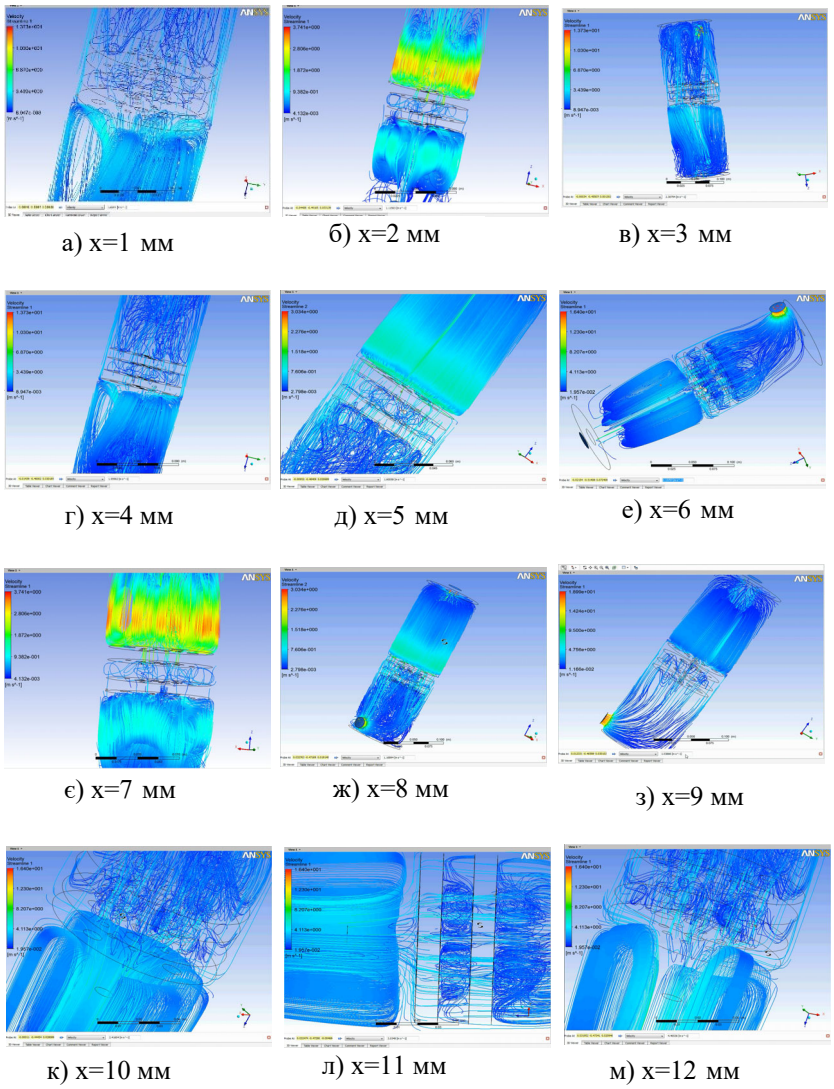


Рис. 3. – Трьохвимірні графіки ліній току розподілу швидкості потоку молока на виході з другого поршня-ударника в залежності від відстані x по довжині робочої камери імпульсного гомогенізатора виконані в Ansys Workbench.

Отримані залежності наведено у вигляді графіку (рис. 4), а самі рівняння мають вигляд:

$$\frac{d\upsilon_1}{dx} = 0{,}0025x^4 - 0{,}0648x^3 + 0{,}5859x^2 - 2{,}0208x + 2{,}2607 \quad (1)$$

$$\frac{d\upsilon_2}{dx} = 0{,}001x^4 - 0{,}0236x^3 + 0{,}245x^2 - 0{,}981x + 1{,}4537 \quad (2)$$

$$\frac{du_3}{dx} = 0,003x^4 - 0,07x^3 + 0,5133x^2 - 1,2852x + 0,9575 \quad (3)$$

$$\frac{du_4}{dx} = 0,0482x + 0,0631 \quad (4)$$

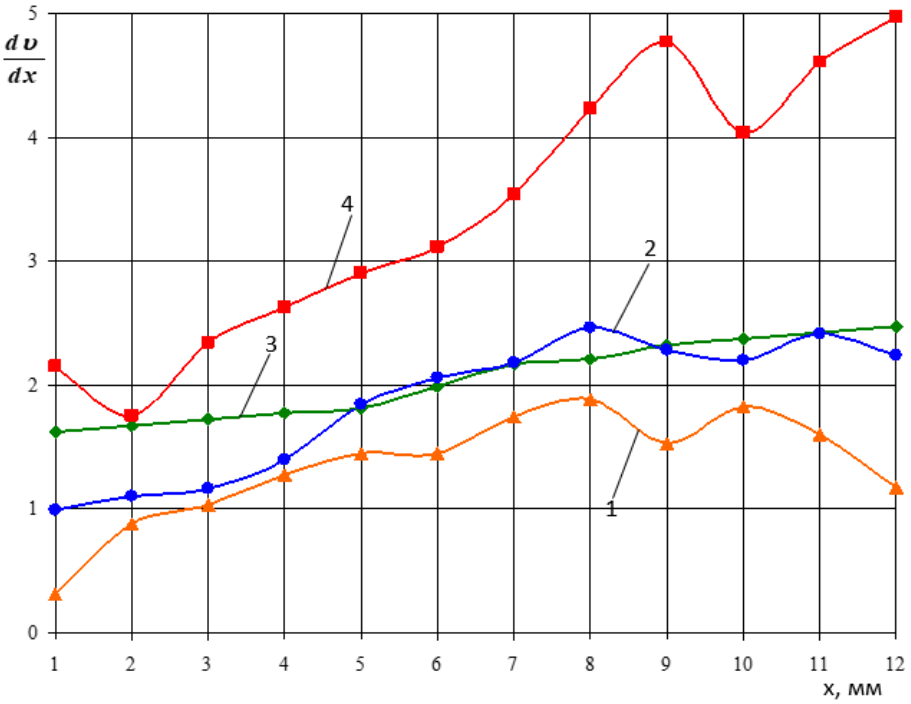


Рис. 4. – Графік залежності градієнтів швидкості від довжини робочої камери імпульсного гомогенізатора: 1 – на виході з першого поршня-ударника; 2 – між поршнями; 3 – поза поршнями; 4 – на виході з другого поршня-ударника.

На рис. 4 видно, що найбільші градієнти виникають на виході з другого поршня-ударника. Це свідчить про високу ймовірність досягнення найвищого ступеня гомогенізації саме в цій зоні.

Висновки. Моделювання в Ansys Workbench довело свою ефективність у дослідженні гідродинамічних процесів у гомогенізаторі. Проведений аналіз показав, що найінтенсивніше подрібнення жирових частинок відбувається на виході з отворів другого поршня-ударника, де створюються найвищі градієнти швидкості. Це підтверджує перевагу імпульсного принципу дії в порівнянні з традиційними підходами до гомогенізації. Тож, дане моделювання можливо використовувати для інших типів диспергуючого обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Samoichuk, K., Kovalyov, A., Fuchadzhy, N., Bezaltychna, O., Shevtsova, A.: Energy Costs Reduction for Dispersion Using a Jet-Slot Type Milk Homogenizer. Energies 16(5), 2211 (2023). https://doi.org/10.3390/en16052211

2. Wilbey R. A. Homogenization of Milk: Principles and Mechanism of Homogenization, Effects and Assessment of Efficiency: Valve Homogenizers. In: Fuquay W, J., Fox F. P., McSweeney L. H. P (Eds.), Encyclopedia of Dairy Sciences (2nd Ed.), Elsevier, Netherlands. 750-754 (2011). DOI:10.1016/B978-0-12-374407-4.00223-5

3. Паляничка Н. О. Використання енергоефективного обладнання для диспергування емульсій. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. С. 26–34. DOI: 10.31388/2078-0877-20-1-26-34.

4. Dagar N., Sharma R., Lal Rinawa M., Gupta S., Chaudhary V., Gupta P. Design and analysis of piston using aluminum alloy and composites in Solidworks and Ansys. Materials Today: Proceedings. 67, 5, 784-791 (2022). https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.318.

5. Гвоздєв О.В., Самойчук К.О., Паляничка Н.О. Комп'ютерне моделювання імпульсного гомогенізатора молока з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench. Обладнання та технології харчових виробництв: зб. наук. Праць. Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Донецьк: ДонНУЕТ ім. М. Туган–Барановського, 2012. Вип. 28. С. 294–299.

6. Palianychka, N., Samoichuk, K., Verkholantseva, V., Sova, N., Kholobtseva, I. Quality Improvement of Emulsions Dispersion in the Pulsation Homogenizer Using Computer Simulation. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2025, страницы 735–745. DOI: 10.1007/978-3-031-82746-4_65.

УДК 621.9.02

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ МОНТЕ КАРЛО ПРОЄКТНОЇ НАДІЙНОСТІ ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ ВИРОБІВ

О.Л. Войчишен[1], К.В. Андрющенко[2], С.Т. Пацера[3]
[1]аспірант, e-mail: voichyshen.o.l@nmu.one
[2]аспірант, e-mail: andriushchenko.ky.v@nmu.one
[3]професор, e-mail: sergiy.patsera@gmail.com
[1,2,3]кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У статті вибрано ефективні методи та алгоритмічна модель досліджень комп'ютерним моделюванням надійності процесу формоутворення складних поверхонь та контролю їх геометричних параметрів. Визначено залежність надійності виконання вимог до геометричної точності конкретної спіральної поверхні від співвідношення поля допуску заданого геометричного параметра та середньоквадратичного відхилення його випадкових реалізацій.

Ключові слова: Спіральна поверхня, геометричний параметр, точність формоутворення, статистичне моделювання, критерій класифікації.

MONTE CARLO SIMULATION OF THE DESIGN RELIABILITY OF FORMING COMPLEX PRODUCT SURFACES

Oleksandr Voichyshen[1], Kyrylo Andriushchenko[2], Serhii Patsera[3]
[1]Postgraduate student, e-mail: voichyshen.o.l@nmu.one
[2]Postgraduate student, e-mail: andriushchenko.ky.v@nmu.one
[3]Professor, e-mail: sergiy.patsera@gmail.com
[1,2,3]Department of Mechanical Engineering Technologies and Materials Science, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper presents effective methods and an algorithmic model for computer simulation studies of reliability process forming complex surfaces and controlling their geometric parameters. The dependence of the reliability of fulfilling the requirements for geometric accuracy of a particular spiral surface on the ratio of the tolerance field of a given geometric parameter to the standard deviation of its random realizations is determined.

Keywords: geometric parameter, shape accuracy, statistical modeling, classification criterion.

Вступ. Складна поверхня виробу означає поверхню, яка має нестандартну, часто криволінійну форму, на відміну від простих плоских або циліндричних поверхонь. Приклад складної поверхні наведено на рис. 1 [1]. Вимоги то геометричної точності обраної поверхні вказані на рис. 2 та в табл. 1. Обробка таких поверхонь найчастіше потребує спеціального сучасного обладнання, такого як багатоосьові верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), та відповідно розробленої програми. Вказана керувальна програма повинна базуватися на наукових принципах теорії і практики формоутворення. Важливо враховувати численні технологічні фактори, що впливають на показники геометричної точності виробу, наприклад, сили різання. Показники надійності формоутворення складної поверхні залежать від методів оброблення, насамперед від фінішних проходів.

Аналіз джерел інформації виявив основні наукові напрямки дослідження процесів формоутворення. Равською Н.С. та ін. [2] викладені фундаментальні аспекти теорії формоутворення. Наголошується, що процеси формоутворення заданої по-верхні є результатом взаємодії заготовки та інструменту і тому форма оброблюваної поверхні деталі визначається формою та розміром робочих поверхонь інструменту та його рухами відносно заготовки. Вказані процеси ускладняються супровідними явищами. До них належать: деформації деталі, інструменту, похибки інструменту, пристроїв,

обладнання, зношування елементів технологічної системи, похибки вимірювань, настроювання обладнання, температурні деформації складових технологічної системи, вібрації при обробленні тощо.

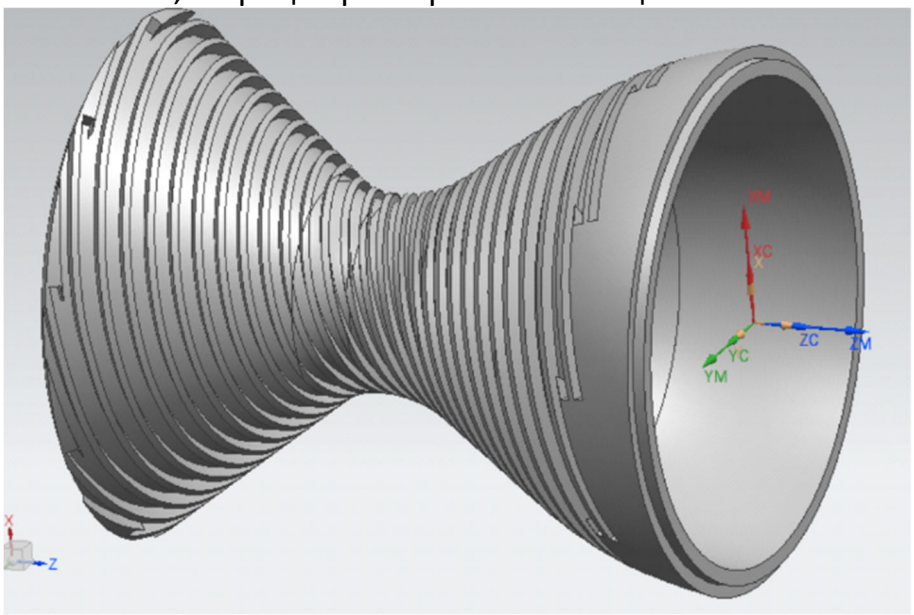


Рис. 1. – 3D модель виробу, який утворено складними поверхнями [1]

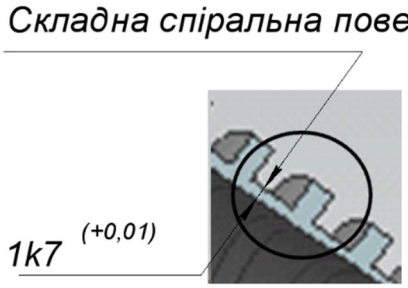


Рис. 2. – Вимоги до точності формоутворення обраної складної поверхні

Таблиця 1. – Вимоги до геометричної точності обраної поверхні

Нормовані параметри геометричної точності	Значення параметру
Клас поля допуску	1*k*7
Верхнє відхилення es, мкм	10
Нижнє відхилення ei, мкм	0
Поле допуску *Td*, мкм	10

Роботи Радзевіча С.П. [3,4] присвячені теорії формоутворення поверхонь під час механічного оброблення деталей, зокрема, різанням (лезовим і абразивним інструментами). Розглядаються основи програмування для верстатів з ЧПК і методи оброблення складних форм. Зокрема підкреслюється, що «в системах з електронним зв'язком необхідно вибрати оптимальну

стратегію характеру і послідовності багатокоординатних рухів обладнання з ЧПК».

Воронцовим Б.С. проведено аналіз сучасного стану проблеми забезпечення якості, в першу чергу, кінематичної точності і плавності роботи зубчастих передач, профіль зубців яких окреслено довільною, а не тільки евольвентною кривою [5].

Дербаба В.А. та ін. [6,7] дослідили вплив допустимої граничної похибки вимірювання геометричних параметрів на показники достовірності пасивного контролю нормованих геометричних параметрів утворюваних складних поверхонь, таких як евольвентні поверхні зубчастих коліс. У вказаних дослідженнях застосовані комп'ютерні методи статистичного моделювання (Монте Карло) у поєднанні з імітаційним моделюванням контрольних процедур.

Мета даної роботи полягає у виборі ефективних методів та раціональної послідовності досліджень комп'ютерним моделюванням надійності процедур формоутворення та геометричного контролю складних поверхонь. Потрібно визначити залежність надійності виконання вимог до геометричної точності в залежності від співвідношення поля допуску та середньоквадратичного відхилення.

Матеріал і результат досліджень. До базових аспектів методології проведених досліджень відносяться наступні:

- декомпозиція складного процесу на окремі простіші блоки, для яких можливо створити адекватну математичну модель;
- досліджуваний процес представляється масивом дискретних подій виготовлення виробів, тобто комп'ютерним імітаційним моделюванням відтворюється циклічний процес виготовлення партії виробів;
- застосування у статистичному моделюванні (методом Монте Карло) адекватних (до реальних процесів) розподілів випадкових відхилень геометричних параметрів (в інтервалі нормованого поля допуску);
- обґрунтований вибір критеріїв для поділу змодельованих техноло-гічних оброблювальних систем за рівнем точності;

За результатами проведеного аналізу створена алгоритмічна модель досліджень (рис.3.).

Запропонованим критерієм K_r, згідно якому технологічні оброблювальні підсистеми можна класифікувати за рівнем точності формоутворення складної поверхні, обрано вираз

$$K_r = T_d/\sigma, \text{ де} \quad (1)$$

T_d – поле допуску, мкм

σ – середньо квадратичне відхилення (СКВ), мкм.

Рис. 3. – Узагальнена схема алгоритму проведених досліджень

Поле допуску визначає діапазон допустимих відхилень розміру деталі, тоді як СКВ характеризує розкид випадкових відхилень навколо їх середнього значення.

Статистичні показники надійності формоутворення в поєднанні з відповідним контролем визначалися за формулою (2).

$$P(\Delta) = 1 - (\text{НП} + \text{НЗ})/N, \quad \text{де} \tag{2}$$

НП – кількість виробів, що некоректно зараховано придатними, шт;

НЗ – кількість виробів, що некоректно зараховано бракованими, шт;

N – загальний обсяг статистичної вибірки.

Результати досліджень наведені на рис. 4.

Варіанти оброблювальної формоутворювальної системи стосовно технологічної точності позначені кольорами: зеленим – підвищеної точності; синім – нормальної точності; червоним – зменшеної точності.

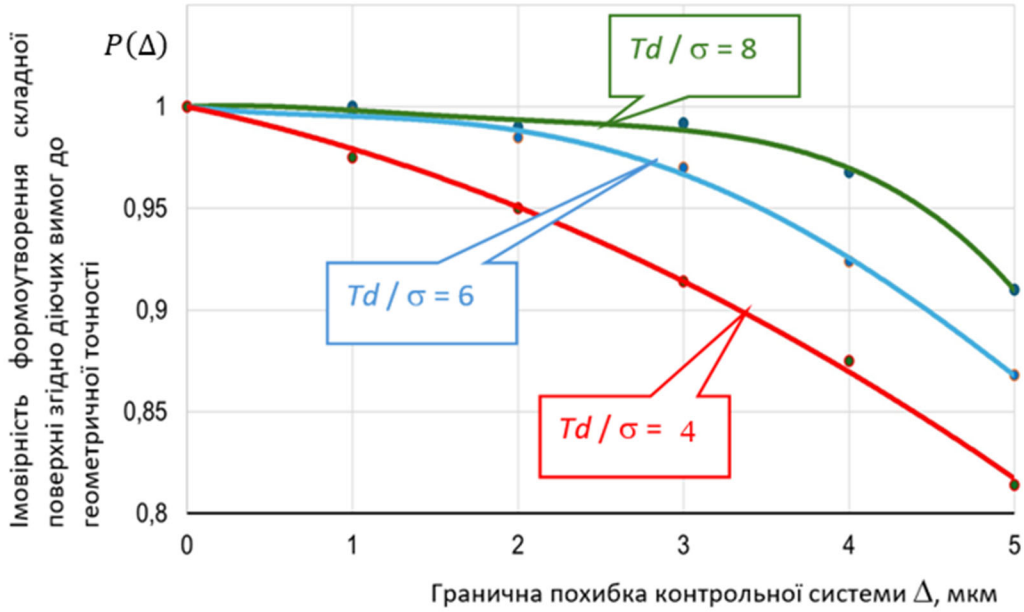


Рис. 4. – Залежності надійності формоутворення заданої спіральної поверхні (рис. 2) від значення критерію за формулою (1)

Висновки. 1. Створено алгоритмічну модель дослідження імовірності формоутворення складної поверхні згідно діючих вимог до геометричної точності в залежності від величини частки ділення поля допуску заданого геометричного параметра до середньоквадратичного відхилення його випадкових реалізацій.

2. Для досліджень обґрунтовано застосування методу статистичного моделювання (Монте Карло), для чого попередньо задіяно відповідну дискретизацію технологічного процесу.

3. Адекватно до реальних процесів змодельовано нормальний розподіл випадкових значень відхилень геометричного параметру а також рівномірний розподіл випадкових похибок контрольної системи.

4. Із аналізу одержаних залежностей витікає, що апріорно оптимальним варіантом може бути оброблювальна підсистема нормальної точності в поєднанні з контрольною підсистемою, що має граничну допустиму похибку контролю в інтервалі 1 … 2 мкм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Voichyshen O.L. Features of the technology for the manufacture of liquid rocket engine housings to the modern capabilities of CAD-CAM systems and 5-axis CNC machines / O.L. Voichyshen; Scientific supervisor V.A. Derbaba // Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 27–29 березня 2024 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – P. 28 – 29.

2. Равська Н.С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навч. посіб. для студентів механічних спец. ВНЗ / Н.С. Равська, П.П. Мельничук, О.В. Мамлюк , Т.П. Ніколаєнко, О.А. Охріменко. – Київ, 2013. – 215 с. URL: https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/1799/1/Формування%20поверхні.pdf

3. Радзевич С.П. Формоутворення поверхонь деталей. Основи теорії. / С.П. Радзевич. – К.: Растан, 2001. – 592 с.

4. Радзевич С.П. Формоутворення складних поверхонь на верстатах з ЧПК С.П. Радзевич. – К.: Вища шк., 1991. – 192 с.

5. Воронцов Б.С. Комп'ютерно-інтегрована система забезпечення формоутворення зубчастих коліс. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук / Б.С. Воронцов – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» – Київ, 2018. – 397 с.
URL: https://core.ac.uk/download/pdf/323528424.pdf

6. Derbaba, V., Zil, V., Patsera, S.: Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes/ Sci. Bull. Nat. Mining Univ. 5(143), 45–50 (2014)

7. Voichyshen, O., Patsera, S., Derbaba, V. & Bohdanov, O. (2024). Virtual Device for Assessing Geometric Parameters' Reliability Control for Mechanical Products Depending on Tool Accuracy. Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 409-421.
URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-61797-3_35

УДК 621.7

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НАПІВМАТРИЦІ ПРЕС-ФОРМИ

К.С. Гущин [1], В.А. Дербаба[2], В.М. Рубан[3]
[1]студент групи 131-22ск-1, e-mail: hushchyn.k.s@nmu.one
[2]доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: derbaba.v.a@nmu.one
[3]доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: ruban.v.m@nmu.one
[1,2,3]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. В роботі проведено конструювання та розробка технології виготовлення деталі напівматриця частини прес-форми для виготовлення герметичної деталі "ємність об'ємом 500ml". Розроблена технологія дозволить прискорити процес виготовлення і виконувати коригування конструкції та технологічного процесу виготовлення напівматриці, для підвищення якості напівматриці та якості самого виробу "ємність об'ємом 500ml".

Ключові слова: напівматриця, 3D моделювання, технологічний процес, виготовлення, виріб "ємність об'ємом 500ml".

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING A MOULD HALF MATRIX

K.S. Gushchin[1], V.A. Derbaba[2], V.M. Ruban[3]
[1]student of group 131-22sk-1, e-mail: hushchyn.k.s@nmu.one
[2]associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technology and Materials Science, e-mail: derbaba.v.a@nmu.one
[3]associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Materials Science, e-mail: ruban.v.m@nmu.one
[1,2,3]Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. In this work, the design and development of the technology for the manufacture of a semi-matrix part of a mold for the manufacture of a sealed part "500 ml container" was carried out. The developed technology will speed up the manufacturing process and allow for adjustments to the design and manufacturing process of the semi-matrix to improve the quality of the semi-matrix and the quality of the 500ml container itself.

Keywords: semi-matrix, 3D modeling, technological process, manufacturing, product "500 ml container".

Вступ. Лиття під тиском – найпоширеніший процес переробки термопластичних полімерів у деталі. Як і у будь-якому разі проектування формуючого інструменту, виконання певних правил – лише необхідна, але не достатня умова забезпечення високої якості деталей; значну роль набуває глибоке знання процесів, що відбуваються у ливарній формі, повний облік властивостей пластмас, що виявляються при переробці сировини та експлуатації деталі. Кожна деталь вимагає прийняття індивідуальних рішень при проектуванні форм [1].

Сучасне виготовлення прес-форм –це складний та багатоетапний процес, що вимагає високої кваліфікації інженерів та технологів.

Високопродуктивний технологічний процес передбачає забезпечення бездоганної роботи ливарної машини та геометричних форм виробу.

Мета роботи полягає в аналізі та виборі оптимальної конструкції високотехнологічної прес-форми для забезпечення продуктивності виробництва та якості виробу.

Матеріал і результат досліджень. Сучасне виготовлення прес-форм – це високотехнологічний процес, що поєднує в собі інноваційні матеріали, передові технології та точне інженерне проектування. Прес-форми є ключовим елементом у виробництві широкого спектру виробів, простих пластикових деталей до складних металевих компонентів.

Ключові аспекти сучасного виготовлення прес-форм:

1. Комп'ютерне моделювання та проектування (CAD/CAM) [2]:

а) сучасні технології CAD/CAM дозволяють створювати детальні 3D-моделі прес-фор, що забезпечує високу точність і якість виробництва;

б) дозволяє оптимізувати конструкцію прес-форми, зменшити час і вартість проектування та виготовлення.

2. Використання високоякісних матеріалів:

а) для виготовлення прес-форм використовуються високоміцні сталі, спеціальні сплави та інші матеріали, що забезпечують довговічність та стійкість до зношування;

б) Також використовують різні полімери, силікон, алюміній, дерево, все залежить від майбутнього виробу.

3. Технології обробки з ЧПУ:

а) верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) дозволяють здійснювати високоточну обробку деталей прес-форм, що забезпечує ідеальну відповідність проектним вимогам.

4. 3-D друк:

а) 3-D друк все частіше використовують в виготовленні прес-форм для дрібних партій виробництва, або для створення прототипів.

5. Хромування:

а) для збільшення зносостійкості та для інших цілей, використовують хромування прес-форм.

Моделювання 3-D моделей виконувалось за допомогою програми Siemens NX [3, 4].

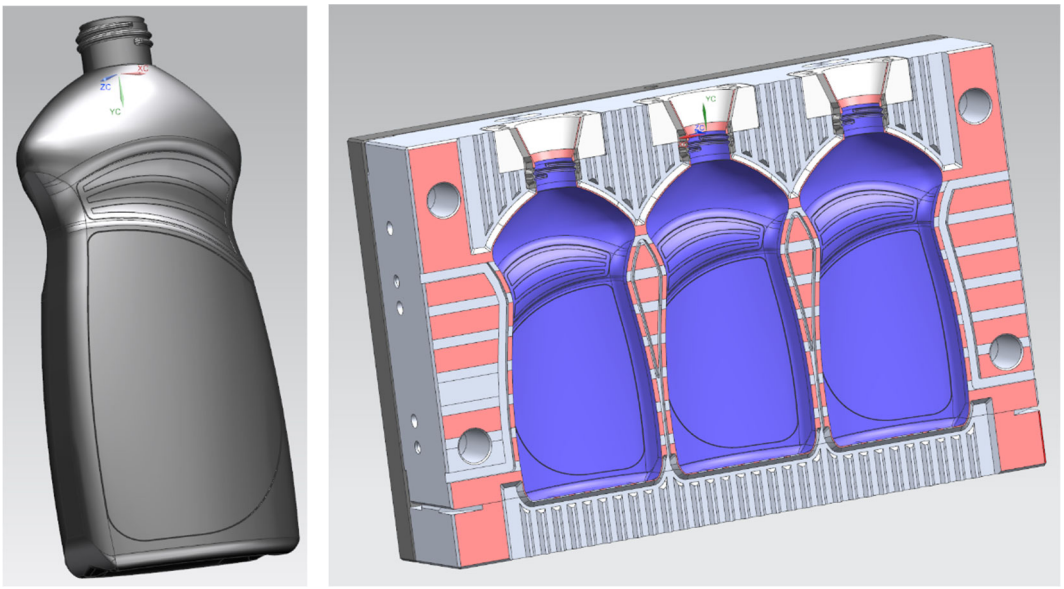
На рис. 1.а наведено 3-D модель герметичної деталі “ємність об’ємом 500ml”, на рис. 1.б 3-D модель прес-форми.

Об’єктом дослідження технологічного процесу є деталь «Напівматриця».

Основні умови до конструкції прес-форми - термін роботи не менше 1 року, при забезпеченні одного мільйону циклів. Час циклу отримання виробу 30 с.

Деякі характеристики прес-форми. 3 канали подачі матеріалу в якому стоїть (дорн) (діаметр якого $22.3^{+0,01}_{-0,01}$), який оформлює верхню частину виробу та через який подається тиск повітря в форму в 8 атмосфер. Важливим аспектом напівматриці - є шорсткість формуючої поверхні Ra=0,8 мкм.

Конструкція системи охолодження прес-форми повинна враховувати такі фактори, як місце охолодження, площа охолодження, ефективність теплообміну продукту, температура охолоджуючої води 20 ^{o}C. Зазвичай використовувані канали охолодження прес-форми включають коробчасті канали охолодження, бурові канали охолодження, монолітні підземні канали охолодження і ламіновані канали охолодження форми в будь-якому випадку.



а) б)

Рис. 1. – Візуалізація 3D моделей а) ємність об’ємом 500ml, б) напівматриця прес-форми

На рис. 2 наведено фрагмент кресленика напівматриці прес-форми.

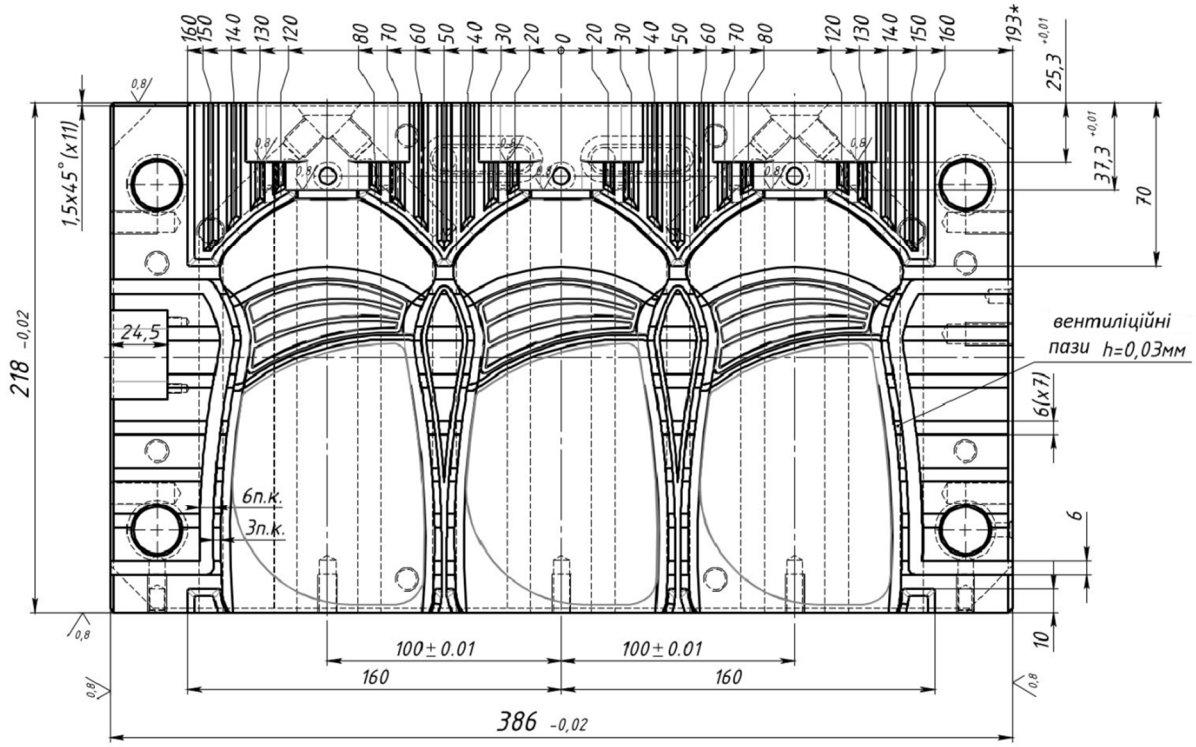


Рис. 2. – Фрагмент кресленика деталі «Напівматриця»

Для виготовлення деталі «Напівматриця» застосовується матеріал алюміній 7075 T651 [5, 6, 7].

01 фрезерна	Фрезерувати заготовку 386,00 x 218,00 x 66,00 мм з припуском +0,6 - 0,8 мм під подальшу обробку. Забезпечити перпендикулярність та паралельність відповідних сторін кубика з відхиленням не гірше 0,1 мм. Контролювати допускні розміри, забезпечити середину поля допуску
02 шліфувальна	Шліфувати бази деталі 386,00 x 218,00 x 66,00 мм симетрично, чисто з припуском під подальшу обробку +0,4 -0,6 мм для допускних розмірів. Забезпечити паралельність базових поверхонь не гірше за 0,005 мм
03 координатна	Центрувати, свердлити: - 4 відп. Ø 20,00 (+0,01) мм ПОПЕРЕДНЬО на L36 мм із заниженням Д 20,5 і цєковкою Ø 26,00 мм на L6,3 мм; - 3 відп. Ø 7,00 мм на L 45 мм з цєковкою Ø 12,00 мм на L 12,00 мм остаточно; - 2 відп. Ø 10,00 мм на L 25,00 мм остаточно; - 2 відп. Ø 10,00 мм на L 45,00 мм остаточно; - 6 відп. під нарізання M10 на L 20,00 мм остаточно; Гострі грані притупити шабером, крім місць, зазначених на кресленні. Контролювати допускні розміри, забезпечити середину поля допуску. Припуск, відхилення фіксувати у системі та кресленні.
04 свердлильна	Свердлити, нарізати різьбу остаточно: - 6 відп. Ø10 на L 194 мм; - 2 відп. Ø10 на L 164 мм; Гострі грані притупити шабером, крім місць, зазначених на кресленні. Контролювати допускні розміри, забезпечити середину поля допуску. Припуск, відхилення фіксувати у системі та кресленні.
05 фрезерна з ЧПК	Фрезерувати формоутворення попередньо, згідно програм для ЧПК
06 фрезерна	Зробити фаски згідно креслення 1x45
07 шліфувальна	Шліфувати плиту з 4-х сторін із припуском: - на розмір 218,00 та 386,00 мм: +0,2 мм з боку лінії змикання; - на розмір 66,00 мм: +0,2 мм з боку лінії роз'єму та +0,1 з задньої сторони Забезпечити паралельність базових поверхонь не гірше за 0,005 мм
08 координатна	Розточити: - 4 відп. Ø20,00 (+0,01) мм остаточно; - 6 отв. Ø6,00 (+0,01) мм на L10,00 мм остаточно;
09 фрезерна з ЧПК	Фрезерувати згідно програм: Формоутворення остаточно, 3 пази L70мм +0.02 та 3 пази L 36мм +0.02
10 слюсарна	Полірування поверхні формоутворення Ra= 0.8
11 шліфувальна	Фінішна шліфовка : Шліфувати деталь остаточно
12 контрольна	Вимірювання: За допомогою штангенциркуля, мікрометра та можливо, координатно-вимірювальної машини, перевіряються всі ключові розміри напівматриці на відповідність кресленням. Перевірка шорсткості: Вимірюється шорсткість полірованої поверхні.

Рис.3. – Фрагмент маршрутної карти виготовлення напівматриці

Технологічний процес [8] виготовлення напівматриці складається з таких етапів як проектування та інженерії:

1) отримання технічного завдання, розробка 3D-моделі, проведення CAE-аналізу, створення креслень;

2) вибору матеріалу (визначення типу матеріалу, замовлення заготовки);

3) етап механічної обробки (попередня обробка, чистова обробка, обробка каналів охолодження/нагріву, обробка вентиляційних каналів);

4) етап фінішної обробки (шліфування та полірування, нанесення захисного покриття);

5) контролю якості (вимірювання геометричних параметрів, візуальний огляд, перевірка якості поверхні);

6) маркування (нанесення маркування, консервація) етап передачі замовнику (комплектація документації, упаковка та транспортування).

Підготовка керуючих програм для верстатів з ЧПК буде виконано за допомогою Siemens NX CAM — модуль, який підтримує різні види обробки: токарну, фрезерну на 3-5-осьових верстатах з ЧПК, токарно-фрезерну, електроерозійну дротяну обробку. Система NX CAM підтримує прогресивні види обробки і устаткування: високошвидкісне фрезерування, обробку на основі елементів, токарно-фрезерні багатофункціональні верстати. Містить вбудований модуль симуляції обробки на верстаті, що працює в кодах керуючої програми (G-code), який використовується для аналізу керуючих програм і забезпечує контроль зіткнень [9].

Висновки. Для моделювання застосовувалась CAD і CAM -система Siemens NX, яка дозволила спроектувати точну модель прес-форми та виконати керуючі програми для верстата з ЧПК. Виконано розробка технологічного процесу виготовлення напівматриці, яка дозволяє підвищити продуктивність виробництва та високу якість виробу за рахунок обробки деталі на верстаті з ЧПК.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технології виготовлення деталей з гуми та пластмас. Основи проектування деталей. Практичні заняття [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра, які навчаються за спеціальністю 131 "Прикладна механіка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Уклад.: Злочевська Н. К., Тітов В. А. – Електронні текстові дані (1 файл: 4.48 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с. – Назва з екрана. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54305

2. Karpyk, R. T., & Didyk, S. V. (2018). Автоматизація процесу проектування прес-форм для литва термопластів під тиском. *Scientific Bulletin of UNFU*, *28*(7), 97-100. https://doi.org/10.15421/40280721

3. Тексти (конспект) лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва» для студентів всіх форм навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» / Укл. ст. викл. Кучугуров М.В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 67 с.

4. NX CAD and CAM software. URL: NX software including CAD and CAM | Siemens Software

5. ДСТУ EN 485-2:2022 Алюміній та алюмінієві сплави. Листи, стрічки та плити. Частина 2. Механічні властивості (EN 485-2:2016+A1:2018, IDT)

6. BS EN485-2:2016 Aluminium and aluminium alloys — Sheet, strip and plate Part 2: Mechanical properties. URL: http://www.aluminiosigma.com/d/files/biaozhun/bs-en-00485-2-2016.pdf

7. 7075 T651 Aluminum Sheet. URL: https://www.hcaluminum.com/prod/7075-aluminum-sheet/

8. V. Ruban, V., Derbaba, O., Bohdanov, & Y. Shcherbyna. (2023). OPTIMIZATION OF PRODUCT PROCESSING MODES IN MODELING AND PROGRAMMING OF MACHINING ON MACHINE TOOLS WITH PROGRAM CONTROL. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, (72), 222-238. https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.222

9. Дербаба, В.А., Григоренко, В.У. & Рубан, В.М. (2023). Розвиток елементів комп'ютерного програмування у складових наскрізних технологіях виготовлення механічного обладнання в машинобудуванні. *Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка»*, (72), 212-221. URL: https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.212

УДК 004.92; 711

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА МАТЕРІАЛУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИСТЕРНИ ТРАНСПОРТУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ЗРІДЖЕНИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ГАЗІВ

Н.О. Ротт[1], Д.І. Гузенко[2]

[1]кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: rott.n.o@nmu.one

[2]магістр кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: guzenkodima288@gmail.com

[1,2]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі обґрунтовано конструкцію та обрано матеріал для виготовлення цистерни для транспортування та зберігання зріджених вуглеводневих газів. Проведено розрахунок міцності елементів конструкції за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) у середовищі Autodesk Inventor. Проаналізовано властивості сталі 16Г2АФ і обґрунтовано її застосування для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик та відповідності вимогам нормативних документів.

Ключові слова: зріджені вуглеводневі гази, цистерна, вибір матеріалу, міцність конструкції, метод скінченних елементів, Autodesk Inventor, сталь 16Г2АФ.

SUBSTANTIATION OF THE CONSTRUCTION AND MATERIAL OF THE TANK FOR THE TRANSPORTATION AND STORAGE OF LIQUEFIED HYDROCARBON GASES

Nataliia Rott[1], Dmytro Huzenko[2]

[1]Ph.D., Associate Professor, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: rott.n.o@nmu.one

[2]Master of the Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: guzenkodima288@gmail.com

Abstract. This work substantiates the design and selection of material for the manufacture of a tank for the transportation and storage of liquefied hydrocarbon gases. The strength

calculation of the structural elements is carried out using the Finite Element Method (FEM) in Autodesk Inventor. The properties of steel 16G2AF are analyzed, and its application is justified to ensure the required operational characteristics and compliance with the requirements of regulatory documents.

Keywords: liquefied hydrocarbon gases, tank, material selection, structural strength, finite element method, Autodesk Inventor, 16G2AF steel.

Вступ. Транспортування та зберігання зріджених вуглеводневих газів (ЗВГ) є важливою складовою сучасної нафтогазової та хімічної промисловості, де безпека й ефективність перевезення мають критичне значення для енергетичної стабільності України. Перевезення ЗВГ вимагає спеціалізованих цистерн, здатних витримувати високий тиск і низькі температури, що обумовлює особливі вимоги до вибору матеріалів та проєктування. Сучасні методи, зокрема комп'ютерне моделювання методом скінченних елементів, дозволяють на етапі розроблення виявити слабкі місця конструкції та підвищити її надійність.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні конструкції та матеріалу виготовлення цистерни з урахуванням сучасних вимог до безпеки, економічності та надійності.

Матеріал і результат досліджень. Забезпечення безпеки транспортування та зберігання зріджених вуглеводневих газів (ЗВГ) потребує створення конструкцій, що поєднують високу міцність, стійкість до зовнішніх впливів та відповідність нормативним вимогам. Основними чинниками для розроблення цистерн є правильний вибір матеріалів та проведення точних розрахунків конструкції.

Для більшого розуміння поводження суміші зріджених вуглеводневих газів розглянемо діаграму залежності тиску випаровування пропан-бутанової суміші від температури (рис. 1). На діаграмі видно, як тиск пари для всіх сумішей зростає з температурою, причому суміші з більшим вмістом пропану мають вищий тиск пари за таких самих температурних умов, ніж суміші з більшим вмістом бутану [1].

Для дослідження обрано цистерну-напівпричіп об’ємом 46м^3 (рис. 2) завдяки її високій мобільності, великій вантажопідйомності та стійкості під час руху. Конструкція включає шасі з багатовісною пневматичною підвіскою та циліндричну ємність із високоміцної сталі, що витримує високий тиск і перепади температур. Для підвищення безпеки передбачено хвилерізи, перегородки, запобіжні й аварійні клапани, а також автоматизовані системи контролю процесів. Такий тип цистерн оптимально поєднує безпеку, надійність і зручність транспортування зріджених вуглеводневих газів у промислових умовах [2].

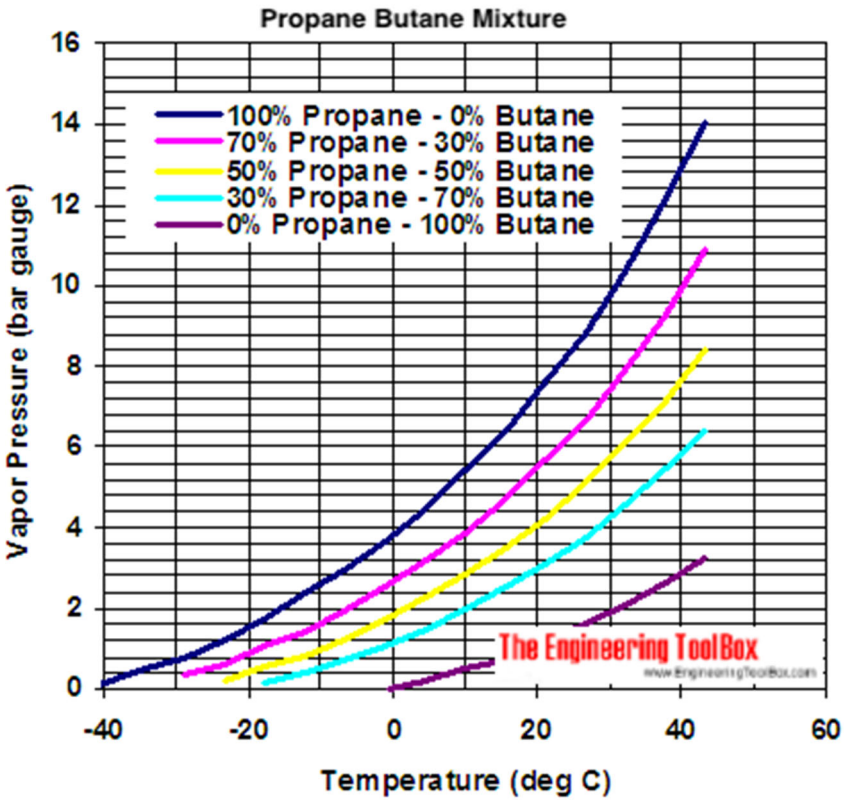


Рис. 1. – Діаграма парів суміші пропан-бутану

Рис. 2. – Цистерна-напівпричіп для транспортування та тимчасового зберігання зріджених вуглеводневих газів

В розрахунках використаємо марку сталі 16Г2АФ [3] вона схожа за властивостями зі сталю P460NL2 [4]. 16Г2АФ – це низьколегована конструкційна сталь, яка має підвищену міцність та випускається у вигляді прокату а також у вигляді гнутих профілів. Сталь використовують для виготовлення корпусів і деталей посудин, що працюють під тиском. 16Г2АФ розрахована на роботу

в інтервалі температур -60…+450 °С. Прокат зі сталі виготовляється гарячекатаним, термічно обробленим та із застосуванням різних режимів контрольованої прокатки. Обов'язковим для такої конструкції має бути випробування на ударну в'язкість, це можна зробити за стандартом ISO 148-1 [5], в цьому стандарті описано випробування на ударний вигин за Шарпі на маятниковому копрі. Сталь характеризується покращеними властивостями міцності, твердості та зносостійкості, має доволі не погану пластичність та гарно чинить опір ударним навантаженням. В таблиці 1 наведено механічні властивості сталі 16Г2АФ.

Таблиця 1. – Механічні властивості сталі 16Г2АФ

Марка сталі	Товщина проката, мм	Мінімальна межа плинності, МПа	Тимчасовий спротив, МПа	Мінімальне відносне подовження, %
16Г2АФ	≤ 32	≥ 440	≥ 590	19

Згідно з ДОПНВ [6] робочий тиск цистерни становить 1,6 МПа, тиск випробування 2,1 МПа – це означає, що механічні властивості сталі мають відповідати умовам безпечної експлуатації при високих тисках. Щоб витримати такі значні навантаження встановимо вимоги до сталі: 460 МПа - мінімальна межа плинності, 630 МПа – тимчасовий супротив. Такі механічні властивості можна отримати під час контрольованого гарячекатаного прокату з подальшою нормалізацією. Після нормалізації на знімку мікроструктури можна побачити суміш фериту та перліту (рис. 3).

Рис. 3. – Мікроструктура сталі 16Г2АФ після нормалізації, х 100

16Г2АФ – це марганцево-ванадієва сталь, мікролегована азотом. Додавання ванадію подрібнює зерно аустеніту сталі. Наявність азоту сприяє

збільшенню міцності за рахунок утворення в структурі нітридів. Сталь виготовляють повністю розкисленою. Порівняння хімічного складу сталей 16Г2АФ та P460NL2 наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. – Хімічний склад сталей 16Г2АФ по ДСТУ 8541 [7] та P460NL2 по ДСТУ EN 10028-3:2018

Марка сталі	C	Si	Mn	Ni	S	P	V	Cr	Cu	N
16Г2АФ	0,14 -0,20	0,30-0,60	1,30-1,70	≤0,30	≤0,035	≤0,03	0,08-0,14	≤0,40	≤0,30	0,015-0,025
P460NL2	≤0,20	≤0,60	1,10-1,70	≤0,80	≤0,005	≤0,02	≤0,20	≤0,30	≤0,70	≤0,025

На рисунку 4 показано розрахункову схему, для розрахунку було обрано TL = 11,30 м, D = 2,350 м.

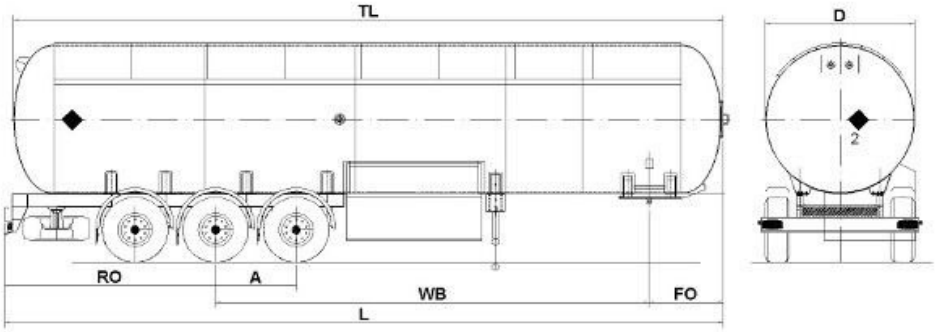


Рис. 4. – Розрахункова схема цистерни

Отже, для розрахунку було обрано наступні параметри, які показані в таблиці 3.

Таблиця 3. – Розрахункові параметри цистерни

№	Параметр	Значення	Одиниця вимірювання
1.	Номінальний об'єм	46,0	$м^3$
2.	Робочий внутрішній тиск	1,6	МПа
3.	Робоча температура середовища	-20 / +50 °	°C
4.	Тиск гідравлічного випробування	2,1	МПа
5.	Розрахунковий тиск	2,1	МПа
6.	Теплоізоляція	Сонцезахисний кожух	-
7.	Матеріал корпусу	16Г2АФ	-
8.	Матеріал зміцнювальних кілець	10Г2С1	-
9.	Зовнішній діаметр цистерни	2350,0	мм
10.	Довжина цистерни	11300,0	мм

Допустимі напруження згідно ДСТУ EN 12493:2019 [8] для обичайки корпусу цистерни зі сталі 16Г2АФ визначаються по формулі:

$$f = min\left(\frac{R_m}{2{,}4}; \frac{R_{eH}}{1{,}5}\right) = min\left(\frac{630}{2{,}4}; \frac{460}{1{,}5}\right) = 262{,}5 \quad \text{МПа}, \qquad (1)$$

де R_{eH} = 460 МПа – межа текучості ;

R_m = 630 МПа – межа міцності на розрив (гарантоване мінімальне значення);

Мінімальна товщина стінки циліндричного елемента не повинна бути меншою за величину, визначену з наступних формул:

$$e_{min1} = \frac{0{,}833 \cdot p \cdot D_0}{2 \cdot f \cdot z + 0.833 \cdot p} = \frac{0{,}833 \cdot 2{,}1 \cdot 2350}{2 \cdot 262{,}5 \cdot 1 + 0{,}833 \cdot 2{,}1} = 7{,}8 \quad \text{мм}, \qquad (2)$$

де D_0 = 2350 мм - зовнішній діаметр циліндричної обичайки корпусу.

z – коефіцієнт зварних швів (дорівнює 1, так як проводиться 100% контроль зварних швів).

$$e_{min2} = \frac{D_0}{500} + 1{,}5 = \frac{2350}{500} + 1{,}5 = 6{,}2 \quad \text{мм}. \qquad (3)$$

Мінімальна допустима товщина для циліндричної обичайки складає:

$$e_{min} = max(e_{min1}; e_{min2}) + c = max(7{,}8; 6{,}2) + 0{,}0 = 7{,}8 \quad \text{мм}, \qquad (4)$$

c – сума прибавок до розрахункової товщини елементів корпусу:

$$c = c_1 + c_2 = 0{,}0 + 0{,}0 = 0{,}0 \quad \text{мм}, \qquad (5)$$

c_1 – прибавка для компенсації корозії,

c_2 – мінусовий допуск для листового прокату для листа класу “С” згідно з вимогами ДСТУ EN 10029:2022 [9].

Мінімальна розрахункова товщина днища із умови стійкості в межах пружності e_b:

$$e_b = (0{,}75 \cdot R + 0{,}2 \cdot D_i) \cdot \left[\frac{0{,}833}{111 \cdot f_b} \cdot \left(\frac{D_i}{r}\right)^{0{,}825}\right]^{\frac{2}{3}} \quad \text{мм}, \qquad (6)$$

де D_i – 2330 мм, розрахунковий внутрішній діаметр днища,

R – 1880 мм, радіус в центральній зоні.

r – 362 мм, радіус в крайовій зоні.

Допустиме напруження f_b:

$$f_b = \frac{ReH}{1.5} = 306{,}7 \quad \text{МПа}, \qquad (7)$$

$$e_b = (0{,}75 \cdot 1880 + 0{,}2 \cdot 2330) \cdot \left[\frac{0{,}833}{111 \cdot 306{,}7} \cdot \left(\frac{2330}{362}\right)^{0{,}825}\right]^{\frac{2}{3}} = 7{,}2^{\text{мм}}, \quad (8)$$

Мінімальна розрахункова товщина днища із умови обмеження мембранних напружень в центральній частині e_s:

$$e_s = \frac{0{,}833 \cdot p \cdot R}{2 \cdot f \cdot z - 0{,}417 \cdot p} = \frac{0{,}833 \cdot 2{,}1 \cdot 1880}{2 \cdot 262{,}5 \cdot 1 - 0{,}417 \cdot 2{,}1} = 6{,}27 \quad \text{мм}, \quad (9)$$

Мінімальна розрахункова товщина із умов міцності в крайовій зоні e_y виконується методом ітерацій згідно ДСТУ EN 12493:2019 і становить $e_y = 8{,}964$ мм.

Порівнявши отримані розрахункові дані з вимогами ДОПНВ було обрано мінімальну товщину 8 мм – для корпусу і 10 мм – для днищ цистерни.

В програмному застосунку Autodesk Inventor 2024 було створено обичайки корпусу та хвилерізи, які кріпляться до корпусу за допомогою приварних пластин (рис. 5.)

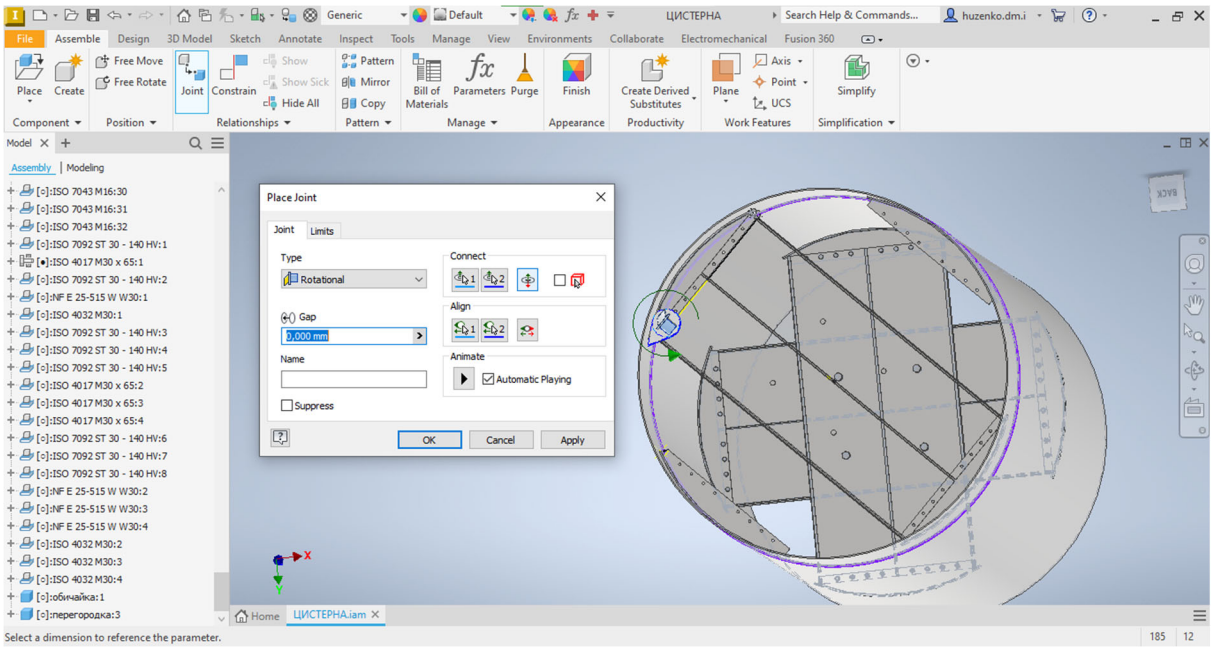


Рис. 5. – Створення взаємозв’язків конструкції

Болтові з’єднання було створено за допомогою генератора компонентів болтового з’єднання (рис. 6.)

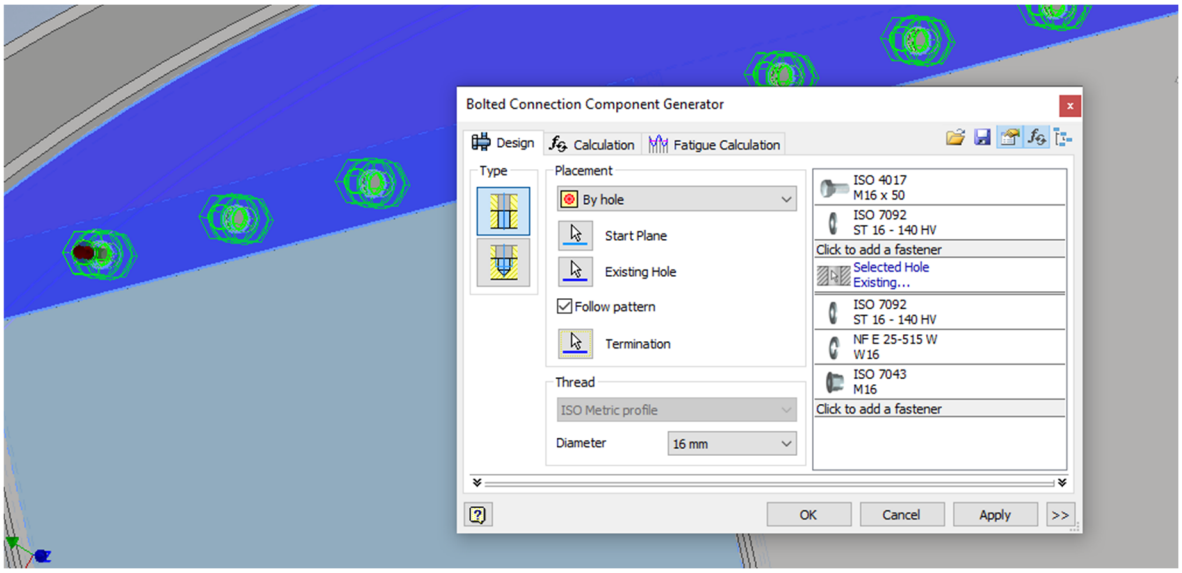


Рис. 6. – Генератор компонентів болтового з’єднання

Для розрахунку використовувався тиск гідравлічного випробування, який дорівнює 2,1 МПа (робочий тиск 1.6 МПа). Після проведення розрахунку програмою, ми проаналізували напруження, які виникли на елементах корпусу цистерни (Рис. 7). Максимальне напруження в корпусі склало 375,3 МПа.

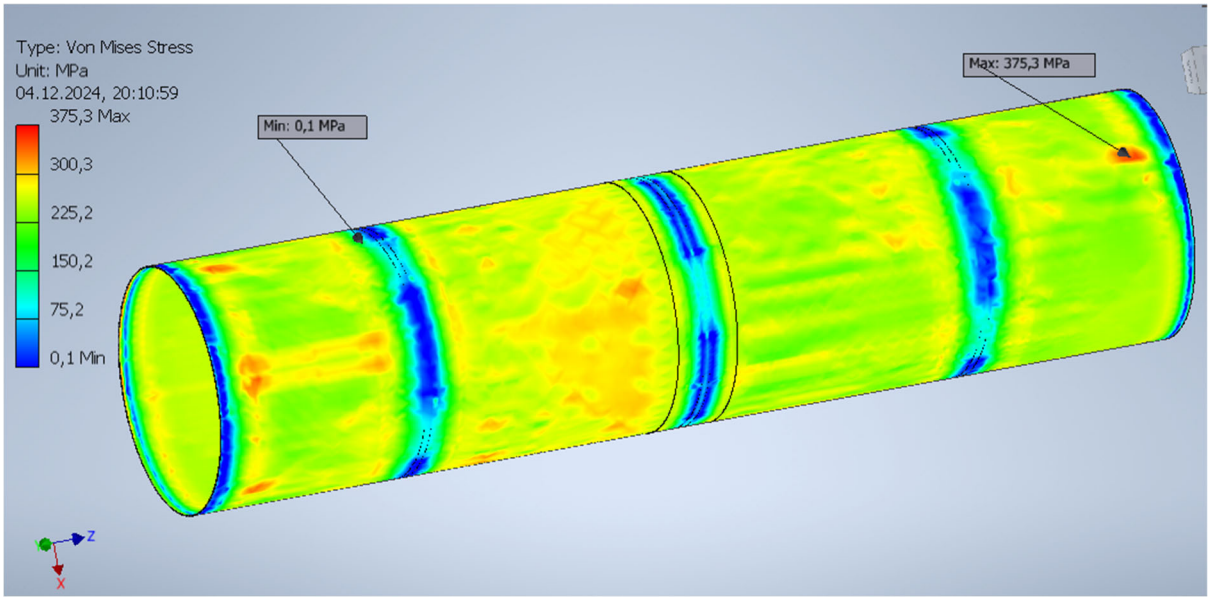


Рис. 7. – Напруження Von Mises Stress

Мінімальний фактор безпеки склав 1,23 (рис 8).

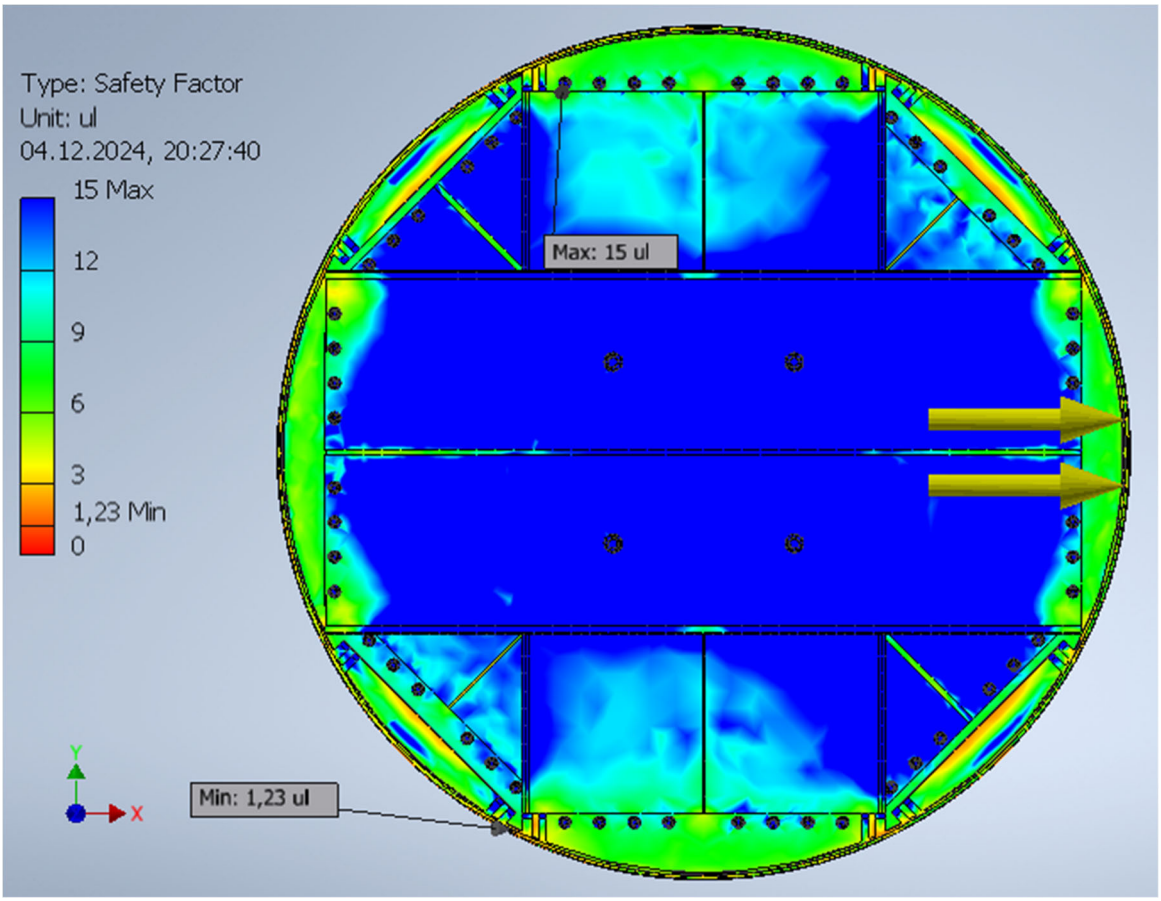


Рис. 8. – Показники фактору безпеки (поперечний розріз)

Далі була створена модель днища з зміцнювальним кільцем на отворі для люка-лазу (На міцність перевіряється саме днище з отвором так як отвір послаблює конструкції і потребує зміцнення). Результати розрахунку наведені на рисунку 2.18, фактор безпеки склав 1,14 (рис. 9).

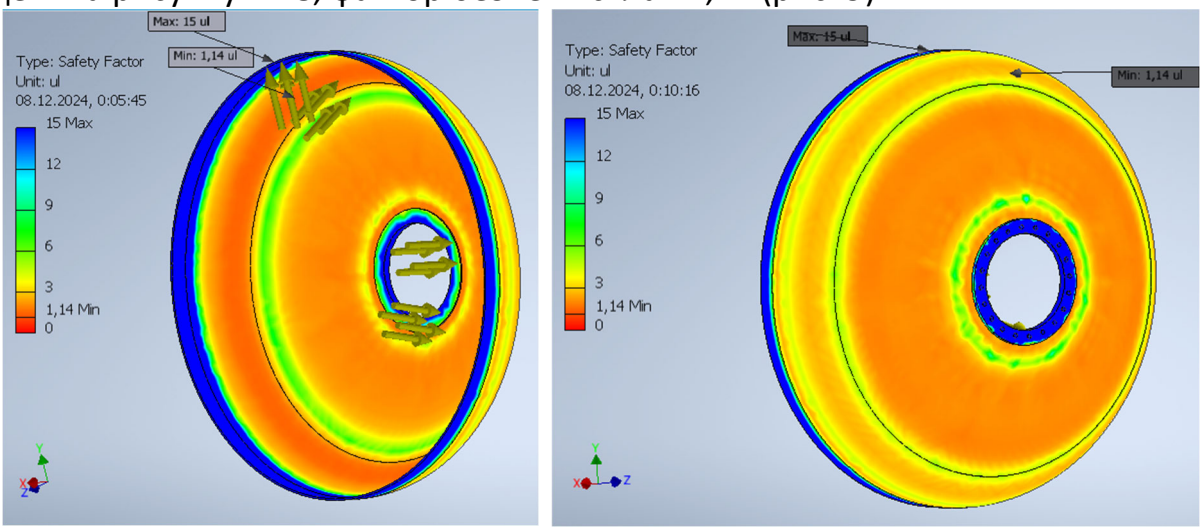


Рис. 9. – Фактор безпеки для днища з люком лазом

Висновки. У ході дослідження було обґрунтовано конструкцію цистерни для транспортування та тимчасового зберігання зріджених вуглеводневих газів. Проведено розрахунки міцності елементів конструкції із застосуванням методу скінченних елементів, що дозволило визначити критичні ділянки та забезпечити необхідний рівень безпеки. Аналіз механічних властивостей сталі 16Г2АФ показав її придатність для виготовлення корпусу цистерни, враховуючи умови експлуатації при високому тиску та перепадах температур. Використання сучасних інженерних методів розрахунку дозволяє оптимізувати конструкцію та підвищити її експлуатаційну надійність.

ЛІТЕРАТУРА

1. The Engineering ToolBox. Propane Butane Mixture - Evaporation Pressure. Evaporation pressure of propane butane mixture vs. temperature. Режим доступу: https://www.engineeringtoolbox.com/propane-butane-mix-d_1043.html #butane_vapor_pressure_absolute (Дата звернення 10.04.2025)

2. KADATEC. LPG TANKWAGEN UND ISO TANKCONTAINER. FÜR SICHERE TRANSPORT UND DISTRIBUTION VON FLÜSSIGGAS. Режим доступу: https://www.kadatec.cz/wp-content/uploads/2017/11/LPG_Tankwagen.pdf (Дата звернення 10.04.2025)

3. Metinvest-smc. Характеристика сталі 16Г2АФ. Режим доступу: https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-16g2af/?srsltid=AfmBOoov400Dk8DlDn9_VNr7AFzxpxPID6acEzf0vTPVGoxFXIqqs0di (Дата звернення 10.04.2025)

4. ДСТУ EN 10028-3:2018 (EN 10028-3:2017, IDT). Вироби плаські сталеві для використання під тиском. Частина 3. Нормалізовані зварювані дрібнозернисті сталі.

5. ДСТУ ISO 148-1:2022 Металеві матеріали. Випробування на ударний вигин за Шарпі на маятниковому копрі. Частина 1. Метод випробування (ISO 148-1:2016, IDT)

6. Європейська Угода "Про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ) 2025 р.

7. ДСТУ 8541:2015 Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови

8. ДСТУ EN 12493:2019 Устаткування та комплектування для зрідженого нафтового газу. Зварні сталеві баки для автоцистерн. Проектування та виготовлення (EN 12493:2013, IDT)

9. ДСТУ EN 10029:2022 Гарячекатаний сталевий лист завтовшки 3 мм і більше. Допуски на розміри та форму (EN 10029:2010, IDT)

УДК 621.9.02

АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНЬ У ТОКАРНИХ РІЖУЧИХ ІНСТРУМЕНТАХ

З.В. Сазанішвілі[1], М.Д. Корнієнко[2]
[1]к.т.н., доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: sazanishvili.z.v@nmu.one
[2]студентка групи 132-23-1, e-mail: korniienko.m.d@nmu.one
1,2Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. Проведено аналітичний огляд силових впливів та деформацій різального інструменту з використанням теореми Кастільяно для оцінки відхилень, що виникають під час механічної обробки на верстатах з числовим програмним керуванням.

Ключові слова: токарний інструмент, карбід вольфраму, ЧПК, деформація, теорема Кастільяно.

STRESS ANALYSIS OF TURNING CUTTING TOOLS

Zoia Sazanishvili[1], Mariia Korniienko[2]
[1]Ph.D., Associate Professor, Department of Engineering and Generative Design, e-mail: sazanishvili.z.v@nmu.one
[2]Student, e-mail: korniienko.m.d@nmu.one
[1,2]Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. An analytical review of force effects and deformations of a cutting tool using the Castigliano theorem has been conducted to assess deviations arising during machining on computer numerically controlled (CNC) machines.

Key words: turning tool, tungsten carbide, CNC, deformation, Castigliano's theorem.

Вступ. Сучасне машинобудівне виробництво характеризується високими вимогами до точності, продуктивності та надійності технологічного обладнання. В умовах зростаючої конкуренції важливо забезпечити стабільну якість обробки деталей за мінімальних витрат ресурсів, що безпосередньо залежить від ефективності застосовуваних ріжучих інструментів.

Токарні верстати є одними з найуніверсальніших машин для механічної обробки, що застосовуються у широкому спектрі виробничих завдань. Завдяки своїй гнучкості вони забезпечують високу точність формоутворення та продуктивність під час обробки деталей різного рівня складності. Особливої актуальності набуває застосування токарних верстатів у поєднанні з числовим програмним керуванням (ЧПК), що дозволяє реалізовувати багатоступеневі операції в межах єдиного налаштування, включаючи точіння, нарі-

зання різьби, свердління та інші процеси. Такий підхід знижує потребу в додатковому обладнанні й сприяє ефективнішому використанню часу та ресурсів у виробництві.

Одним із ключових факторів, що впливають на якість і стабільність токарної обробки, є правильний вибір ріжучого інструменту. Токарні різці виступають центральним елементом технологічного процесу, забезпечуючи контрольоване видалення матеріалу із заготовки. Геометрія, конструкція та матеріал ріжучої частини інструменту мають бути адаптовані до конкретних умов експлуатації, що гарантує високу точність, мінімальні втрати матеріалу та зменшення зношування інструмента.

Асортимент матеріалів, що піддаються токарній обробці, включає метали, полімери, деревину та композити — кожен із яких потребує специфічного підходу щодо режимів різання та вибору інструментального забезпечення. Ефективне поєднання матеріалу заготовки з оптимальними параметрами інструменту дозволяє зберігати механічні властивості оброблюваної деталі та підвищувати ресурс її подальшої експлуатації.

З огляду на інтенсивний розвиток промислових технологій, зростають вимоги до надійності, довговічності та точності токарних інструментів. Висока конкуренція на ринку металообробки диктує потребу у створенні інструментів, які здатні забезпечити стабільну якість продукції за мінімальних витрат. У цьому контексті застосування твердосплавних матеріалів, зокрема карбіду вольфраму, є доцільним і перспективним напрямом. Оптимізація конструкції таких інструментів дозволяє досягти високої зносостійкості та механічної міцності, скорочуючи простої обладнання та підвищуючи загальну ефективність виробничих процесів.

Мета роботи полягає в аналізі конструкції токарного ріжучого інструменту з твердосплавного матеріалу на основі карбіду вольфраму з урахуванням складних силових навантажень, що діють під час обробки, з метою підвищення його зносостійкості, точності та надійності в умовах експлуатації на верстатах з числовим програмним керуванням.

Матеріал і результат досліджень. У роботі розглянуто токарний різець із механічним кріпленням змінної ріжучої пластини (рис. 1). Його конструкція складається з державки та ріжучого елемента [1]. Державка виконує функцію опорного елемента, для її виготовлення, як правило, використовують конструкційну сталь, що забезпечує необхідну жорсткість і опір деформаціям під час обробки.

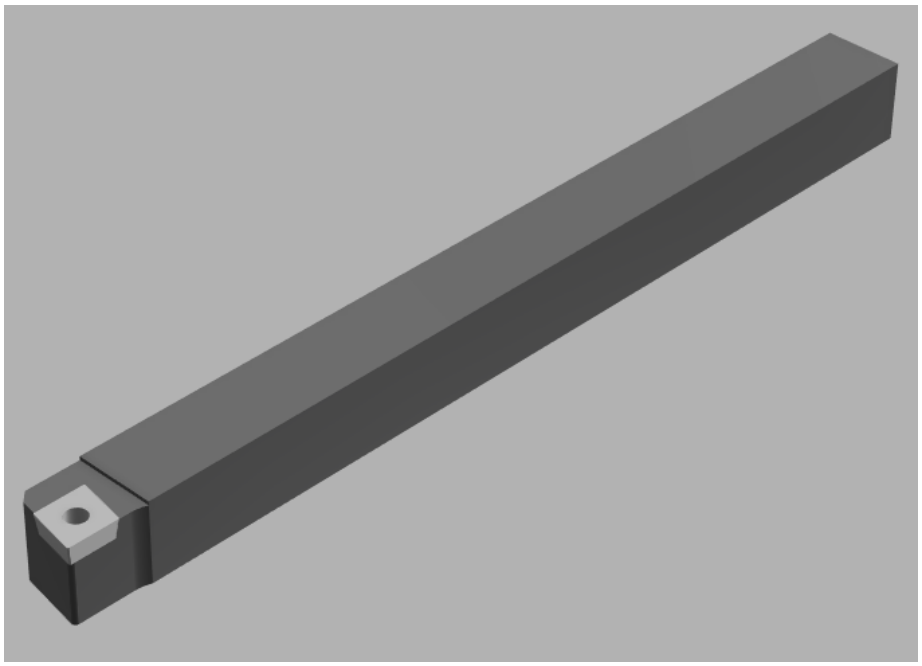


Рис. 1. – Токарний різець

Ріжуча частина представлена змінною твердосплавною пластиною [2] квадратної форми, яка закріплюється на торці державки за допомогою механічного з'єднання — найчастіше гвинта або фіксатора. Такий спосіб кріплення забезпечує надійність фіксації пластини та дозволяє швидко здійснювати її заміну без необхідності повного демонтажу інструмента. Пластина встановлюється під оптимальним кутом до осі державки, що сприяє ефективному процесу різання, зниженню навантажень та забезпеченню належного відведення стружки.

Завдяки своїм конструктивним особливостям, подібні інструменти широко застосовуються у виробництві, зокрема на верстатах з ЧПК. Їх перевагами є підвищена експлуатаційна гнучкість, зручність в обслуговуванні, економічність використання змінних ріжучих елементів, а також здатність забезпечувати стабільну якість обробки за умови інтенсивної експлуатації.

Для оцінювання напружено-деформованого стану токарного ріжучого інструменту доцільним є використання теореми Кастільяно, яка базується на принципі потенційної енергії деформації [3]. Цей метод дозволяє здійснити аналітичну оцінку реакції інструментальної системи на зовнішні навантаження, враховуючи внутрішні деформації, що виникають у процесі обробки. Застосування теореми особливо ефективне в умовах складного навантаження, де просте врахування згину є недостатнім для повноцінної характеристики поведінки ріжучого елемента.

Одним із критичних факторів, що впливають на точність виготовлення деталей, є положення ріжучого інструменту відносно осі симетрії. Відхилення його положення призводить до порушення геометричних допусків,

зокрема, циліндричності та округлості, що ускладнює забезпечення заданої якості поверхні. У типових умовах навантаження сила різання викликає згинальний момент у державці інструменту. В таких випадках застосовується спрощене рівняння прогину:

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \tag{1}$$

Однак, у випадку одноточкових інструментів ріжуча кромка часто не збігається з віссю тримача, що призводить до одночасного виникнення згинального та крутильного моментів. Тому необхідним є застосування методу, що враховує обидва типи навантажень. Теорема Кастільяно у цьому випадку дозволяє точно визначити сумарний прогин:

$$\delta = \int_0^L \frac{M_e \cdot \frac{\partial M_e}{\partial F}}{E \cdot I} dx + \int_0^L \frac{M_b \cdot \frac{\partial M_b}{\partial F}}{G \cdot I_p} dx \tag{2}$$

Розрахунок енергії деформації здійснюється окремо для кожного типу навантаження: згин (формула 3) і кручення (формула 4).

$$\int_0^L \frac{M_e \cdot \frac{\partial M_e}{\partial F}}{E \cdot I} dx = \int_0^L \frac{(F \cdot x) \cdot x}{E \cdot I} dx = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \tag{3}$$

$$\int_0^L \frac{M_b \cdot \frac{\partial M_b}{\partial F}}{G \cdot I_p} dx = \int_0^L \frac{(F \cdot x) \cdot x}{G \cdot I_p} dx = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot G \cdot I_p} \tag{4}$$

Загальний прогин у точці прикладення сили обчислюється як похідна повної енергії за силою:

$$\delta = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot G \cdot I_p} \tag{5}$$

Для подальших розрахунків деформаційних характеристик токарного ріжучого інструменту використано такі вхідні дані.

Зусилля різання, яке прикладається до ріжучої частини інструменту, становить 1000 Н. Відстань від точки прикладання сили до фіксації інструменту, тобто довжина консолі, приймається рівною 50 мм. Модуль пружності матеріалу державки, що визначає її здатність чинити опір деформаціям за навантаження, становить 210 10^3 МПа.

Модуль зсуву розраховано за стандартним співвідношенням між модулем пружності та коефіцієнтом Пуассона. За прийнятого значення коефіцієнта Пуассона ν ≈ 0,3, модуль зсуву наближається до 81 10^3 МПа.

Момент інерції поперечного перерізу державки щодо осі згину становить 104 $мм^4$, що є важливим параметром для обчислення прогину від згинального моменту. Полярний момент інерції, який враховує опір крутильному навантаженню, становить 208 $мм^4$. Це значення отримано як подвоєне значення моменту інерції, що є типовим для прямокутних перерізів у разі кручення навколо осі симетрії.

Підставивши наведені вище значення параметрів у рівняння (5), яке враховує сумарний вплив згинального та крутильного моментів згідно з теоремою Кастільяно, та провівши відповідні аналітичні обчислення, отримуємо загальний прогин у точці прикладання сили. Результат розрахунку становить 0,0124 мм, що свідчить про високу жорсткість конструкції ріжучого інструменту та підтверджує ефективність застосованої методики оцінки деформацій.

Висновки. Аналітичне моделювання напружено-деформованого стану інструмента за допомогою теореми Кастільяно дало змогу точно оцінити прогин ріжучої частини під дією складних навантажень. Врахування як згинального, так і крутильного моментів дозволяє отримати реалістичні результати моделювання, що підтверджується малим значенням сумарного відхилення ріжучої кромки (0,0124 мм). Такий підхід забезпечує підвищення точності та надійності обробки, а також сприяє зменшенню ризиків передчасного зносу інструменту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гомон, С.С., & Левченко, О.В. (2019). Аналіз конструкцій ріжучих інструментів у токарній обробці. *Вісник машинобудування та транспорту*, (4), 42–47.
2. DIN ISO 513:2012-11. *Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges.*
3. Romero, I. (2017). A generalization of Castigliano's theorems for structures with eigenstrains. Archive of Applied Mechanics, 87, 1727–1737.

УДК 004.92; 711

ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ МАЛОГАБАРИТНОЇ МОДУЛЬНОЇ ДРОБІЛЬНО-СОРТУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

О.В. Федоскіна[1], М.М.Єрісов[2], В.О.Федоскін[3]
[1]доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: fedoskina.o.v@nmu.one
[2]ассистент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, e-mail: erisov@ukr.net
[3]доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, e-mail: fedoskin_va@ukr.net
[1,2,3] Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. Виникнення та збільшення кількості відходів руйнування значно ускладнює проблему управління та відновлення твердих побутових відходів. Існуюче дробильно-сортувальне обладнання малоефективне на ділянках з невеликим запасом сортувальних відходів, що характерно для районів зі зруйнованими війною спорудами. У зв'язку з цим, виникає необхідність у створенні малогабаритної пересувної установки продуктивністю до 5 т/год.

Ключові слова: Відходи руйнування, дроблення, сортування, пересувна установка

PREREQUISITES FOR THE CREATION OF A SMALL-SIZED MODULAR CRUSHING AND SORTING PLANT FOR PROCESSING SOLID MUNICIPAL WASTE

O.V. Fedoskina[1], M.M. Yerisov[2], V.O. Fedoskin[3]
[1]associate professor of Engineering and Generative Design Department, e-mail: fedoskina.o.v@nmu.one
[2]assistant of the department of automobiles and automobile economy, e-mail: erisov@ukr.net
[3]associate professor of the department of automobiles and automotive engineering, e-mail: fedoskin_va@ukr.net
[1,2,3] Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The emergence and increase in the amount of demolition waste significantly complicates the problem of managing and recovering solid household waste. Existing crushing and sorting equipment is inefficient in areas with a small supply of sorting waste, which is typical for areas with structures destroyed by war. In this regard, there is a need to create a small-sized mobile unit with a capacity of up to 5 t/h.

Keywords: Waste destruction, crushing, sorting, mobile plant

Introduction. The Law of Ukraine "On Waste" defines waste as any substances, materials and objects, which are formed in the process of human activity and are not used further at the place of formation or identification and from which their owner must get rid of by utilization or disposal [1].

The increase in industrial production is inextricably linked to the growth of waste that is used at a particular enterprise. The bulk of the waste, which amounts to billions of tons, is generated by mining and processing companies, metallurgical plants, machine-building plants, and construction materials manufacturers, forming man-made deposits. They occupy thousands of hectares of territory in the form of waste heaps, waste rock dumps, and tailing pits. As a result, huge areas of land are taken out of agricultural use, the condition of the adjacent air basin deteriorates due to the presence of large amounts of dust, and there is a threat of chemical contamination of surface and groundwater.

Industrial waste is generated in much smaller quantities. First, it accumulates at enterprises that may be located at a considerable distance from each other, then it is collected in a designated place, sorted and then sent for recycling to obtain secondary resources. This traditional scheme creates an irrational use of vehicles for waste transportation.

The amount of solid domestic waste in the world is catastrophically increasing. In Ukraine alone, according to 2021 data, up to 500 million tons of waste is generated annually, including from primary (76%) and secondary (about 18%) production, from agriculture (about 2%). Another 2% is domestic waste - about 12 million tons of it is produced annually. These data have changed considerably after the outbreak of hostilities related to the Russian aggression, which significantly aggravated the existing acute problem of waste management, recovery and utilization.

Objective. Based on the analysis of literary sources describing the structure of demolition waste, to substantiate the relevance of the task of creating mobile equipment capable of improving the efficiency and quality of work in the dismantling and restoration of war-damaged buildings and structures.

Material and results of the research. Published in The New York Times, the results of a large study conducted by a group of American scientists show that between February 2022 and December 2023 alone, about 210,000 buildings in Ukraine have been destroyed. Unfortunately, this figure continues to increase. Hundreds of thousands of tons of waste from the destruction of settlements are added to the existing production and construction waste. The essential difference and complexity of processing such waste is the uncertainty of the formed conglomerate, possible presence of harmful components and explosive objects in it.

The law of Ukraine [2] defines the term demolition waste as parts (fragments) of damaged (destroyed) objects, as well as materials and objects that were inside or near such objects at the time of damage (destruction) and/or dismantling and that have fully or partially lost their consumer properties and cannot be further used at the place of their formation or discovery.

Destroyed cities (Fig.1) or settlements (Fig.2) have a long territory littered with all kinds of debris, which is difficult for the movement and maneuvering of vehicles during the waste sorting process. The creation of temporary sites for the collection of separated waste is also problematic, while the productivity of dismantling completely (Fig. 3) or partially (Fig. 4) demolished buildings and structures is insignificant with mandatory manual dismantling. For this reason, the use of high-capacity machinery is inefficient and can be limited to 1...5 t/h.

Fig.1. – Destroyed city

Fig.2. – Destroyed settlement

Fig.3. – Completely destroyed buildings

Fig.4. – Partially destroyed buildings

Such a huge amount of waste generated in a relatively short period of time cannot be processed at existing sorting stations and enterprises. The consequence of this is excessive filling of existing dumps, the formation of unauthorized spontaneous dumps, the need to create new specialized landfills for waste storage.

Lack of effective recycling leads to soil pollution, greenhouse gas emissions, hydrogen sulfide, irrecoverable loss of secondary raw materials and ecological disaster. Most of these millions of tons of construction waste are secondary

resources and can be reused. There are two ways to dispose of waste: landfill disposal, or recycling for use in restoring damaged facilities and constructing new buildings. Both ways are problematic. The problem of exportation is the lack of landfills, loss of huge areas, negative impact on the environment. The problem of recycling is the lack of mobile small-sized equipment.

Existing mobile crushing plants are focused on medium and fine crushing of raw materials (concrete, brick, etc.). High productivity (tens of tons per hour) is associated with the complexity of collecting and loading the feedstock, the plants require an additional loading device, have significant dimensions and metal consumption, limited territorial maneuvering and production of marketable products in a wide range of material sizes. Demolition waste also contains materials (glass, plasterboard, ceramics, marble, etc.) that are sorted and stored during manual disassembly, and whose conversion into secondary raw materials or marketable products requires obtaining fine-grained and powdered material. This will save natural resources, significantly reduce transportation costs and reduce the load on landfills. However, the lack of effective recycling technology and high-performance crushing and screening equipment does not allow us to positively solve this urgent problem.

Even such a brief overview shows the complexity of demolition waste management and the feasibility of creating small-sized mobile crushing and screening equipment with a capacity of up to 1-5 t/h for on-site waste processing to produce secondary raw materials.

Such a plant can be created on the basis of a vibrating jaw crusher with an inclined crushing chamber. On the laboratory sample of the crusher were conducted studies on crushing of demolition waste:

-Crushing of reinforced concrete of initial size 100mm allowed to separate three components: steel reinforcement, crushed stone and fine fraction of concrete.

-Crushing of sheet glass with thickness of 4mm allowed to obtain cleaned glass with a sharp or tapered edge of 0,1...3mm coarseness.

-Crushing of glass containers was carried out using bottles. Varying the parameters of the crusher, the final product of required fractions from 100µm to 5500µm was obtained, which is a finished marketable product.

-Crushing of gypsum board sheets made it possible to separate the gypsum component from the cardboard.

Conclusions.

1. Existing crushing and sorting plants mainly process large-sized concrete and brick component of waste with high hourly productivity (up to 300t/h) and their use at the waste generation site with manual sorting is inefficient.

2. Analysis of scientific and technical sources shows the need to create a small-sized mobile crushing and screening plant with a capacity of up to 5t/h,

capable of processing most of the components that make up the waste, with the receipt of marketable products.

REFERENS

1. Про відходи: Закон України № 187/98-ВР від 05.03.1998 р. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 36. Ст. 242

2. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України: Постанова КМУ № 1073 від 27.09.2022 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text

УДК 656.025

ФАКТОРИ РИЗИКУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ШВИДКОПСУВНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

О.М. Загурський[1], С.М. Загурська[2]

[1]д-р. екон. наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, e-mail: zagurskiy_oleg@ukr.net

[2]к. філос. наук, Київський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних кадрів, Біла Церква, e-mail: zagurskasm@ukr.net

Анотація. Запропоновано систему факторів, виражених в індикативних показниках, які відображають вплив внутрішнього та зовнішнього середовища на рівень ризику процесу транспортування швидкопсувної сільськогосподарської продукції в ланцюгах поставок. На основі певної системи індикативних показників сформовано нечітко-множинну модель оцінки рівня прийнятності запропонованих груп логістичних ризиків.

Ключові слова: ланцюг постачань, нечітка логіка, ризик, система факторів, транспортування.

RISK FACTORS OF TRANSPORTATION OF PERISHABLE AGRICULTURAL PRODUCTS

O.M. Zagursky[1], S.M. Zagurska[2]

[1]Dr. of Economics, Professor, National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine, Kyiv, E-mail: zagurskiy_oleg@ukr.net

[2]Dr. of Philosophy, Kyiv Regional Institute of Postgraduate Education of Pedagogical Personnel, Bila Tserkva, E-mail: zagurskasm@ukr.net

Abstract. A system of factors expressed in indicative indicators that reflect the impact of internal and external environment on the level of risk of the process of transportation of

perishable agricultural products in supply chains is proposed. Based on a certain system of indicative indicators, a fuzzy-multiple model of assessing the level of acceptability of the proposed groups of logistics risks was formed.

Keywords: supply chain, fuzzy logic, risk, system of factors, transportation.

Вступ. Рівень допустимості ризику для ланцюгів постачань аграрної продукції внаслідок її особливостей, перш за все пов'язаних із обмеженими термінами зберігання, є комплексним показником, який відображає ймовірність настання і важкість несприятливої події (ризикової події). При цьому, вплив на факт настання ризикової події справляє значна кількість факторів зовнішнього і внутрішнього середовища, виражених в сукупності певних показників. Значимість даних показників, рівно, як і вектор сили їх впливу, унікальні для кожного окремого фактору. Проте найбільший вплив і певну унікальність мають показники впливу транспортних факторі на ризиковість в логістики ланцюгів постачань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій: Слід зазначити, що управління ризиками в ланцюгах постачань (SCRM) – це нова сфера досліджень в контексті загальної стратегії управління ланцюгами постачань (SCM). За останні 5-6 років з’являється низка публікацій [1;2;5;6,8] в яких ризик ланцюга постачань розглядається як ситуація що тягне за собою вплив двох основних елементів: інцидент і невизначеність можливих наслідків. Враховуючи те, що в сьогоднішньому невпорядкованому і дуже динамічному ринковому середовищі кожний ланцюг постачання сприйнятливий до руйнівних наслідків [3] необхідним на думку фахівців є розробка комплексної стратегія яка задовольняють наступним потребам. По-перше, ці стратегії, що допомагають компаніям у мінімізації витрат і підвищенню задоволеності клієнтів. По-друге, ці стратегії, що мають надавати компаніям можливість здійснювати свою оперативну діяльність під час.

Мета дослідження: Метою роботи є розробка системи факторів, виражених в індикативних показниках, що відображають вплив внутрішнього і зовнішнього середовища на рівень ризиковості процесу транспортування швидкопсувних аграрних продуктів у ланцюгах постачань..

Виклад основного матеріалу: Аналіз ситуації ризику визначає три взаємопов'язаних умови: наявність невизначеності, аналіз можливих альтернатив розвитку та вибір можливості оцінити ймовірність здійснення обраних варіантів управління ризиками [7].

Слід зазначити, що в даному випадку досліджується виключно процес транспортної логістики швидкопсувної аграрної продукції, отже і вибір певного варіанту її транспортування. З цією метою будуть розглянуті найважливіші на наш погляд групи факторів ризику, пов'язані з цим етапом ланцюга

постачань, а саме: матеріальні, експлуатаційні та соціальні ризики.

Розглянемо послідовно дані групи:

Матеріальний ризики. Дані ризики характеризують сукупний несприятливий вплив на кількісну і/або якісну цілісність вантажу, що перевозиться. В якості факторів, що впливають на рівень цих ризиків, можна виділити наступні:

1. Наявність контролюючого персоналу. Наявність спеціально навченого персоналу, здатного своєчасно відреагувати на порушення умов транспортування швидкопсувних вантажів сприяє значному зниженню потенційного збитку і ймовірності реалізації ризикової ситуації. Вплив цього фактору має зворотний характер щодо рівня ризику. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою наступних показників:

a. кількість контролюючого персоналу. Умовне позначення – Fr/m-1. Одиниці виміру – чол. Вимірюється статистично. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

b. кваліфікація контролюючого персоналу. Умовне позначення – Fr/m-2. Одиниці виміру – бали. Вимірюється експертно. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

2. Довжина і специфіка шляху. Зі збільшенням довжини шляху ймовірність кількісного і/або якісного пошкодження вантажу значно збільшується. Вплив цього фактору має прямий характер щодо рівня ризику. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою наступних показників:

a. сукупна довжина шляху. Умовне позначення – Fr/m-3. Одиниці виміру – км. Вимірюється статистично. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

b. кількість дорожньо-транспортних пригод, скоєних на шляху за останні 2 роки за статистикою МВС. Умовне позначення – Fr/m-4. Одиниці виміру – шт. Вимірюється статистично. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

3. Погодні умови. Погіршення погодних умов може призвести як до порушень цілісності транспортної упаковки, так і до погіршення можливості контролю процесу транспортування. Вплив цього фактору має зворотний характер щодо рівня ризику. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою показника:

a. якісна оцінка результатів прогнозу погоди. Умовне позначення – Fr/m-5. Одиниці виміру – бал. Вимірюється експертно. Збільшення цього показника призводить до зменшення впливу фактору.

Експлуатаційні ризики. Дані ризики характеризують сукупний несприятливий вплив факторів зовнішнього і внутрішнього середовища на процес експлуатації вантажного автомобільного рухомого складу. Реалізація цих

ризиків може привести до реалізації екологічних ризиків. При цьому, дані ризики багато в чому носять технічний характер. Як фактори, що впливають на рівень експлуатаційних ризиків, можна виділити наступні:

1. Знос рухомого складу. Даний фактор є визначальним у частині забезпечення безперебійності процесу перевезення. Вплив цього фактору має прямий характер щодо рівня ризику. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою наступних показників:

a. коефіцієнт зносу рухомого складу. Даний показник розраховується як щодо накопиченої амортизації до первісної вартості рухомого складу. Умовне позначення – Fr/e-1. Одиниці виміру – %. Вимірюється статистично. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

b. частка нормативного часу, що пройшов з моменту останнього планового технічного обслуговування рухомого складу. Даний показник розраховується як відношення часу, що залишився до наступного планового обслуговування і нормативного часу між плановим технічним обслуговуванням. Умовне позначення – Fr/e-2. Одиниці виміру – %. Вимірюється статистично. Зменшення даного показника призводить до збільшення впливу фактору.

2. Навантаження на дорожнє полотно. Даний фактор носить виключно технічний характер. Його вплив має чітко визначений вектор і прямий характер щодо рівня ризику. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою наступних показників:

a. перевищення допустимого рівня навантаження на вісь. Розрахунок даного показника здійснюється шляхом ділення поточного рівня навантаження на вісь до його нормативного значення. Умовне позначення – Fr/e-3. Одиниці виміру – %. Вимірюється статистично. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

b. перевищення допустимого рівня навантаження на 1 метр дорожнього полотна. Розрахунок даного показника здійснюється відповідно до розрахунку показника Fr/e-3. Умовне позначення – Fr/e-4. Одиниці виміру – %. Вимірюється статистично. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

2. Знос дорожнього покриття. Даний фактор є виключно зовнішнім для транспортного підприємства. Вплив цього факторе має прямий характер щодо рівня ризику. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою наступного показника:

a. частка нормативного часу, що пройшов з моменту ремонту дороги. Даний показник розраховується як відношення часу, що залишився до наступного планового обслуговування і нормативного часу між плановим технічним обслуговуванням. Умовне позначення – Fr / e-5. Одиниці виміру – %.

Вимірюється статистично. Зменшення даного показника призводить до збільшення впливу фактору.

Соціальні ризики. Дані ризики об'єднують в собі сукупність несприятливих подій, джерелом яких є «людський фактор». Реалізація соціальних ризиків може привести до експлуатаційних ризиків, які в свою чергу можуть привести до екологічних ризиків. У якості факторів, що впливають на рівень цих ризиків, можна виділити наступні:

1. Достатність персоналу. Даний фактор є визначальним у частині можливості реалізації соціальних ризиків. Вплив даного чинника носить прямий характер щодо рівня ризику. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою наступного показника:

а. укомплектованість підприємства персоналом. Даний показник розраховується відношенням наявного на підприємстві персоналу до кількості необхідного для виконання завдань. Умовне позначення – Fr/s-1. Одиниці виміру – %. Вимірюється статистично. Зменшення даного показника призводить до збільшення впливу фактору.

2. Кваліфікація персоналу. Вплив даного чинника носить зворотний характер щодо рівня ризику. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою наступного показника:

а. середній рівень кваліфікації персоналу. Даний показник розраховується як ставлення суми кваліфікаційних оцінок (виражених в балах) та сукупної кількості оцінюваного персоналу. Умовне позначення – Fr/ s-2. Одиниці виміру – бал/чол. Вимірюється експертно. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

3. Досвід роботи персоналу. Сукупний досвід роботи дозволяє сформувати у працівника практичні навички за алгоритмами усунення наслідків в умовах реалізації ризику. Природа впливу даного чинника на інтегральний результат співставна природі впливу попереднього фактору. Рівень впливу даного чинника може бути оцінений за допомогою наступного показника:

а. середній досвід роботи задіяного персоналу. Розрахунок даного показника згідний показником Fr/s-2. Умовне позначення – Fr/s-3. Одиниці виміру – бал/чол. Вимірюється статистично. Збільшення цього показника призводить до збільшення впливу фактору.

Сформована система показників досить різнорідна. Ступінь впливу як кожного фактору на інтегрований показник, так і кожного окремого показника на вплив фактору, відрізняється. Отже, має сенс побудови виваженої системи показників. Присвоєння ваги кожному з виділених показників може бути здійснене за допомогою комбінованого підходу, який передбачає як експертний розподіл ваг, так і розподіл ваги відповідно до закону Фішберна. Для цих цілей чинники були ранжовані експертами за ступенем впливу на

кінцевий результат. При цьому розподіл ваги всередині самих груп вироблено рівномірно для недопущення збільшення ваги тих факторів, які оцінюються декількома показниками. Результати розподілу представлені на рис 1.

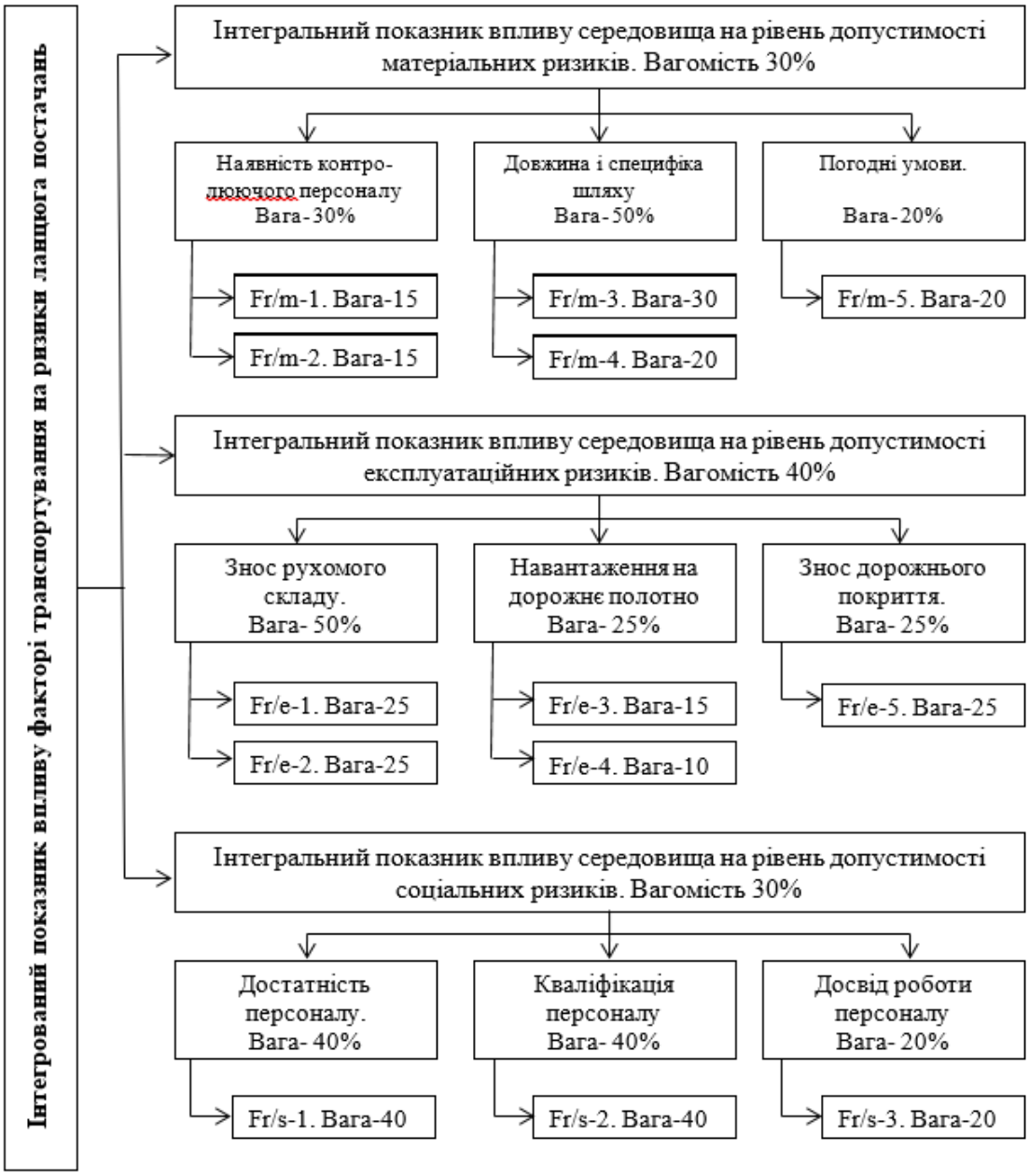


Рис. 1. – Розподіл ваг моделі інтегрованого впливу на рівень допустимості ризиків процесу транспортування

Висновки: Оцінка допустимості всіх виділених груп ризиків не може проводитися на основі класичних методів оцінки ризиків. В першу чергу, це обумовлено необхідністю використання як статистичних (формалізованих), так і експертних (неформалізованих) показників, що характеризують рівень того чи іншого ризику. Більш того, складність об'єкта дослідження визначає

необхідність виділення нечітких інтервалів оцінки, а також характеризуються рівнем впевненості експерта в зроблених висновках. Отже, одним з найбільш придатних для побудови моделі оцінки рівня допустимості логістичних ризиків процесу транспортування швидкопсувної агарної продукції є нечітко-множинний підхід.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cunha L., Ceryno P., Leiras A. Social supply chan risk management: A taxonomy, a framework and a research agenda, Journal of Cleaner Production, 2019, Volume 220, 1101-1110.
2. Elock Son, C. Supply Chain Risk Management: A Review of Thirteen Years of Research. American Journal of Industrial and Business Management, 2018, 8, 2294-2320.
3. Knemeyer A. M., Zinn W., Eroglu C. (2009) "Proactive Planning for Catastrophic Events in Supply Chains."*Journal of Operations Management* 27 (2): 141-153.
4. Niv, G. R. *Space Dr. Deming: The principles of sustainable business* Harvard Business Review, 2005.
5. Norrman A., Wieland, A. The development of supply chain risk management over time: revisiting Ericsson", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 2020. Vol. 50 No. 6, 641-666.
6. Pham H., Pham T., Quang T., Dang C. Supply chain risk management research in construction: a systematic review, International Journal of Construction Management, 2022. DOI: 10.1080/15623599.2022.2029677.
7. Zagurskyi O., Pokusa T., Zagurska S., Ohiienko M., Titova L., Rogovskii I. Ohiienko A., Razumova K., Berezova L. Current trends in development of transport and logistics systems of delivery of fast perishable foodstuffs. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2021, 238.
8. Zagurskiy O. M., Zhurakovska T. S. Food supply transport and logistics system organizations. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 4, 53-59.

УДК 656.13(075.8); 351.811.12; 347.463

АНАЛІЗ ДОКУМЕНТАЦІЇ З БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ ОЦІНОЧНОМУ РОЗРАХУНКУ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ

В.В. Крівда[1], К.І. Корніленко[2], А.О. Мерікова[3]
[1]доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства
[2]асистент кафедри автомобілів та автомобільного господарства, e-mail: kornilenko.k.i@nmu.one
[3]студент групи 275-21-1, e-mail: merikova.a.o@nmu.one
[1,2,3]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі досліджується вплив оціночного підходу до розрахунку автомобільної підвіски на загальну безпеку дорожнього руху. Розглянуто фактори, що виникають при порушенні стандартних методів проєктування, а також запропоновано метод документального аналізу технічного стану підвіски за умов обмеженого інженерного забезпечення для вивчання у освітніх компонентах спеціальності.

Ключові слова: безпека дорожнього руху, підвіска автомобіля, неформальний розрахунок, документальний аналіз, механіка транспортних засобів, D3A методика, вібродинаміка, цифрові дані транспортного засобу, порівняльний аналіз, кінематика підвіски, аматорський тюнінг, аналітика автомобіля, інженерний контроль.

DOCUMENTATION ANALYSIS OF TRAFFIC SAFETY IN ESTIMATED SUSPENSION CALCULATION OF A VEHICLE

V.V. Krivda[1], K.I. Kornilenko[2], A.O. Merikova[3]
[1]Associate Professor, Department of Automobiles and Automobile Economy, e-mail: krivda.v.v@nmu.one
[2]Assistant, Department of Automobiles and Automobile Economy, e-mail: kornilenko.k.i@nmu.one
[3]Student of group 275-21-1, e-mail: merikova.a.o@nmu.one
[1,2,3]Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper investigates the impact of an estimated (informal) approach to vehicle suspension calculations on overall traffic safety. It considers factors emerging from violations of standard design methodologies and proposes a method of documentation analysis for assessing the technical condition of vehicle suspension systems under conditions of limited engineering support. This method is also proposed for integration into educational components of technical specialties.

Keywords: Traffic safety, vehicle suspension, informal calculation, documentation analysis, vehicle mechanics, D3A methodology, vibrodynamics, vehicle digital data, comparative analysis, suspension kinematics, amateur tuning, automotive analytics, engineering control.

Introduction. Nowadays, it is difficult to imagine the work of an engineer being limited only to the design and calculation of products, as well as preparing them for production. The aesthetic component plays an important role today. That is, each product must be developed not only from the perspective of functionality, but also considering design and ergonomics.

The suspension system of a car plays a critical role in ensuring safety and comfort during motion. It is responsible for absorbing road irregularities, maintaining vehicle stability, and optimizing tire grip on the road surface. Studies show that suspension failures or inadequate design can lead to serious consequences, including loss of control and increased risk of traffic accidents (Fig. 1) [1].

Figure 1 – Examples of suspension system damage related to vehicle operation

Purpose of the study. The purpose of this work is to investigate the impact of an informal (evaluative) approach to calculating vehicle suspension on road safety, and to explore the possibility of proposing a method of documentary analysis as a tool for monitoring the technical condition of the suspension under conditions of limited engineering support.

Materials and research results. The study is based on classical principles of mechanics, in particular Hooke's Law, which describes the behavior of elastic suspension elements. According to this law, the spring force is defined as [2]:

$$Fs=-k\cdot x \quad (1)$$

where Fs – spring force, k – spring stiffness (spring constant), x – displacement of the spring from its equilibrium position.

This formula makes it possible to evaluate the impact of spring stiffness on the damping properties of the suspension.

It is also important to take into account the damping force generated in shock absorbers, which suppresses excessive oscillations. This force is described by the equation [3]:

$$Fd=-c\cdot v \quad (2)$$

where Fd – damping force, c – damping coefficient, v – velocity of the shock absorber's displacement.

To analyze the suspension dynamics, we will use the classical "quarter-car model," which considers the body mass m_1, wheel mass m_2, spring stiffnesses k_1 and k_2 (for the suspension and tire respectively), and the damping coefficient

ccc. The equations of motion for this system are as follows—for the body mass (3) and for the wheel mass (4):

$$m_1 \cdot \ddot{z}_1 + c \cdot (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + k_1 \cdot (z_1 - z_2) = 0 \quad (3)$$

$$m_2 \cdot \ddot{z}_2 + c \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + k_1 \cdot (z_2 - z_1) + k_2 \cdot z_2 = f(t) \quad (4)$$

where z_1 , z_2– vertical displacements of the body and wheels respectively, $\dot{z}_1, \dot{z}_2$ – their speeds, $\ddot{z}_1$, $\ddot{z}_2$– acceleration, $f(t)$ – external disturbing force, for example, a bump in the road.

These equations make it possible to assess how design parameters affect vehicle dynamics. In particular, the spring stiffness k_1 influences ride stiffness and body roll; the damping coefficient ccc determines the rate at which oscillations are damped; and tire stiffness k_2 affects the suspension's initial response to road irregularities [4].

Let us consider the influence of suspension parameters on vehicle behavior. The spring stiffness k_1 affects the body height and its oscillations – an increase in stiffness reduces body roll but may compromise ride comfort. The damping coefficient ccc determines the speed of oscillation decay. Excessive damping makes the suspension feel "harsh," while insufficient damping leads to prolonged oscillations.

Tire stiffness k_2, in turn, affects road grip and the transmission of minor irregularities to the vehicle body. Understanding these parameters and their interactions is critical for engineers when developing a suspension system that balances comfort and safety.

Informal calculation refers to methods that do not comply with engineering standards (such as ISO, SAE…), and are based on subjective assessments, simplified models, or empirical approaches without sufficient verification. Simple engineering calculators are often used for such tasks.

Informal calculations can lead to:

- distortion of chassis geometry;
- reduced damping efficiency;
- changes in the center of mass;
- compromised tire-road traction;
- increased wear on tires and steering components.

To address problems related to informal calculation approaches, the following measures are proposed:

Developing simplified mathematical models – such as the basic quarter-car model – to assess the effects of parameter changes.

Using software tools (CAD/CAE), such as SolidWorks Simulation, MATLAB Simulink, and Adams Car, for preliminary modeling.

Incorporating certified data-using manufacturer specifications or ISO/SAE standards (e.g., SAE J670 for suspension kinematics).

Promoting a culture of technical literacy through educational and scientific projects, technical courses, instructional materials, and state initiatives for safe vehicle modifications.

Enforcing control at the vehicle inspection level-modifications should be reflected in registration documents only with proper engineering justification.

The concept of "informal calculation" should not be confused with engineering creativity. In the context of vehicle safety, the term has a clearly negative connotation, as the lack of justification in technical decisions often leads to reduced reliability and controllability. Therefore, even "home" tuning should be carried out using at least basic calculation models and fundamental verification procedures.

Let us now turn to the method of documentary analysis, which involves the examination of:

- technical documentation (manuals, drawings, calculations);
- modification history;
- photo and video materials of vehicle operation;
- results of technical inspections and diagnostics.

This approach allows us to assess how well-founded and safe a modification is. A new approach to road safety documentation analysis is proposed, which is based not only on classical principles of technical documentation verification but also on the integration of digital tools, machine data analysis, and the formalization of informal experience.

In this context, documentary analysis is a systematic study of available technical, instructional, and operational documentation (both official and user-generated) to identify potential risks, inconsistencies, or undocumented changes in the vehicle's suspension design. A methodology is proposed-referred to as D3A analysis-which includes:

Documentation Layer (analysis of technical documentation),

Data Layer (analysis of digital data), and

Delta Analysis (comparative discrepancy analysis).

Documentation Layer refers to the collection of initial technical documentation for the vehicle (passport, manual, service history).

For example, the object of study is a Volkswagen Golf V, 1.9 TDI, model year 2006.

The goal is to identify deviations in front suspension components following informal modifications, compared to factory baseline parameters (Tables 1-3).

Table 1 – Collection of initial technical information

Component	Factory equipment	Source of information
Front springs	OEM code: 1K0411105CE	ETKA, VW spare parts catalog
Front shock absorbers	Sachs 312 732 (gas)	Service book, Partscatalog
Ground clearance height	140 mm	Operating instructions

Table 2 – Identified changes

Component	Actually installed	Installation source
Front Springs	From Audi A4 B6	Car owner, service photo
Shock Absorbers	Bilstein B4	Parts sticker, service sheet
Ground Clearance	158 mm	Measurement with tape measure

Table 3 – Compliance analysis

Parameter	Expected value	Detected value	Deviation
Spring stiffness	17.5 N/mm	22.0 N/mm	+25.7%
Damping	Standard	Increased	Not OEM
Clearance	140 mm	158 mm	+18 mm

After gathering the information, conclusions from the Documentation Layer are recorded.

Example: The installed springs and shock absorbers do not comply with the manufacturer's recommendations. The ground clearance has been altered without recalibrating the suspension geometry. There is a high likelihood of a shift in the roll center position, which may affect cornering stability. It is necessary to conduct the Data Layer and Delta Analysis to assess the impact on vehicle dynamics.

The second stage, Data Layer (digital data analysis), involves obtaining data from onboard recorders (if available), analyzing photo/video materials from inspections or test drives (video analysis of suspension behavior), and incorporating driver feedback from publicly accessible sources, etc.

Below, Tables 4–5 provide an example of the Data Layer stage from the proposed D3A-analysis methodology, which pertains to the collection and interpretation of digital data on the condition of the vehicle's suspension. This stage allows for evaluating the actual effects of informal modifications using available digital tools.

Object of study – Volkswagen Golf V after replacement of front springs with models from an Audi A4.

Interpretation of results. The oscillation damping time has significantly increased, indicating that the damping system is not properly matched to the stiffness of the new springs. The change in natural frequency suggests a shift in the dynamic characteristics toward a more "sporty" setup, but without adequate

compensation from the shock absorbers.

Table 4 – Sources of digital data

Source	Description	Tool
OBD-II reading	Data from speed, acceleration, body angle sensors	Torque Pro (Android)
Video analysis of suspension behavior	Slow motion video of driving over bumps	iPhone Slow-Mo (240 fps)
Variation amplitude telemetry	Body vibration damping rate	Sensor Kinetics Pro
Movement dynamics	Video + frame analysis	Tracker Video Analysis Tool

Table 5 – Results processing. Example of analysis of oscillations after passing a speed bump (values are normalized)

Parameter	Factory setting	After replacement	Deviation (%)
Damping time ($t_{1/2}$)	1.8 s	2.9 s	+61.1%
Natural frequency	1.7 Hz	2.4 Hz	+41.2%
Maximum acceleration of the body	3.1 m/s²	4.8 m/s²	+54.8%
Body tilt angle during braking	5.3°	7.6°	+43.4%

Let us now consider the Delta Analysis (comparative discrepancy analysis). This involves identifying deviations between the design and actual parameters (based on simulation or compatibility tables), and analyzing the impact of these changes on key factors such as stiffness, damping, and natural frequency. The next step is to generate a digital risk map, which highlights zones of critical influence.

Example. The goal of the analysis is to determine the criticality of suspension parameter changes after informal component replacement, using a Volkswagen Golf V fitted with non-original front springs as a case study.

Actual digital values from the Data Layer are compared with nominal values from the Documentation Layer. To assess the impact, we will use a Criticality Index (CI):

$$CI = \frac{|Fact - Norm|}{Norm} \cdot W \tag{5}$$

where W – parameter criticality weighting factor (from 1 to 3), $CI > 0.3$ — critical deviation.

As a result, the Delta Analysis demonstrated that the methodology covers the entire analysis cycle-from documentation review to the comparison of digital deviations. This enables a comprehensive assessment of the impact of changes. The proposed approach ensures a logical sequence, reducing the risk of over-

looking critical safety aspects. The use of mobile apps, OBD scanners, video analysis, and sensors allows for the collection of objective and measurable data without the need for expensive equipment.

Table 6 – Calculation of the criticality index

Parameter	Norm	Fact	Weighting factor W	CI	Criticality
Damping time ($t_1/_2$)	1.8 c	2.9 c	2	1.22	High
Natural frequency	1.7 Гц	2.4 Гц	1.5	0.62	Moderate
Maximum acceleration	3.1	4.8	3	1.64	High
Braking angle	5.3°	7.6°	1	0.43	Low

Table 7 – Visualization of risk areas

CI value	Risk Category
CI ≥ 1.0	Critical Risk (requires immediate response)
0.5 ≤ CI < 1.0	Moderate Risk (check recommended)
CI < 0.5	Low Risk (does not require immediate intervention)

The methodology not only identifies changes but evaluates their impact in terms of safety-handling, stability, comfort, and braking efficiency. This is especially important for vehicle modifications that lack formal certification. The methodology can be applied to the analysis of any passenger vehicle, regardless of brand or year of manufacture. Its structure is suitable for vehicle owners, automotive service providers, or technical auditors alike.

The analysis showed that the informal replacement of springs without accounting for their parameters resulted in critical deviations in amplitude-frequency characteristics and body dynamics. The increased body acceleration (CI = 1.64) and damping time (CI = 1.22) may lead to loss of traction during emergency braking and dangerous body roll in corners. Therefore, it is recommended to either match the shock absorbers to the new springs or revert to the original components.

Conclusions. This study applied the author's "D3A" methodology to a passenger vehicle with an informal spring replacement. The documentation analysis revealed that springs from an SUV with a different stiffness rating (+45%) were installed. Telemetry data from the Torque Pro app confirmed excessive stiffness over road irregularities and increased oscillation frequency. The Delta Analysis indicated a 17% increase in the risk of traction loss compared to nominal parameters. Based on these findings, a return to near-original suspension specifications was recommended.

REFERENCES

1. Sławomir Kowalski Analysis of Automotive Suspension System Failures and Reliability Evaluation: A Study Based on V-SIM Simulation, 27 November 2024 / Revised: 30 December 2024 / Accepted: 13 January 2025 / Published: 15 January 2025, Appl. Sci. 2025, 15(2), 805; https://doi.org/10.3390/ app15020805.
2. Car Suspension Force Equations. *Engineering Stack Exchange*. URL: https://engineering.stackexchange.com/questions/7771/car-suspension-force-equations?utm_source=chatgpt.com (date of access: 07.04.2025).
3. extrica.com+3vtechworks.lib.vt.edu+3Wikipedia+3
4. David Jebaraj B, Sharath Prasanna R, Design and calculation of double arm suspension of a car, Journal of Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, 30 June 2020 DOI https://doi.org/10.21595/jmeacs.2020.21436

УДК [629.33-83+629.33-843]-047.37

МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ З ГІБРИДНОЮ ЕНЕРГОУСТАНОВКОЮ

В.В. Крівда[1], В.В. Олішевська[2], К.І. Корніленко[3]
[1]кандидат технічних наук, доцент, e-mail: krivda.v.v@nmu.one
[2]кандидат технічних наук, доцент, e-mail: olishevska.v.ye@nmu.one
[3]асистент, e-mail: kornilenko.k.i@nmu.one
[1,2,3]кафедра автомобілів та автомобільного господарства Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. В роботі розглянуто особливості гібридної енергоустановки, яка поєднує в собі ДВЗ та електричну силову установку. Проведено аналіз енергетичної ефективності гібридної енергоустановки.

Ключові слова: поршневий двигун, гібридна енергоустановка, енергоефективність, екологічне навантаження.

POSSIBILITIES AND PROSPECTS OF RECIPROCATING ENGINE OF A VEHICLE WITH A HYBRID POWER UNIT

Vitalii Krivda[1], Valentyna Olishevska[2], Kostiantyn Kornilenko[3]
[1]Ph.D., Associate Professor, e-mail: krivda.v.v@nmu.one
[2]Ph.D., Associate Professor, e-mail: olishevska.v.ye@nmu.one
[3]Assistant, e-mail: kornilenko.k.i@nmu.one
[1,2,3]Automobiles and Automobile Economy Department, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper examines the features of a hybrid power unit that combines an internal combustion engine and an electric power unit. An analysis of the energy efficiency of

the hybrid power unit is conducted.

Keywords: reciprocating engine, hybrid power unit, energy efficiency, environmental impact.

Вступ. Автомобільний транспорт є важливим для економіки будь-якої країни, тому що забезпечує зв'язок між виробництвом й споживанням, активізує рух товарно-матеріальних потоків та задовольняє потреби населення у перевезеннях.

Сьогодні 99,8 % світового транспорту працює на двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) [1].

Автори роботи [1] висловлюють думку, що до 2040 року 85…90 % транспортної енергії буде надходити від звичайного рідкого палива, яке приводить у дію ДВЗ.

Використання автомобільного транспорту потребує споживання дефіцитних ресурсів та негативно впливає на навколишнє середовище [2]-[3]. В нашій країні функціонування автомобільного транспорту має свої особливості, які відображаються у наступних аспектах:

- швидкому зростанню рівня автомобілізації;
- використанню автомобілів, які мають великий термін експлуатації;
- великому споживанню дефіцитних ресурсів;
- великому екологічному навантаженню [2]-[3].

Екологічне навантаження автомобільного транспорту на навколишнє середовище в нашій країні можна охарактеризувати наступними цифрами:

- за один рік автомобіль, в середньому, поглинає приблизно 1…2 т кисню і виділяє 600…800 кг вуглекислого газу, 40 кг оксидів азоту та 200…230 кг незгорілих вуглеводнів [4];
- до 60 % екологічного збитку пов'язано з перевезенням пасажирів легковими автомобілями.

Екологічне навантаження автомобільного транспорту на навколишнє середовище посилюється ще й тим, що, на жаль, і досі трапляється використання бензинів і дизельних палив, які за якістю не відповідають європейським екологічним стандартам «Євро-1», «Євро-2», а деякі бензини містять велику кількість важких металів: свинцю, нікелю, міді, цинку [2].

У зв'язку з цим, набувають особливої актуальності проблеми підвищення ефективності та екологічності автомобільного транспорту.

Перспективними напрямками розвитку автомобільного транспорту, які дозволяють вирішувати проблеми екологічності, енергоефективності та економічності, є перехід на альтернативні види автомобільного палива, розвиток гібридних автомобілів та штучного інтелекту [5].

Мета роботи полягає в дослідженні можливості використання та енергетичної ефективності гібридної енергоустановки, яка поєднує в собі ДВЗ та електричну силову установку.

Матеріал і результат досліджень. ДВЗ, який є основною силовою установкою автомобілів, під час роботи спалює велику кількість автомобільного палива та повітря, створює значний хімічний та тепловий тиски на навколишнє середовище, на певних режимах роботи працює дуже неефективно [6].

Ефективність класичного поршневого двигуна можна математично виразити через тепловий баланс та енергетичні втрати [7].

Загальний коефіцієнт корисної дії (η) визначається як співвідношення корисної механічної роботи до сумарної енергії палива, що згорає у двигуні:

$$\eta = \frac{W_{\text{кор}}}{Q_{\text{пал}}}, \tag{1}$$

де $W_{\text{кор}}$ – корисна механічна робота, яку двигун виробляє для виконання корисної дії (наприклад, руху автомобіля);

$Q_{\text{пал}}$ – загальна енергія, що міститься в паливі, яка розраховується як продукт маси палива і його теплотворної здатності.

Однак, через теплові втрати $Q_{\text{втр}}$, реальна ефективність буде значно нижче і реальний загальний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{р}}$ буде розраховуватися за формулою:

$$\eta_{\text{р}} = \frac{W_{\text{кор}}}{Q_{\text{пал}} + Q_{\text{втр}}}. \tag{2}$$

Теплові втрати можна описати як суму кількох компонентів:

$$Q_{\text{втр}} = Q_{\text{тер}} + Q_{\text{тепл}} + Q_{\text{випар}}, \tag{3}$$

де $Q_{\text{тер}}$ – втрати через тертя між рухомими частинами двигуна;

$Q_{\text{тепл}}$ – втрати тепла через вихлопні гази та систему охолодження;

$Q_{\text{випар}}$ – втрати енергії через неповне згорання палива та втрати тепла в системі вихлопу.

Таким чином, для підвищення ефективності двигуна необхідно мінімізувати $Q_{\text{втр}}$ шляхом зниження тертя (застосування новітніх матеріалів або мастильних матеріалів), покращення процесу згорання палива та зменшення теплових втрат [8].

При аналізі залежності ДВЗ від викопного палива слід враховувати витрати палива та енергетичний вихід під час згорання. Витрати палива можна виразити за допомогою наступної формули:

$$C_{\text{п}} = \frac{m_{\text{п}}}{\eta_{\text{д}}}, \quad (4)$$

де $C_{\text{п}}$ – кількість спожитого палива;

$m_{\text{п}}$ – маса палива, що згорає;

$\eta_{\text{д}}$ – ефективність двигуна, яка визначає, скільки енергії було перетворено у корисну роботу.

Для розрахунку енергії, що зберігається у акумуляторах або використовується з них, застосовуємо модель:

$$\mathrm{E}_{\text{акум}}(t) = \mathrm{E}_{\text{акум}}(t-1) + \mathrm{P}_{\text{ген}}(t) - \mathrm{P}_{\text{ел}}(t), \quad (5)$$

де $\mathrm{E}_{\text{акум}}(t)$ – запас енергії в акумуляторі;

$\mathrm{P}_{\text{ген}}(t)$ – потужність, що генерується ДВЗ і надходить до акумулятора;

$\mathrm{P}_{\text{ел}}(t)$ – потужність, що використовується для електромотора.

Оптимізація роботи гібридної системи. Розробка та впровадження нейронних систем для керування подачею палива у ДВЗ, що використовують кілька видів палива, дає можливість значно підвищити ефективність роботи двигуна. Це особливо важливо в контексті сучасних вимог до екологічності та енергозбереження [5].

Нейронні мережі здатні обробляти великі обсяги даних за умови експлуатації та генерувати оптимальні рішення на основі тренувальних даних [5].

Приховані шари нейронної мережі можуть містити декілька нейронів із нелінійними функціями активації (наприклад, *ReLU* [8]-[10]), які допоможуть обробляти складні взаємозв'язки між вхідними параметрами і виробляти оптимальний розподіл потужності між двигунами (табл. 1).

Таблиця 1. – Структура нейронної мережі

№	Прошарок	Опис
1	$\dot{P}_{\text{ДВЗ}}$	Оптимальна потужність, яку має забезпечити двигун внутрішнього згорання
2	$\dot{P}_{\text{ел}}$	Оптимальна потужність, яку має забезпечити електрична частина

Ці виходи використовуються для того, щоб мінімізувати витрати палива за умови забезпечення необхідної потужності. Нейронна мережа повинна навчатися на основі реальних даних, які включають різні сценарії роботи гібридної системи. Виберемо основні компоненти нейроматематичної моделі, застосовуючи основні характеристики системи (табл. 2).

Таблиця 2. – Вхідні і вихідні дані для навчання нейронної мережі

№	Прошарок	Опис
1	T	Оптимальна потужність, яку має забезпечити двигун внутрішнього згорання
2	L	Оптимальна потужність, яку має забезпечити електрична частина
3	$P_{заг}$	Вимоги до загальної потужності
4	$C_п$	Фактичні витрати палива
5	$P_{ДВЗ}$	Потужність, яку забезпечує ДВЗ
6	$P_{ел}$	Потужність, яку забезпечує електродвигун

Процес навчання нейронної мережі полягає у зборі даних, для чого збираються реальні дані про витрати палива, потужності ДВЗ та електромотора в різних умовах.

Висновки. У роботі проаналізовано сучасні підходи до використання поршневих двигунів у складі гібридних енергоустановок, особливо в контексті транспорту та енергетичних систем, що є перспективним напрямком для підвищення енергоефективності транспорту та генераційних систем.

Використання нейронних мереж для оптимізації роботи гібридної системи дає змогу враховувати змінні умови експлуатації та адаптувати процес горіння до найкращих умов.

ЛІТЕРАТУРА

1. Leach F., Kalghatgi G., Stone R., Miles P. The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*. 2020. № 1. 100005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005 .

2. Олішевська В. Є., Олішевський Г. С. Автомобільний транспорт в умовах переходу від автомобілів з двигуном внутрішнього згорання до електромобілів. *Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості та транспорту 2022* : зб. наук. пр. міжнар. конф., м. Дніпро, 29-30 квіт. 2022 р. Дніпро : НТУ ДП, 2022. С. 66–72. URL: http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/160477 .

3. Екологічні аспекти автотранспортного комплексу: монографія / І.Е. Линник та ін. Харків: Видавництво «Смугаста типографія», 2020. 194 с. URL: https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/81b34d4a-b7f3-4c00-b4b9-ba1c22a3dd79/content .

4. Транспортна екологія : навч. посіб. / О. І. Запорожець та ін. ; за заг. ред. С. В. Бойченка. Київ : НАУ, 2017. 507 с.

5. Крівда В. В., Сакно О. П., Олішевська В. Є. Обґрунтування нейронного способу контролю виду живлення ДВЗ в залежності від умов роботи. *Автошляховик України*. 2024. № 4. С. 15-22. DOI: 10.33868/0365-8392-2024-4-281-15-22 .

6. Ляшук О. Л., Плекан У. М., Цьонь О. П., Гевко Б.Р. Розвиток технологій гібридних силових установок автомобілів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч. І. С. 139–146. DOI: https://doi.org/10.32515/2664-

262X.2023.8(39).1.139-146 .

7. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. / О. М. Артюх та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 264 с.

8. Brownlee, J.. A Gentle Introduction to the Rectified Linear Unit (ReLU) . *Machine Learning Mastery*. 2019.

9. Han, J.; Moraga, C. The influence of the sigmoid function parameters on the speed of backpropagation learning. *From Natural to Artificial Neural Computation. Lecture Notes in Computer Science*. 1995. Vol. 930. pp. 195–201. doi:10.1007/3-540-59497-3_175.

10. Werbos P. J., Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph.D. thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.

УДК 004.92; 711

ВПЛИВ КРИЗОВИХ ПОДІЙ В УКРАЇНІ НА ТРАНСПОРТНИЙ СЕКТОР ЄВРОПИ ТА АДАПТАЦІЯ ЛОГІСТИКИ ДО НОВИХ УМОВ

О.Д. Почужевський[1], В.Ю. Федірко[2], В.Д. Почужевський[3]

[1]доцент кафедри автомобільного транспорту, e-mail: Pochuzhevskyi@knu.edu.ua

[2]студентка групи АТм-24-2, e-mail: v9049478@ukr.net

[3]полковник ВМС України, e-mail: orion582@gmail.com

[1,2]Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна

[3] Інститут Військово-Морських Сил НУ «Одеська морська академія», Україна

Анотація. У роботі розглядається вплив військового конфлікту в Україні на транспортний сектор Європи, що спричинило кардинальні зміни в логістичних процесах, трансформацію вантажних перевезень і перерозподіл транспортних потоків. Аналізується адаптація логістичних компаній до нових умов, перебудова інфраструктури, проблеми пропускної здатності кордонів та економічні виклики, що виникли через зростання вартості перевезень. Розглянуто вплив транспортного безвізу, цифровізації логістики та зміни у структурі міжнародних перевезень.

Ключові слова: транспорт, логістика, вантажні перевезення, автомобільний транспорт, інфраструктура, криза, міжнародна торгівля, адаптація.

IMPACT OF THE CRISIS EVENTS IN UKRAINE ON THE EUROPEAN TRANSPORT SECTOR AND ADAPTATION OF LOGISTICS TO NEW CONDITIONS

Oleh Pochuzhevskyi[1], Viktoriia Fedirko[2], Vitalii Pochuzhevskyi[3]

[1]Associate Professor of the Department of Road Transport, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: Pochuzhevskyi@knu.edu.ua

[2]Student of the group ATm-24-2, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: v9049478@ukr.net

[3]colonel, Institute of Naval Forces of the National University «Odesa Maritime Academy», Ukraine, e-mail: orion582@gmail.com

Abstract. The paper examines the impact of the military conflict in Ukraine on the European transport sector, which has led to radical changes in logistics processes, transformation of freight transportation, and redistribution of transport flows. The adaptation of logistics companies to new conditions, infrastructure restructuring, border capacity issues, and economic challenges arising from rising transportation costs are analyzed. The influence of the transport visa-free regime, logistics digitalization, and changes in the structure of international transportation are considered.

Keywords: transport, logistics, freight transportation, road transport, infrastructure, crisis, international trade, adaptation.

Вступ. Глобалізація економічних процесів зумовлює важливу роль транспорту та логістики у забезпеченні стабільного функціонування ринкових відносин. Однак початок військових дій в Україні суттєво вплинув на світову логістичну систему. Блокування українських морських портів, знищення інфраструктури та переорієнтація експортно-імпортних маршрутів призвели до масштабних змін у транспортному секторі Європи.

До війни 80% українського експорту здійснювалося морськими шляхами, але вже в перші місяці бойових дій цей показник знизився до 13% [1]. Це змусило експортерів та логістичні компанії терміново адаптуватися до нових умов, переглядаючи маршрути вантажопотоків. Основне навантаження лягло на залізничний і автомобільний транспорт: 47% перевезень перейшли на автотранспорт, а 40% – на залізницю [2].

Водночас зросле навантаження на західні кордони України спричинило значні ускладнення. Польща, Румунія, Угорщина та Словаччина зіткнулися з перевантаженням митних систем, що вплинуло на ефективність логістичних процесів і збільшило витрати бізнесу. Відповідаючи на ці виклики, країни ЄС запровадили заходи для спрощення перевезень. Одним із ключових рішень стало скасування квот на транспортні дозволи для українських перевізників – так званий «транспортний безвіз». Це допомогло зменшити затримки на кордонах і полегшити міжнародні поставки. Однак навіть ці заходи не змогли повністю компенсувати негативний вплив війни на логістичну сферу.

Мета роботи. Дослідження спрямоване на аналіз змін у європейському транспортному секторі внаслідок кризи, спричиненої війною в Україні. Основна увага приділяється оцінці змін у структурі вантажних перевезень, визначенню основних викликів і проблем у сфері логістики, а також вивченню заходів, що сприяли адаптації логістичних процесів до нових умов.

Матеріали та результати досліджень. З початком повномасштабних бойових дій транспортний сектор Європи зазнав значних змін, що зумовило трансформацію логістичних процесів, перегляд маршрутів і перерозподіл вантажопотоків. Найсуттєвіші коригування відбулися у сфері автомобільних

та залізничних перевезень, які стали основними каналами експорту українських товарів після обмеження морських шляхів.

Дослідження Косара Н. та Кузьо Н. підтверджують, що до початку війни 80% українського експорту здійснювалося морськими перевезеннями, але після блокування портів ця частка знизилася до 13% [1]. Це змусило терміново переорієнтувати вантажопотоки на сухопутні маршрути, що, своєю чергою, призвело до значного навантаження на європейську транспортну інфраструктуру.

За даними досліджень Шевченка В., частка залізничних перевезень зросла з 15% до 40%, а автомобільних – із 5% до 47% [6] (таб. 1). Така ситуація вимагала оперативних змін у регулюванні логістичних процесів, що стало серйозним викликом для європейських країн.

Зміни у логістичних маршрутах найбільше вплинули на Польщу, Румунію, Угорщину та Словаччину, які стали ключовими транзитними країнами для українських товарів. Польща перетворилася на основний сухопутний коридор для українських перевізників, що спричинило значне перевантаження її митної системи. Дослідження Мокрякова А. [4] показують, що середній час проходження митного контролю для українських вантажівок зріс у 2–3 рази порівняно з довоєнним періодом.

Таблиця 1. – Співвідношення різних видів транспорту задіяних у перевезеннях до та після початку війни

Вид транспорту	До війни (%)	Після початку війни (%)
Морські перевезення	80	13
Залізничні перевезення	15	40
Автомобільні перевезення	5	47

Румунія, за даними Держприкордонслужби України [5], відіграла стратегічну роль у залізничних перевезеннях, оскільки через її територію українські експортери почали активно транспортувати зерно та промислові товари. Водночас Угорщина та Словаччина також зазнали значного збільшення транспортного навантаження через переорієнтацію українських товаропотоків (табл. 2)

Переміщення логістичних хабів стало одним із найпомітніших наслідків трансформації транспортної системи України. До початку воєнних дій головні складські центри розташовувалися переважно в центральних і південних регіонах країни. Київська, Одеська, Дніпропетровська та Харківська області відігравали ключову роль у внутрішній і міжнародній логістиці, забезпечуючи обробку, зберігання та розподіл товарів перед відправкою в Європу, Азію чи Африку. Вдале розташування, розвинена транспортна інфраструктура та близькість до портів робили ці регіони логістичним серцем країни.

Але з початком бойових дій ситуація змінилася настільки швидко, що бізнесу довелося приймати рішення майже на ходу.

Таблиця 2. – Перелік змін в маршрутах руху вантажопотоків після початку війни

Основні транспортні напрями	До 2022 року	Після 2022 року
Порти Чорного моря	Головний шлях експорту	Заблоковані
Польща (автотранспорт)	Обмежені перевезення	Основний маршрут
Румунія (залізниця)	Додатковий напрямок	Стратегічний хаб
Угорщина (залізниця)	Локальне значення	Значне зростання вантажопотоків

YouControl [3] зазначає, що 70-80% професійних складських приміщень опинилися в зоні ризику. Багато компаній просто не мали часу організовано перемістити свої потужності — інфраструктура руйнувалася, доступ до складів обмежувався, а загроза обстрілів змушувала підприємців залишати свої активи. Західні області, які раніше не були головним центром логістики, раптово стали прихистком для сотень компаній, що намагалися врятувати свій бізнес. Львів, Ужгород, Івано-Франківськ та Чернівці почали стрімко адаптуватися до нових реалій, проте цей процес не міг бути безболісним.

Попит на складські приміщення у Львівській області виріс настільки, що орендні ставки за пів року підскочили більш ніж на 50%. Підприємці, які раніше мали великі логістичні комплекси у центральній частині країни, стикнулися з нестачею складів у західному регіоні. Багато з них були змушені орендувати неготові приміщення та власними силами переобладнувати їх під свої потреби. Дефіцит місця, відсутність необхідного технічного оснащення та перевантаженість нових локацій тільки ускладнювали роботу. Деякі компанії вирішили не чекати стабілізації ситуації і перенесли логістичні центри за кордон — найбільше у Польщу, Румунію, Угорщину та Словаччину.

Проблема з переміщенням складів спричинила ще одну кризу — стрімке зростання вартості перевезень. Дослідження Шевченка В. [6] підтверджують, що транспортні витрати збільшилися на 30-50%. І справа не тільки у зміні маршрутів. Війна призвела до катастрофічного подорожчання пального, особливо дизельного, який став критично важливим ресурсом для вантажних перевезень. Українські паливні склади знищувалися, постачання нафтопродуктів скорочувалося, а ціни на пальне зростали ледь не щодня.

Ще одним серйозним викликом стали страхові ризики. Перевезення товарів навіть у відносно безпечних регіонах вимагало додаткового страхування, а для транспортування у прифронтові райони знайти страхову компанію було майже неможливо. Вартість страхування деяких вантажів зросла до 70% від їхньої ціни, що фактично робило перевезення нерентабельним [6].

Особливо складною ситуація стала для експортерів зернових культур. Через заблоковані порти транспортування українського зерна до Європи здорожчало на 38% у порівнянні з довоєнним періодом [6]. Ланцюг постачання розірвався, і виробники змушені були шукати нові шляхи для доставки продукції. Саме цей фактор суттєво вплинув на рішення країн ЄС запровадити підтримку української логістики.

Одним із таких рішень стало введення «транспортного безвізу» [3]. Це дозволило українським перевізникам працювати на території ЄС без додаткових бюрократичних обмежень, спростивши процес транзиту товарів. Попри позитивний ефект, цей захід не міг повністю компенсувати проблеми, адже основні труднощі залишалися на кордоні. За даними Держприкордонслужби України [5], середній час проходження митного контролю на польському кордоні зріс у 2,5 рази порівняно з довоєнним періодом. Величезні черги фур, бюрократичні процедури та технічні обмеження пунктів пропуску продовжували створювати затримки для українських перевізників.

Щоб полегшити ситуацію, транспортна галузь почала активно впроваджувати цифрові рішення. Використання автоматизованих платформ, штучного інтелекту та GPS-моніторингу значно покращило управління вантажопотоками. Як свідчить аналітичний звіт Pro-Consulting [7], застосування цифрових технологій скоротило час очікування на кордоні на 15-20%. Це дозволило бізнесу більш ефективно розподіляти транспортні ресурси, оптимізувати маршрути та уникати зайвих витрат.

Попри всі складнощі, транспортний сектор демонструє здатність до адаптації. Дослідники виділяють три основні фактори, від яких залежатиме подальша стабілізація логістики: відновлення інфраструктури, інтеграція України в транспортну систему ЄС та широке впровадження інноваційних рішень у сфері перевезень. Реконструкція зруйнованих доріг і мостів стане одним із ключових завдань, адже без відновлення інфраструктури неможливо говорити про повноцінне відновлення економіки.

Країни Європи вже активно працюють над розширенням пропускної здатності кордонів, створенням нових транспортних коридорів і модернізацією залізничних сполучень. Це відкриває перспективи для довготривалої співпраці та підвищення ефективності міжнародних перевезень. Водночас використання цифрових рішень, таких як блокчейн для митних процедур або автоматизовані системи керування логістикою, дозволить зробити транспортування більш прозорим та швидким.

Незважаючи на складні умови, українська логістика не зупинилася, а змогла знайти нові можливості для зростання. Бізнес адаптувався до нових

маршрутів, освоїв цифрові технології та знайшов партнерів у Європі. Ця гнучкість і здатність швидко реагувати на виклики стали основою для майбутнього розвитку, який буде залежати від тісної інтеграції України у світову транспортну систему.

Висновки. Події в Україні спричинили кардинальні зміни у транспортному секторі Європи, змусивши логістичні компанії переглядати маршрути, посилювати залежність від автомобільних і залізничних перевезень, а також оперативно впроваджувати антикризові рішення. Запровадження «транспортного безвізу» та цифрових митних декларацій значно спростило процес перевезень, однак не змогло повністю усунути ключові проблеми, зокрема недостатню пропускну спроможність прикордонних пунктів, високі витрати на логістику та гострий дефіцит кваліфікованих водіїв.

Подальше відновлення та розвиток транспортного ринку безпосередньо залежатиме від кількох стратегічних напрямів. Насамперед необхідною є модернізація транспортної інфраструктури, яка включає відновлення зруйнованих доріг, мостів та залізничних вузлів. Важливим фактором стане розширення міжнародної співпраці, що передбачає інтеграцію України у європейську транспортну систему, зокрема розвиток нових транзитних коридорів і спрощення митних процедур.

Додатково цифровізація логістики та автоматизація бізнес-процесів сприятимуть підвищенню ефективності перевезень. Використання сучасних технологій, зокрема штучного інтелекту, блокчейну та GPS-моніторингу, дозволить оптимізувати маршрути, скоротити бюрократичні процедури та знизити витрати.

Попри всі виклики, український транспортний сектор демонструє високу стійкість та здатність до адаптації. Гнучкість бізнесу, швидке впровадження інноваційних рішень і тісна інтеграція з міжнародними партнерами відкривають перспективи для формування нових логістичних маршрутів, посилення транзитного потенціалу України та зміцнення її позицій на глобальному ринку перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Косар Н., Кузьо Н. Вплив збройного протистояння на ринок автомобільних вантажних перевезень України / Н. Косар, Н. Кузьо // Вісник Львівського університету. Серія економічна. – Львів : Видавництво Львівського національного університету імені Івана Франка, 2023. – Вип. 65. – С. 102–115.

2. Trans.Info. Як ситуація в Україні вплинула на транспортний сектор Європи / Trans.Info // Офіційний сайт Trans.Info. – Режим доступу: https://trans.info/ua (дата звернення: 02.03.2025).

3. YouControl. Розвиток транспорту і логістики в Україні / YouControl // Офіційний сайт YouControl. – Режим доступу: https://blog.youcontrol.market/ (дата звернення:

02.03.2025).

4. Мокряков А. Ринок вантажних перевезень в Україні: виклики та перспективи / А. Мокряков // Логістика України. – Київ : Видавництво «Наукова думка», 2023. – № 4. – С. 35–42.

5. Держприкордонслужба України. Аналітичний звіт щодо змін у транспортному потоці під час війни / Держприкордонслужба України // Офіційний сайт ДПСУ. – Режим доступу: https://dpsu.gov.ua (дата звернення: 02.03.2025).

6. Шевченко В. Логістика та міжнародні перевезення в умовах кризових явищ / В. Шевченко // Економіка транспорту. – Київ : Видавництво КНЕУ, 2023. – № 7. – С. 18–26.

7. Pro-Consulting. Аналіз ринку вантажних перевезень в Україні / Pro-Consulting // Офіційний сайт Pro-Consulting. – Режим доступу: https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-gruzovyh-perevozok (дата звернення: 02.03.2025).

8. Почужевський О.Д., Радкєвіч М. В., Шіпілова К. Б. Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури, враховуючи військовий стан в Україні // Надійність і ефективність машин, процесів і систем. – 2023.

9. Почужевський О.Д., Почужевський В.Д. Особливості формування логістичних зв'язків автомобільним транспортом у військовий час / Збірник наукових праць міжнародної конференції «Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2024». – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – 248 с. С.64-69.

УДК 656.13:656.076

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕФЕКТИВНОГО ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ САМОСКИДА НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЛЯ УМОВ ГІРНИЧОДОБУВНОГО ПІДПРИЄМСТВА

С.І. Чеберячко[1], О.В. Дерюгін[2], Б.В. Грималo[3]

[1]доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна, e-mail: sicheb@ukr.net

[2]кандидат технічних наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна, e-mail: deryugin_o@ukr.net

[3]аспірант кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна, e-mail: bogdan131991@gmail.com

Анотація. В роботі розглянуто алгоритм обґрунтування вибору ефективного вантажного автомобіля самоскида на підставі аналізу експлуатаційних властивостей для умов гірничодобувного підприємства.

Ключові слова: вантажний автомобіль самоскид, експлуатаційні властивості, коефіцієнт технічної якості, управлінські рішення

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF AN EFFICIENT DUMP TRUCK BASED ON THE ANALYSIS OF OPERATING PROPERTIES FOR THE CONDITIONS OF A MINING ENTERPRISE

Serhiy Cheberyachko[1], Oleg Deryugin[2], Bohdan Hrymalo[3]
[1]Dr. Sc. (Tec.), Professor of Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine; e-mail: sicheb@ukr.net
[2]Ph. D., Associate professor of Department of Transportation Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: deryugin_o@ukr.net
[3]Postgraduate Student of Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: bogdan131991@gmail.com

Abstract. The paper considers an algorithm for justifying the choice of an effective dump truck based on an analysis of operational properties for the conditions of a mining enterprise.

Keywords: dump truck, operational properties, technical quality factor, management decisions

Вступ. Транспортування здобутої сировини в умовах гірничодобувного підприємства (далі – ГП) у в загальному обсягу видобутку становить більше половини експлуатаційних витрат. Ефективна організація і експлуатація систем транспортування здобутої сировини впливає на виробничу потужність і економічну ефективність гірничих робіт. Виникнення неминучих збоїв у цих системах становить значний виробничий ризик і призводить до погіршення показників транспортного процесу і, як наслідок, призводить до здорожчення здобутої сировини, а також до великих збитків та ін. [1, 2].

Вантажний автомобільний транспорт відіграє вагому роль в технологічному процесі видобутку корисних копалин. На деяких ГП – він є основним технологічним транспортом, який транспортує здобутою сировину від місця завантаження до місця розвантаження. Також вантажний автомобільний транспорт відіграє вагому роль в забезпеченні безперебійності технологічного процесу видобутку корисних копалин – транспортування енергоносіїв для гірничодобувного обладнання, транспортування запасних частин та ін. технологічного обладнання, транспортування неконденційної мінеральної сировини до місця зберігання (відвали), транспортування робітників до місця виконання професійної діяльності та ін. (рис. 1.1).

Завдяки своїм перевагам над іншими видами транспорту: пристосованість маневрування при транспортуванні здобутої сировини до складних геологічних умов ГП, можливості транспортування вантажу від місця навантаження до місця розвантаження, універсальність та ін. Але залежність технологічного автомобільного транспорту від вартості органічного пального впливає на ціну здобутої сировини. Здорожчання різних видів органічного пального, яке відбулося на протязі останніх років, дуже вплинуло на попит

здобутої сировини і це можна відмітити як основний недолік відповідного типу транспорту.

Рис. 1. – Функціональність спеціалізованого вантажного автомобільного транспорту в обслуговуванні технологічного процесу видобутку корисних копалин на ГП

Аналіз автомобільної вантажної техніки спеціального призначення, яка використовується в технологічному процесі видобутку корисних копалин на ГП, показує величезну різноманітність транспортних засобів (далі – ТЗ). Ця різноманітність може викликати певні труднощі при прийнятті ефективного управлінського рішення – вибору ефективного вантажного автомобіля (далі - ВА) самоскида з асортименту ТЗ з майже однаковими експлуатаційними параметрами [3]. Для збільшення достовірності прийняття управлінського рішення виникає необхідність у вирішенні актуальної задачі визначення перспективного і ефективного рухомого складу (далі – РС), за рахунок якого можна збільшити обсяг вантажу, що транспортується; зменшити енергоефективність транспортного процесу вантажних автомобільних перевезень (далі – ВАП) мінеральної сировини від місця завантаження до місця розвантаження; отримати ВА самоскид, якій більш ефективний на підставі результатів аналізу споживчих і експлуатаційних властивостей, який є більш пристосованим для експлуатації в складних умовах ГП.

Алгоритми вибору ефективного ТЗ базується на багатокритеріальному аналізі. Існує велика кількість наукових праць, які присвячені дослідженню використання різних методів вибору ефективного ТЗ для експлуатації в умовах ГП. Автори [4] пропонують при виборі моделі ВА самоскида враховувати гірничо-технологічні властивості гірських порід, відстань транспортування, обсяг видобувних робіт і швидкість розробки гірничої виробки. Найважливі-

шим фактором автори дослідження [5] вважають відношення місткості кузова ВА самоскида до місткості ковша екскаватора, які знаходяться в межах від 4-6 до 7-8. Крім того, вони пропонують вибирати моделі більшої потужності в наслідку збільшення відстаней транспортування та збільшення обсягів транспортування гірської маси. У роботі [6] пропонується враховувати три фактори. Перший фактор - це маневреність ВА самоскида, яка залежить від його технічних характеристик, в тому числі вантажопідйомність і геометричні розміри ВА самоскида. Другий фактор - вантажопідйомність, яка повинна відповідати обсягам перевезень здобутої сировини. Третій фактор - безпечні умови праці водія при керуванні ТЗ.

Багато досліджень присвячено вибору раціональної моделі Ва самоскида з урахуванням економічних факторів. Коефіцієнт конкурентоспроможності, який враховує вартість порівнюваних моделей, а також деякі технічні характеристики, запропоновано в [7]. Показник ефективності транспортної роботи досліджено в роботі [8]. Цей показник враховує зміни умов видобутку та економічної ситуації. Величина загальних дисконтованих витрат на придбання та експлуатацію ВА самоскидів [3] є одним із загальноприйнятих показників оцінки моделей ВА самоскидів. При виборі ВА самоскидів враховуються економічні втрати від простою [9], у тому числі через їх поломки [10]. Варіанти використання палива [10] та інших джерел енергії [11, 12] визначають величину експлуатаційних витрат для різних моделей ВА самоскидів. Дослідники [13, 14, 15] пропонують при виборі моделей ВА самоскидів розглянути можливість використання конвеєрів у кар'єрі. Вибір також здійснюється на основі економічного порівняння варіантів відповідних транспортних технології [15]. Вартість покупки ВА самоскидів і подальші експлуатаційні витрати є основними факторами в бізнес-практиках. Для виконання відповідних розрахунків використовуються різні програмні засоби, наприклад PTV Vissim [16].

Однак акцент переважно на економічних показниках не дозволяє розглядати екологічність і безпеку експлуатації ВА самоскидів. Прогресивні ГП починають формувати свою місію відповідно до концепції сталого розвитку. На таких ГП на прийняття управлінських рішень починають впливати соціальні та екологічні фактори, а також фактори автоматизації транспортних і виробничих процесів [17 - 19].

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що процес вибору ефективного ВА самоскида – є складним. І для обґрунтованого вибору ВА самоскида для ефективної експлуатації в умовах ГП необхідно враховувати техніко-технологічні, економічні, екологічні, геологічні та організаційні фактори.

Мета роботи. Метою дослідження є обґрунтування прийняття управлінського рішення з оновлення парку РС ГП більш ефективними ТЗ на основі порівняльного аналізу можливих альтернатив: використання ВА самоскида з жорсткою рамою і ВА самоскида з шарнірно зчленованою рамою (далі – ШЗР) відповідної вантажопідйомності.

Вирішення задач, які формують мету представленого дослідження полягають в наступному:

- визначити алгоритм методології проведення порівняльного аналізу можливих альтернатив використання ВА самоскидів, що аналізуються.

- провести дослідження порівняльного аналізу можливих альтернатив використання ВА самоскидів за *коефіцієнтом технічної якості*, який визначає їх ефективну експлуатацію в умовах ГП.

- провести аналіз отриманих результатів, з метою визначення раціональних критеріїв, які визначають більш ефективну пристосованість експлуатації відповідного типу ВА самоскида для умов ГП, що розглядаються.

Матеріали і результати дослідження. Порівняльний аналіз проведемо за коефіцієнтом технічної якості (параметр, який визначається ознаками, на основі яких оцінюються конструктивні і експлуатаційні характеристики ВА самоскидів), що визначає їх ефективне використання в умовах ГП і відповідають меті концепції ВАП здобутої мінеральної сировини для умов ГП, що розглядається – *транспортування ефективним ВА самоскидом з максимальною швидкість здобутої мінеральної сировини від місця завантаження (забою) до місця розвантаження (центральний розвантажувальний бункер) з мінімальною витратою ДП, пристосованим для складної транспортної інфраструктури ГП*.

Коефіцієнт технічної якості - це параметр, який визначається ознаками, на основі яких оцінюються конструктивні і експлуатаційні характеристики ВА самоскидів. Цей показник формується набором інтегрованих параметрів, що стосуються функціональності та експлуатаційних властивостей ВА самоскида. Розділимо ці параметри на три основні групи (кластери): функціональні параметри пристосованості для транспортування вантажу в умовах ГП, параметри важливих експлуатаційних властивостей та параметри маневреної здатності ТЗ.

Функціональні параметри пристосованості для транспортування вантажу в умовах ГП описують, наскільки добре ТЗ пристосований для цих умов (перевезення здобутої мінеральної сировини). Параметри важливих експлуатаційних властивостей, які відображають здатність ТЗ здійснювати ВАП (який може включати ґрунтові дороги середньої якості, напівасфальтовані дороги та асфальтовані дороги, а також схили під різними кутами, як це дозволено для експлуатації ТЗ) з максимальною середньою швидкістю.

Параметри маневреності визначають здатність ТЗ маневрувати в обмеженому просторі і складних умовах транспортної інфраструктури ГП (розвантажувальні майданчики, в тому числі в місцях, де ґрунт має низьку навантажувальну здатність) і підніматися на схили, що вимагають від ВА самоскида максимального напруження тягової здатності. В табл. 1 наведено розбивку цих інтегрованих функцій до вимірюваного рівня (окремі параметри). Як окремі параметри ми використовували ті, які найбільше відповідають продуктивності ВА самоскидів.

Таблиця 1. – Груповий розподіл одиничних параметрів, які відображають ефективність використання ВА самоскида в умовах ГП

Функціональні параметри пристосованості для роботи в умовах ГП, Q_1		Параметри стабільної продуктивності, Q_2		Параметри маневреної здатності, Q_3	
Параметр	Значення коеф. ваги	Параметр	Значення коеф. ваги	Параметр	Значення коеф. ваги
Вантажопідйомність, *G*, тонн	0,45	Потужність ДВЗ, *N*, кВт	0,3	Кількість ведучих осей	0,1
Об'єм кузову ВА самоскиду, *V*, м^3	0,35	Max швидкість, V, км/год.	0,35	Max кут підйому, $\alpha_{під}$, кут	0,15
Max кут розвантаження, $\alpha_{роз}$, кут	0,1	Кількість передач КП	0,1	Min радіус повороту, *R*, м	0,2
Кількість можливих напрямків розвантаження	0,1	Витрата ДП, *Q*, л/100 км	0,25	Габаритна довжина, м	0,15
				Рівень питомого тиску колеса на поверхню, P, кПа	0,4

Вибір параметрів та оцінка вагових коефіцієнтів параметрів у контексті формування інтегральних ознак здійснювалась за експертними даними. В якості експертів виступали науковці і студенти, які мають відповідну транспортну освіту і досвід практичної і наукової діяльності в галузі організації і управління ВАП на автомобільному транспорті.

Запропонований алгоритм кваліметричної (якісної) оцінки рівня коефіцієнта технічної якості як узагальненого показника якості - передбачає знаходження значення кожного інтегрального параметра Q_j, яке базується на відомих значеннях одиничних параметрів q_{ji} та їх вагових коефіцієнтів m_{ji}. Кожному інтегральному параметру присвоюється вага P_j. Узагальнений показник якості (коефіцієнт технічного рівня якості $K_{ТЯ}$) представляє собою

суму значень, отриманих множенням кожного інтегрального параметра на його ваговий коефіцієнт. Запропоновано ранжувати вагові коефіцієнти P_j у системі інтегральних параметрів самоскида Q_j наступним чином: функціональні параметри P_1 = 0,3; стійкі показники ефективності P_2= 0,45; параметри маневреної здатності P_3 = 0,25. Вхідні данні для розрахунку $K_{ТЯ}$ порівнювальних моделей ВА самоскидів наведено в табл. 2.

Таблиця 2. – Вхідні данні для розрахунку коефіцієнта технічної якості порівнювальних моделей ВА самоскидів (ВА самоскид з жорсткою рамою і ВА самоскид з ШЗР)

Параметр	ВА самоскид MAN TGS 41.400 8×4 BB CH	ВА самоскид "Volvo" A45G
Вантажопідйомність, G, тонн	42,425	44,1
Потужність ДВЗ, N, кВт	486	486
Кількість ведучих осей	8×4	6×4
Об'єм кузову ВА самоскиду, V, м3	20	30
Максимальна швидкість, V, км/год.	80	90
Знаряджена маса, $m_{ЗНАР}$, кг	27000	30000
Максимальний кут розвантаження, αроз, кут	45	50
Кількість передач КП	16	16
Мінімальний радіус повороту, R, м	10615	9750
Кількість можливих напрямків розвантаження	1	2
Витрата ДП, Q, л/100 км	34	30,3
Габаритна довжина, м	11,263	10,120
Рівень питомого тиску колеса на поверхню, P, кПа	52.61	41.33

Алгоритм розрахунку коефіцієнта технічного рівня якості:

1. Проводимо вибір інтегральних параметрів Q_j, які є основою узагальненого показника якості відповідної моделі ВА самоскида. До них належать

функціональні параметри, параметри тривалої продуктивності та параметри маневреної здатності ВА самоскида. Значення *j* для цих інтегрованих параметрів знаходиться в діапазоні від 1 до 3 Розбивка кожного інтегрованого параметра Q_j на одиничні вимірювані параметри q_{ji}, де *i* є порядковим номером кожного окремого параметра, що відноситься до інтегрованого параметра *j*. Зауважимо, що кількість одиничних параметрів для кожного Q_j є індивідуальною і може коливатися від 1 до *n*;

2. Проводимо визначення вагового коефіцієнта m_{ji} для кожного параметра q_{ji} в кожній групі *j* (метод експертного оцінювання). Важливе зауваження: кожна група *j* повинна відповідати такій умові:

$$\sum_{i=1}^{n} m_{ji} = 1. \tag{1}$$

3. Визначення інтегрального значення параметра Q_j для кожної групи одиничних параметрів:

$$Q_j = \sum_{i=1}^{n} m_{ji} \times q_{ji}. \tag{2}$$

де q_{ji} – значення параметра *i* в групі *j*;

m_{ji} – ваговий коефіцієнт параметра *i* у групі *j*;

n – кількість параметрів у групі *j*.

Для визначення ваги P_j для кожного інтегрального параметра; так само, як і у випадку m_{ji}, має бути виконана така умова:

$$\sum_{j=1}^{k} P_j. \tag{3}$$

де *k = 3.*

4. Визначення технічного коефіцієнта якості $K_{ТЯ}$:

$$K_{ТЯ} = \sum_{j=1}^{3} P_j \times Q_j. \tag{4}$$

Отримане значення коефіцієнта технічної якості $K_{ТЯ}$ необхідно використовувати для порівняння рівнів якості різних моделей ВА самоскидів.

Результати дослідження наведені в табл. 3. За результатами проведеного розрахунку можна зробити висновок, що використання в умовах ГП для транспортування здобутої мінеральної сировини від місця завантаження до місця розвантаження ВА самоскида з ШЗР є кращим (загальний коефіцієнт технічної якості - 100,7), ніж використання ВА самоскида з жорсткою рамою (загальний коефіцієнт технічної якості - 98,9). ВА самоскида з ШЗР характеризується кращою маневреністю, більшою продуктивністю та прохідністю місцевості, а також здатність перевозити великі обсяги здобутої мінеральної сировини для умов ГП, що розглядається.

За результатами проведеного дослідження - вибору ефективного ВА самоскида для транспортування здобутої мінеральної сировини на підставі порівняння критерію енергоефективності найбільш ефективним є ВА самоскид з ШЗР моделі "Volvo" A45G: показник енергія, яка витрачена на переміщення вантажу дорівнює 3997 кДж.

Таблиця 3. – Результати розрахунку коефіцієнта технічної якості порівнювальних моделей ВА самоскидів

№ з/п	Параметр	Значення параметра		Ваговий коефіцієнт параметра	ВА самоскид MAN	ВА самоскид "Volvo"
Функціональні параметри пристосованості для транспортування вантажу в умовах ГП						
1	Вантажопідйомність, G, тонн	41,425	44,1	0,45	18,64	19,85
2	Об'єм кузову ВА самоскиду, V, м3	20	30	0,35	7,0	10,5
3	Max кут розвантаження, αроз, кут	45	50	0,1	4,5	5,0
4	Кількість можливих напрямків розвантаження	1	2	0,1	0,1	0,2
$Q_1P_1(0,3)$					30,2	35,5
$К_{ТЯ}Q_1$					9,1	10,7
Параметри важливих експлуатаційних властивостей, які відображають здатність ТЗ здійснювати ВАП						
1	Потужність ДВЗ, N, кВт	486	486	0,3	145,80	145,80
2	Max швидкість, V, км/год.	80	90	0,35	28,00	31,50
3	Кількість передач КП	16	16	0,1	1,60	1,60
4	Витрата ДП, Q, л/100 км	34	30,3	0,25	8,50	7,58
$Q_2P_2(0,45)$					183,9	186,5
$К_{ТЯ}Q_2$					82,8	83,9
Параметри маневреності ВА самоскида						
1	Кількість ведучих осей	4	3	0,1	0,40	0,30
2	Max кут підйому, αпід, кут	21	27	0,15	3,15	4,05
3	Min радіус повороту, R, м	10,615	9,75	0,2	2,12	1,95
4	Габаритна довжина, м	11,263	10,1	0,15	1,69	1,52
5	Рівень питомого тиску колеса на поверхню, P, кПа	52,61	41,3	0,4	21,04	16,53
$Q_2P_2(0,25)$					28,4	24,4
$К_{ТЯ}Q_3$					7,1	6,1
Загальний КТЯ					**98,9**	**100,7**

Обговорення. У випадках, коли проводиться порівняльний аналіз вантажної автомобільної техніки існують науково-обґрунтовані методики/алгоритми. Вони містять перелік найбільш важливих параметрів із усього діапазону експлуатаційних параметрів ТЗ, а також рекомендації щодо використання методу експертного оцінювання для визначення вагових коефіцієнтів цих параметрів з метою подальшого визначення узагальненого технічного показника якості ВА [3, 4]. Методики містять великий перелік експлуатаційних параметрів ТЗ, які повинні бути враховані при проведенні такого дослідження. Головна мета полягає в тому, щоб вибрати найважливіші параметри

та надати обґрунтування вагового коефіцієнта для кожної моделі ВА самоскида [3, 4].

Запропонована концепція для прийняття управлінського рішення щодо підвищення ефективності вантажних автомобільних перевезень, полягає у використанні перспективного і ефективного РС, за рахунок якого можна отримати наступні переваги: збільшити обсяг вантажу, що транспортується, зменшити енергоефективність транспортного процесу ВАП мінеральної сировини від місця завантаження до місця розвантаження, отримати ВА самоскид, якій більш ефективний на підставі результатів аналізу споживчих і експлуатаційних властивостей, який є більш пристосованим для складних умов експлуатації ГП.

Висновки. За результатами розрахунку коефіцієнта технічної якості порівнювальних моделей ВА самоскидів можна зробити висновок, що використання в умовах ГП для транспортування здобутої мінеральної сировини від місця завантаження до місця розвантаження ВА самоскида з ШЗР є кращим (загальний коефіцієнт технічної якості - 100,7), ніж використання ВА самоскида з жорсткою рамою (загальний коефіцієнт технічної якості - 98,9). ВА самоскида з ШЗР характеризується кращою маневреністю, більшою продуктивністю та прохідністю місцевості, а також здатність перевозити великі обсяги здобутої мінеральної сировини для умов ГП, що розглядається. За результатами порівняння критерію енергоефективності найбільш ефективним є ВА самоскид з ШЗР моделі "Volvo" A45G: показник енергія, яка витрачена на переміщення вантажу дорівнює 3997 кДж.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kairatkyzy G., Karsybaev E.E., Abzhapbarova A.Z., Deryugin O.V., Bas I.K. (2022). Improving the efficiency of trucking in the conditions of a mining enterprise, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 131-136. https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-3/125.

2. Tsopa V., Cheberiachko S., Yavorska O., Deryugin O., Bas I. (2022). Increasing the safety of the transport process by minimizing the professional risk of a dump truck driver. *Mining of mineral deposits*, 16(3), 101-108. https://doi.org/10.33271/mining16.03.101.

3. Хаврук, В.О., Пархоменко, О.О. (2021). Критерії оцінки й вибору рухомого складу АТП. *Наука та прогрес транспорту*, 2(92), 17-28. https://doi.org/10.15802/stp2021/235411.

4. Mnzool, M., Gaafar, A., Almujibah, H., Elhassan, A.A.M., Bakri, M., Gomaa, E. (2024). Optimization of cycle time for loading and hauling trucks in open-pit mining. *Mining of Mineral Deposit*, 18(1), 18-26. https://doi.org/10.33271/mining18.01.018.

5. Liu, G., Chai, S. (2019). Optimizing open-pit truck route based on minimization of time-varying transport energy consumption. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 6987108. https://doi.org/10.1155/2019/6987108.

6. Shcherbakov, P., Tymchenko, S., Moldabayev, S., Sarybayev, N., Klymenko, D., Ulanova, N. (2024). Implementation of a mathematical component in the device development for operational control of the dump truck. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 041 – 047. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-4/041.

7. Pavlychenko, A.V., Shustov, O.O., Kaliuzhna, T.M., Otiuskyi, A. O. (2022). Research on the rational profile of exit trails of auto transport in deep open mines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 036-040. https://doi.org/10.33271/nvngu/20226/036.

8. Yadav, P., Gupta, S., Kumar, D. (2020). Measurement and analysis of performance of mining dump trucks. *International Journal of Vehicle Performance*, 6(2), 129-150. https://doi.org/10.1504/IJVP.2020.106984.

9. Chibukhchyan, S.S. (2024). Assessment of the Operational Reliability of Underground Transport and Technological Machines. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 53, 733-737. https://doi.org/10.1134/S1052618824700596.

10. Gupta, P., Mehlawat, M.K., Aggarwal, U., Charles, V. (2021). An integrated AHP-DEA multi-objective optimization model for sustainable transportation in mining industry. Resources Policy, 74, 101180. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.04.007.

11. Caterpillar Successfully Demonstrates First Battery Electric Large Mining Truck and Invests in Sustainable Proving Ground. (2022). Official site CATERPILLAR. Available online: https://www.caterpillar.com/en/news/corporate-press-releases/h/caterpillar-succesfully-demonstrates-first-battery-electric-large-mining-truck.html/

12. Electric mining truck. Official site Epiroc Mining and Construction Technique LLC. Available online: https://www.epiroc.com/ru-uz/products/loaders-and-trucks/electric-trucks.

13. Owusu-Mensah, F., Musingwini, C. (2011). Evaluation of ore transport options from Kwesi Mensah Shaft to the mill at the Obuasi mine. International *Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 25, 109-125. https://doi.org/10.1080/17480930.2010.538988.

14. Yazdani-Chamzini, A. (2014). An integrated fuzzy multi criteria group decision making model for handling equipment selection. *Journal Of Civil Engineering And Management*, 20, 660-673. https://doi.org/10.3846/13923730.2013.802714.

15. Erdelić, M., Carić, T., Erdelić, T., Šemanjski, I. (2025). Enhancing transport mode classification benchmark by integrating spatial independence with multimodal dataset. *Travel Behaviour and Society*, 38, 100929. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100929.

16. Article by NWI Group: Digital Technology And Weighbridge Software for Quarries: The Advantages. (2023). Official site WEIGHING review. Available online: https://www.weighingreview.com/article/digital-technology-and-weighbridge-software-for-quarries-the-advantages.

17. Blagojevic, A., Veskovic, S., Kasalica, S.,Gojic, A., Allamani, A. (2020). The application of the fuzzy AHP and DEA for measuring the efficiency of freight transport railway undertakings. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3. https://doi.org/10.31181/oresta2003001b.

18. Liachovičius, E., Skrickij, V., Podviezko, A (2020). MCDM Evaluation of Asset-Based Road Freight Transport Companies Using Key Drivers That Influence the Enterprise Value. *Sustainability*, 12, 7259. https://doi.org/10.3390/su12187259.

19. Anysz, H., Nicał, A., Stević, Ž., Grzegorzewski, M., Sikora, K. (2021). Pareto optimal decisions in multi-criteria decision making explained with construction cost cases. *Symmetry*, 13, 46. https://doi.org/10.3390/sym13010046.

УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

РОЗРОБКА НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ПРОДУКТИВНОСТІ ОЧИСНОГО ВИБОЮ

А.О. Хорольський[1]

[1]в.о. завідувача лабораторії проблем розробки родовищ, Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, Дніпро, Україна, e-mail: andreykh918@gmail.com

Анотація. Наведено результати дослідження із розробки нейронної мережі для прогнозування показників продуктивності очисного вибою. Наведено ієрархію моделі та алгоритм прогнозування.

Ключові слова: нейронна мережа, прогнозування, продуктивність, очисний вибій, навчання моделі.

NEURAL NETWORK DEVELOPMENT FOR PREDICTING LONGWALL MINING PERFORMANCE INDICATORS

Andrii Khorolskyi[1]

[1]Head of the Department of Field Development Problems, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics the NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine, e-mail: andreykh918@gmail.com

Abstract. The results of research on the development of a neural network for predicting the performance indicators of a longwall face are presented. The model hierarchy and the prediction algorithm are provided.

Keywords: neural network, prediction, performance, longwall face, model training.

Вступ. Внаслідок військових дій на території України значна частка підприємств з видобутку вугілля припинила свою діяльність. В довгостроковій перспективі це приведе до мінімізації кількості підприємств, саме тому, в разі збереження вугільної генерації, першочерговими задачами будуть: підвищення ефективності гірничих робіт, збільшення продуктивності очисного вибою. Без надійних інструментів прогнозу ці задачі не можуть бути успішно вирішені. В представленій роботі запропоновано застосовувати нейронні мережі для прогнозування показників продуктивності очисного вибою. Раніше нейронні мережі успішно застосовувались для прогнозу газодинамічних явищ [1, 2], прогнозу техніко-економічних показників підприємств [3, 4], управління безпекою [5, 6]. Однак, ще недостатньо приділено увагу алгоритмам побудови і навчання нейронних мереж для прогнозування показників

очисного вибою. Це пов'язано наступними моментами: багатоманіття факторів, які впливають на продуктивність, тому необхідно мати уявлення про пріоритетні; наявність набору даних про реальні техніко-економічні показники, адже «синтетичні» набори даних формували похибки в прогнозних моделях. Врахування цих моментів сприятиме успішному вирішенню задачі з прогнозування показників очисного вибою.

Мета роботи полягає в розробці нейронної мережі для прогнозування показників продуктивності очисного вибою. Для розробки нейронної мережі використано апробовані дані про пріоритетність керуючих факторів, які впливають на продуктивність очисного вибою [7, 8], фактичні техніко-економічні показники вугледобувного комплексу України з 2008-2022 рр. [9, 10], а також розроблені автором рекомендації з обґрунтування раціональної області експлуатації обладнання на шахтах [11, 12].

Матеріал і результат досліджень. Для розробки нейронної мережі слід знати її ієрархію та принцип роботи. Будь-яка нейронна мережа складається із вхідного потоку – в нашому випадку це технологічні та гірничо-геологічні параметри; прихованих шарів – саме проходячи через шари можуть змінюватись параметри; вихідного потоку – в нашому випадку це продуктивність очисного вибою.

На першому етапі формується навчальна вибірка. Це можуть бути «синтетичні» дані, які програма сама створює, або реальні. В наведеній роботі використано реальну інформацію про роботу підприємств вугледобувного комплексу. На основі навчальної вибірки формується вектор X – його ще називають вхідним вектором.

На другому етапі відбувається навчання. Вектор параметрів X проходить через скриті шари (зазвичай в нейронних мережах два-три шари) і виходить у вигляді вектору Z, який переходить на наступний шар. Вектор Z можна визначити як суму вхідного вектору параметрів X на вектор зсуву b. Якщо параметри мають різну вагу, то вектор Z множиться на вагу w. В нашій моделі два шари. Для встановлення зв'язків використовується функція активації, яка є похідною від вихідного вектору $a=f(Z)$. Функція активації може бути лінійною, сигмоїдною, тощо. Ми використовуємо фукцію активації ReLU.

На третьому етапі модель компілюється з використанням оптимізатора Adam і функції втрат mean_squared_error.

Після цього відбувається навчання і візуалізація результатів. При наявності мінімальних середньоквадратичних відхилень ми можемо робити висновок, що модель навчилась і робить достовірний проноз.

У відповідності до наведеного алгоритму розроблено нейронну мережу.

Вхідний шар представлено вектором із 8 параметрів: потужність пласта, товщина породних прошарків, довжина лави, щільність вугілля, щільність породи, кут залягання пласта, швидкість подачі очисного комбайну, ширина захвату очисного комбайну. Далі йде перший прихований шар на 64 нейрони та другий на 32 нейрони. Вихідний шар представлено одним нейроном, який визначає прогнозовану продуктивність очисного вибою. Використання двох (або більше) прихованих шарів забезпечує глибше навчання, дозволяючи моделі вивчати складніші та більш абстрактні патерни у вхідних даних. Це відбувається завдяки тому, що кожен прихований шар може виявляти особливості на різних рівнях абстракції:

Перший прихований шар: Виявляє простіші патерни у даних (наприклад, локальні залежності).

Другий прихований шар: Виявляє складніші патерни, використовуючи вихідні дані з першого шару (наприклад, комбінації локальних залежностей).

В якості функції активації застосовано ReLU. ReLU (Rectified Linear Unit) – це одна з найпопулярніших і широко використовуваних функцій активації в нейронних мережах, особливо в глибокому навчанні.

Функція активації ReLU визначається наступним чином: $\mathrm{ReLU}(x)=\max(0,x)$. Графік функції ReLU виглядає як лінійна функція, яка дорівнює нулю для всіх негативних значень вхідного сигналу і лінійно збільшується для всіх позитивних значень.

Кількість епох для навчання – 300. Це достатня кількість за яку модель навчиться прогнозувати.

Далі на основі масиву даних про зміну параметрів очисного вибою формується масив навчальних даних. На рис. 1 показано фрагмент масиву навчальних даних.

```python
# Нові дані для прогнозування
new_data = np.array([
    [1.2, 0.1, 310, 1.34, 2.4, 3, 2.55, 0.64],
    [1.3, 0.15, 330, 1.33, 2.39, 3, 2.6, 0.65]
])

# Масштабування нових даних
new_data_scaled = scaler.transform(new_data)
```

Рис. 1. – Фрагмент формування масиву навчальних даних

Коли дані передаються через шари мережі, кожен шар виконує наступні операції:

- Лінійна комбінація: Вхідні значення множаться на ваги і додається зміщення.

- Активаційна функція: До результату лінійної комбінації застосовується активаційна функція.

На фінальному етапі ми визначаємо метрику вихідних оцінок:

1) Mean Absolute Error (MAE): обчислює середнє абсолютне значення різниці між передбаченими та фактичними значеннями.

2) Mean Squared Error (MSE): обчислює середнє квадратичне значення різниці між передбаченими та фактичними значеннями.

3) Root Mean Squared Error (RMSE): обчислює квадратний корінь з MSE, що дозволяє краще інтерпретувати помилку.

4) R-squared (R^2): показує частку варіації залежної змінної, що пояснюється моделлю.

Метрики точності, такі як MAE, MSE, RMSE та R^2, дозволяють оцінити, наскільки добре модель виконує свої завдання на тестових та нових даних. Ці метрики допомагають виявити можливі проблеми з моделлю та оцінити її здатність до узагальнення на нових даних.

Нейронна мережа реалізована на мові програмування Python.

На першому етапі відбувається експорт бібліотек (рис. 2), далі нейронна мережа працює з навчальним набором даних (рис. 1).

```
import numpy as np
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error, r2_score
import matplotlib.pyplot as plt
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Dense, Dropout
from sklearn.model_selection import train_test_split
```

Рис. 2. – Імпорт бібліотек

Після цього відбувається формування вектору вхідних даних та прогнозування вихідних даних. На наступному етапі відбувається розділення вибірки на навчальну та тестову, масштабування даних.

Завдяки цьому створюється покращена модель. Покращення відбувається за рахунок використання функцій активації.

На рис. 3 показано фрагмент коду.

```
# Розділення даних на навчальну та тестову вибірки
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)

# Масштабування даних
scaler = StandardScaler()
X_train_scaled = scaler.fit_transform(X_train)
X_test_scaled = scaler.transform(X_test)

# Створення покращеної моделі нейронної мережі
model = Sequential()
model.add(Dense(128, input_dim=X_train.shape[1], activation='relu'))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(64, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(32, activation='relu'))
model.add(Dense(1, activation='linear'))
```

Рис. 3. – Лістинг коду нейронної мережі

На фінальному етапі створюється компіляція моделі, навчання та прогнозування.

На останок обчислюються метрики точності і виводиться інформація про результати навчання (рис. 4).

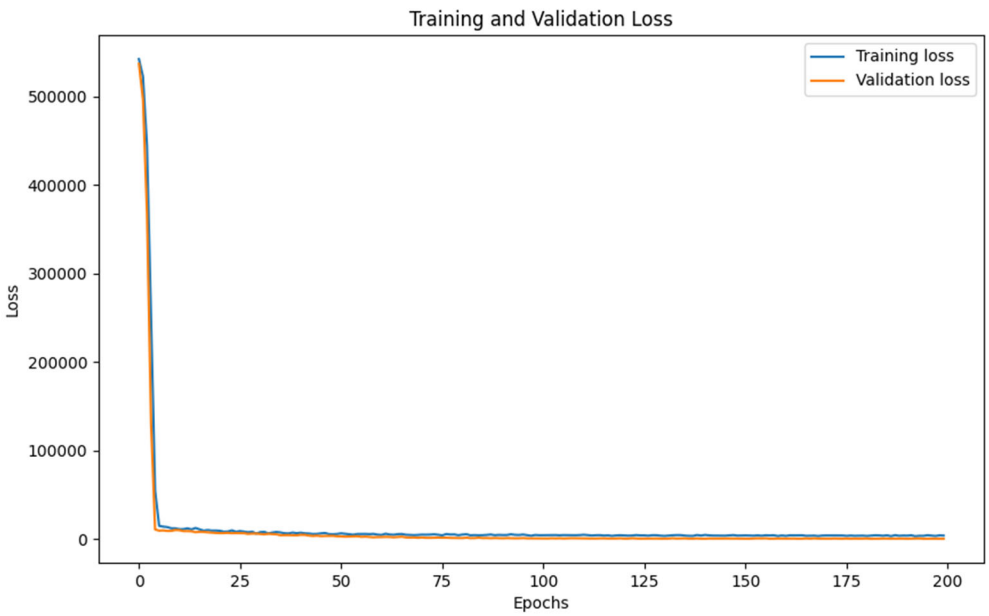


Рис. 4. – Результати навчання моделі

Як видно із рис. 4 похибка є мінімальною вже на 200 епосі, а по завершенню 300 епохи навчання відхилення прогнозних даних від реальних не

перевищує 30 т/зміну. Зважаючи на існуючі показники продуктивності очисних вибоїв величина похибки не перевищує 10%, що свідчить про достовірність інформації, яка була використана для навчання.

Для умов шахт Західного Донбасу було здійснено прогнозування.

На рис. 5 показано консоль і значення метрик.

```
←[1m15/15←[0m ←[32m━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━←[0m←[37m←[0m ←[1m0s←[0m 3ms/step - loss: 2591.8416 - val_loss: 594.0087
Epoch 195/200
←[1m15/15←[0m ←[32m━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━←[0m←[37m←[0m ←[1m0s←[0m 4ms/step - loss: 2877.6675 - val_loss: 1315.0433
Epoch 196/200
←[1m15/15←[0m ←[32m━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━←[0m←[37m←[0m ←[1m0s←[0m 4ms/step - loss: 2648.2507 - val_loss: 1061.8331
Epoch 197/200
←[1m15/15←[0m ←[32m━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━←[0m←[37m←[0m ←[1m0s←[0m 3ms/step - loss: 2676.6213 - val_loss: 710.9381
Epoch 198/200
←[1m15/15←[0m ←[32m━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━←[0m←[37m←[0m ←[1m0s←[0m 3ms/step - loss: 3497.4595 - val_loss: 614.9683
Epoch 199/200
←[1m15/15←[0m ←[32m━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━←[0m←[37m←[0m ←[1m0s←[0m 4ms/step - loss: 2238.5876 - val_loss: 814.8173
Epoch 200/200
←[1m15/15←[0m ←[32m━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━←[0m←[37m←[0m ←[1m0s←[0m 3ms/step - loss: 1923.0789 - val_loss: 1021.9315
←[1m2/2←[0m ←[32m━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━←[0m←[37m←[0m ←[1m0s←[0m 40ms/step
Mean Absolute Error (MAE): 26.978773722546613
Mean Squared Error (MSE): 1043.4698716907446
Root Mean Squared Error (RMSE): 32.302784271495
R-squared (R²): 0.9708014132113822
```

Рис. 5. – Розрахунок метрик оцінки навчання

Як видно із рис. 5, mean Absolute Error (MAE) = 26.98. Це середня похибка, яка становить приблизно 27 одиниць продуктивності. Тобто, якщо розраховувати добову продуктивність похибка складає 27 т/добу.

Mean Squared Error (MSE) = 1043.47 - середнє значення квадратів різниць між передбаченнями та справжніми даними. Через піднесення помилок у квадрат, великі відхилення штрафуються сильніше. Чим менше значення MSE тим краще. У нашому випадку 1043, що є доволі малим відносно масштабу даних.

Root Mean Squared Error (RMSE) = 32.30. Це корінь квадратний із MSE. Він має ті ж одиниці вимірювання, що й вихідна змінна (наприклад, м³/год або інший показник продуктивності). Для добового прогнозу 32.3 одиниць похибки в прогнозі це досить гарний результат.

R-squared (R^2) = 0.9708 - коефіцієнт детермінації, показує, яку частку дисперсії у залежній змінній модель може пояснити. Значення 0.9708 означає, що 97.08% варіації продуктивності шахти пояснюється моделлю. Іншими словами, модель дуже добре узгоджується з реальними даними.

Таким чином в роботі наведено алгоритм розробки нейронної мережі для прогнозування показників продуктивності очисного вибою.

В подальшому буде розроблено програмне забезпечення. Для цього слід створити графічний інтерфейс за допомогою якого користувач буде задавати гірничо-геологічні та технологічні показники очисного вибою. На основі взаємодії з pkl файлом нейронної мережі буде проводитись прогнозування показників продуктивності очисного вибою. Варто зазначити, що кількість параметрів і діапазон може змінюватись.

Висновки. В наведеній роботі, вперше запропоновано обґрунтовувати структуру видобувного комплексу на основі методу аналізу ієрархій та подальшою оптимізацією на основі застосування графів та мережевих моделей, що дозволяє обрати і визначити область механізованої видобутку вугілля з заданими параметрами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tutak, M., Krenicky, T., Pirník, R., Brodny, J., & Grebski, W. W. (2024). Predicting methane concentrations in underground coal mining using a multi-layer perceptron neural network based on mine gas monitoring data. Sustainability, 16(19), 8388.
2. Karacan, C. Ö. (2008). Modeling and prediction of ventilation methane emissions of US longwall mines using supervised artificial neural networks. International Journal of Coal Geology, 73(3-4), 371-387.
3. Al-Chalabi, H., Ahmadzadeh, F., Lundberg, J., & Ghodrati, B. (2014). Economic lifetime prediction of a mining drilling machine using an artificial neural network. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, *28*(5), 311-322.
4. Zheng, X., Nguyen, H., & Bui, X. N. (2021). Exploring the relation between production factors, ore grades, and life of mine for forecasting mining capital cost through a novel cascade forward neural network-based salp swarm optimization model. *Resources Policy*, *74*, 102300.
5. Ruilin, Z., & Lowndes, I. S. (2010). The application of a coupled artificial neural network and fault tree analysis model to predict coal and gas outbursts. *International Journal of Coal Geology*, *84*(2), 141-152.
6. Ming, J., Zhang, L., Sun, J., & Zhang, Y. (2018, April). Analysis models of technical and economic data of mining enterprises based on big data analysis. In *2018 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing and Big Data Analysis (ICCCBDA)* (pp. 224-227). IEEE.
7. Хорольський, А. О., Гріньов, В. Г., & Мамайкін, О. Р. (2019). Оптимізація стійкості функціонування підсистем очисного вибою. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*, (1), 85-103.
8. Хорольський, А. О., & Гріньов, В. Г. (2018). Проектування технологічних схем гірничого виробництва в умовах невизначеності. *Физико-технические проблемы горного производства*, (20), 132-146.
9. Гріньов, В. Г., & Хорольський, А. О. (2020). Визначення раціонального обсягу вилучення корисних копалин із надр: маржинальний підхід. *Економіка промисловості*, (91), 82-95.
10. Lousada, S., Delehan, S., & Khorolskyi, A. (2024). Application of Dynamic Programming Models for Improvement of Technological Approaches to Combat Negative Water Leakage in the Underground Space. *Water*, *16*(14), 1952.
11. Хорольський, А. О. (2022). Результати досліджень із розробки системи підтримки прийняття рішень для проєктування процесів освоєння родовищ корисних копалин. Вісті Донецького гірничого інституту, 2(51), 122-135.
12. Хорольський, А. О., & Косенко, А. В. (2022). Розробка та реалізація моделі для обґрунтування оптимальних технологічних схем відпрацювання викидонебезпечних вугільних пластів. Науковий вісник ДонНТУ, 1(8), 2.

УДК 69:502/504

ПОРІВНЯННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ТА УКРАЇНИ В ПИТАННІ УПРАВЛІННЯ ТА РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ

М.О. Єлісєєва[1], М.В. Ходус[2]
[1]к.т.н., старший викладач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки, e-mail: Yelisieieva.M.O@nmu.one
[2]студент групи 192м-24-1, e-mail: markhodus1988@gmail.com
[1,2]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі проведено порівняльний аналіз законодавчих та нормативно-правових актів Європейського Союзу та України в питанні управління та рециклінгу будівельних відходів. Виявлено стимули, які сприяють підвищенню рівня рециклінгу будівельних відходів в країнах Європейського Союзу. Також проаналізовано наслідки масштабних руйнувань інфраструктури та житлового фонду, яких зазнала Україна внаслідок воєнних дій. Розглянуто доцільність запровадження нових підходів до управління будівельними відходами, що утворилися в результаті бомбардувань.

Ключові слова: будівельні відходи від руйнувань, управління відходами, рециклінг будівельних відходів, первинні мінеральні ресурси, вторинні мінеральні ресурси, циркулярна економіка.

COMPARISON OF THE REGULATORY FRAMEWORK OF THE EUROPEAN UNION AND UKRAINE IN THE ISSUE OF MANAGEMENT AND RECYCLING OF CONSTRUCTION WASTE

Maryna Yelisieieva[1], Mark Khodus[2]
[1]PhD, Senior Lecturer, Department of Construction, Geotechnics and Geomechanics, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: Yelisieieva.M.O@nmu.one
[2]Student of group 192m-24-1, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: markhodus1988@gmail.com

Abstract. The article conducts a comparative analysis of legislative and regulatory acts of the European Union and Ukraine in the issue of construction waste management and recycling. The incentives that contribute to increasing the level of recycling of construction waste in the European Union are identified. The article also analyses the consequences of the large-scale destruction of infrastructure and housing stock that Ukraine suffered as a result of military operations. The expediency of introducing new approaches to the management of construction waste generated as a result of bombing is considered.

Keywords: construction and demolition waste, waste management, recycling of construction waste, primary mineral resources, secondary mineral resources, circular economy.

Вступ. Повномасштабна війна Росії проти України, спричинила суттєві руйнування житлового фонду, об'єктів соціального призначення та критичної інфраструктури країни. Згідно з експертними оцінками, найбільших збитків зазнав саме житловий сектор. Унаслідок активних бойових дій та систематичних обстрілів, кількість знищених і пошкоджених житлових споруд постійно зростає. За даними [1, с. 134], станом на січень 2024 року загальна кількість таких об'єктів перевищила 250 тисяч одиниць, серед яких — понад 222 тисячі приватних домоволодінь, понад 27 тисяч багатоквартирних будинків та 526 гуртожитків. За даними, що публікує видання «Reuters» [2], – близько 13 % загального житлового фонду України було пошкоджено або зруйновано, постраждали понад 2,5 мільйона домогосподарств. На 70 % зросла частка пошкоджених або знищених активів в енергетичному секторі з часу останньої оцінки рік тому, включаючи інфраструктуру виробництва, передачі, розподілу та централізованого теплопостачання. Для післявоєнного відновлення Україна потребує значних коштів. На житловий сектор припадає близько 84 мільярдів доларів із загальних довгострокових потреб, за ним йдуть транспорт – майже 78 мільярдів доларів, енергетика та гірничодобувна промисловість – майже 68 мільярдів доларів, торгівля та промисловість – понад 64 мільярди доларів, а також сільське господарство – понад 55 мільярдів доларів. Витрати на розчищення та управління відходами становлять майже 13 мільярдів доларів.

Особливо великих руйнувань зазнають ті міста та селища, що знаходяться біля лінії фронту. За попередніми підрахунками, масштаби руйнувань унаслідок збройної агресії є вкрай значними: у місті Сєвєродонецьк пошкоджено близько 90 % житлової інфраструктури. Населені пункти, зокрема Бахмут і Мар'їнка, майже повністю втратили житловий фонд, оскільки збережених будівель там практично не залишилося. Станом на сьогодні, кількість зруйнованих житлових об'єктів — як багатоповерхових будинків, так і приватних осель — продовжує зростати. Це обумовлено безперервними бойовими діями на територіях Харківської, Луганської, Донецької, Запорізької та Херсонської областей, а також фактом тимчасової окупації частини суверенних територій України. Крім того, регулярні ракетні обстріли завдають пошкоджень житловій інфраструктурі в інших регіонах держави [1, с. 133 – 134].

Як наслідок, на територіях де ведуться активні бойові дії, утворюється велика кількість будівельних відходів. За даними [3], за два роки війни в Україні утворилося понад 600 тисяч тонн відходів руйнувань, тобто відходів утворених із уламків будівельних конструкцій будівель, які були пошкоджені або знищені в результаті обстрілів. В Харківській області ця цифра становить близько 50 тисяч тонн відходів від руйнувань. В Херсонській області

– найскладніша ситуація, за останніми даними Департаменту захисту довкілля та природних ресурсів Херсонської області, на місцях тимчасового зберігання вже накопичено понад 184 тисяч тонн відходів руйнування. Їх обсяг зростає щоденно, і це стає справжнім екологічним викликом.

Вищезазначені факти вказують на гостру потребу в систематизації процесу переробки та поширеного використання будівельних відходів, що утворюються внаслідок воєнних дій в Україні, як цінної сировини для виготовлення нової будівельної продукції.

Незважаючи на даний потенціал, рівень вторинної переробки та утилізації будівельних відходів і відходів від знесення в Україні становить менше 10 %, при тому що промислові потужності дозволяють переробляти біля 80 – 85 % відходів [1, с. 136]. В більшості країн Європейського Союзу цей відсоток є значно вищим і подекуди досягає 90 %. Отже, актуальним є розглянути правові інструменти, які були запроваджені в Європейському Союзі для вирішення проблеми із управлінням та утилізацією відходів.

Мета роботи полягає в проведенні порівняльного аналізу законодавчих та нормативно-правових актів Європейського Союзу та України в питанні управління та рециклінгу будівельних відходів.

Матеріал і результат досліджень. Рівень використання будівельних відходів у країнах Євросоюзу, Україні, та інших країнах Світу прямо-пропорційно відповідає рівню якості законодавства щодо управління відходами в цих країнах.

Одним із ключових нормативних актів, що формує правові засади управління відходами в межах Європейського Союзу, є Рамкова директива 2008/98/ЕС [4]. Цей документ створено з метою охорони навколишнього середовища та забезпечення безпеки населення шляхом впровадження системного підходу до поводження з відходами, включаючи заходи з перероблення, утилізації та раціонального використання ресурсів для зменшення екологічного навантаження.

Фундаментальним принципом, який закладено в основу директиви, є принцип «забруднювач платить», що передбачає фінансову відповідальність первинного утворювача відходів за витрати, пов’язані з їх збиранням, обробленням та утилізацією.

Крім того, директива впроваджує концепцію «розширеної відповідальності виробника», яка передбачає дотримання низки зобов’язань, спрямованих на підвищення рівня екологічної відповідальності суб’єктів господарювання:

- поводження з відходами має здійснюватися без будь-якого ризику для води, повітря, ґрунту, рослин або тварин, не створюючи неприємностей

через шум чи запахи, не завдаючи шкоди сільській місцевості чи місцям з особливим статусом;

- виробники або власники відходів повинні переробляти їх самостійно або передавати їх офіційно визнаному оператору. Обидва потребують дозволу та періодично перевіряються;

- компетентні національні органи повинні розробити плани управління відходами та програми запобігання утворенню відходів.

Згідно з Директивою 2008/98/ЕС Європейський Союз встановив такі цілі на 2020 рік:

- переробка або підготовка до повторного використання 50 % побутових відходів

- матеріальне відновлення 70 % будівельних та знесених відходів.

Побутові відходи (50 %). До 2020 року лише 5 країн Європейського Союзу досягли цієї мети, ще 9 були на шляху до її досягнення, а 14 країн не виконали ціль [5].

Будівельні та знесені відходи (70 %). У 2018 році середній рівень відновлення таких відходів у країнах Європейського Союзу становив 88 %, що перевищує встановлену ціль. Однак варто зазначити, що ці дані включають зворотне засипання (backfilling), яке не завжди вважається високоякісною формою переробки [6].

Отже, впровадження рамкової директиви 2008/98/ЕС сприяла досягнення цілі щодо 70 % відновлення для будівельних відходів, хоча якість відновлення може варіюватися.

Директива (ЄС) 2018/851 Європейського парламенту та ради від 30 травня 2018 року [7] вносить зміни до Директиви 2008/98/ЕС. Вона посилює правила щодо запобігання утворенню відходів. Що стосується утворення відходів, держави-члени Європейського Союзу повинні вжити наступних заходів:

- підтримувати стійкі моделі виробництва та споживання;

- заохочувати розробку, виробництво та використання продуктів, які є ресурсоефективними, довговічними, підлягають ремонту, багаторазовому використанню та модернізації;

- використовувати цільові продукти, що містять важливу сировину, щоб запобігти перетворенню цих матеріалів на відходи;

- заохочувати доступність запасних частин, посібників з експлуатації, технічної інформації чи інших засобів, що дозволяють ремонтувати та повторно використовувати продукти без шкоди для їх якості та безпеки;

- сприяти зниженню вмісту шкідливих речовин у матеріалах і виробах;

- підтверджує ціль: щонайменше 70 % (за масою) будівельних та знесених відходів повинні бути піддані повторному використанню, переробці або

іншому матеріальному відновленню (включаючи зворотне засипання). Ця норма залишається актуальною після ухвалення Директиви 2018/851 і закріплена як мінімальний стандарт для країн-членів Європейського Союзу.

Директива також висвітлює приклади стимулів для застосування ієрархії відходів, такі як плата за сміттєзвалище та спалювання, а також схеми плати за викидання.

Наприкінці 2024 року Європейський Союз [8] оголосив про нову політику трансформації сектору будівництва та знесення, зосереджуючись на поводженні з відходами та переробці. Крім того, до кінця 2025 року країни-члени Європейського Союзу повинні збільшити переробку та рекуперацію матеріалів нешкідливих будівельних відходів і відходів під час демонтажу щонайменше до 70 % за вагою, як це встановлено Рамковою директивою про відходи.

Нові вимоги можна розділити на три складові:

- сприяння вибірковому знесенню, щоб забезпечити безпечне видалення небезпечних речовин і сприяти високоякісній переробці;
- впровадження стратегій зменшення відходів у будівельних процесах, заохочення екологічного використання матеріалів;
- заохочення практики «зелених» державних закупівель для будівельних проєктів на місцевому та регіональному рівнях.

Ці заходи підкреслюють прагнення Європейського Союзу до лідерства в глобальних зусиллях у сфері сталого будівництва та принципів циркулярної економіки.

Серед інших важливих правових актів, слід виділити Протокол Європейського Союзу щодо поводження з відходами будівництва та знесення, прийнятий у вересні 2024 року [9].

«Протокол ЄС щодо управління відходами будівництва та відходами від знесення» спрямований на підвищення довіри до процесів управління цими відходами та збільшення повторного використання перероблених матеріалів. Оскільки відходи будівництва та відходи від знесення є одними із багатотоннажних відходів у Європейському Союзі, то налагодження кращого процесу управління ними сприятиме досягненню значних екологічних, економічних і соціальних переваг.

Цей Протокол також є частиною нещодавно ухваленого Європейською комісією Пакету циркулярної економіки, загальною метою якого є підвищення довіри до процесу управління відходами будівництва та знесення та довіри до якості перероблених матеріалів для будівництва та знесення.

В Україні з 2022 року здійснюється системне реформування нормативної бази із управління відходами та зниження рівня викидів парникових га-

зів. Наразі законодавство України щодо управління відходами регламентується двома основними законодавчими актами: Законом про управління відходами, який набув чинності в липні 2023 року, та Постановою Кабінету Міністрів України № 1073 від 27 вересня 2022 року «Про затвердження Порядку управління відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України» (далі – Постанова КМУ №1073).

Рамковий Закон про управління відходами [10] визначає загальні принципи управління відходами, у тому числі від будівництва та руйнувань. Відповідно до пункту сьомого статті 13 цього Закону саме суб'єкти господарювання, що здійснюють будівництво або знесення будівель та інженерних споруд, зобов'язані забезпечити роздільне збирання відходів будівництва та знесення, їх облік та передачу суб'єктам господарювання у сфері управління відходами для забезпечення їх оброблення. Відходи будівництва та знесення, що не є небезпечними, підлягають підготовці до повторного використання, рециклінгу, іншому матеріальному відновленню, включаючи зворотне заповнення. Закон встановлює норму, що відходи будівництва до 2025 року мають повторно використовуватися на рівні не менше 10 %.

Постанова КМУ 1073 [11] затверджує Порядок управління відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків, який, в свою чергу, містить класифікацію та вимоги до обліку відходів, включаючи вимоги до їх обробки, терміналів, полігонів, а також шляхи повторного використання відходів у будівництві. Пункт 15 цього Порядку, передбачає наступний алгоритм дій при здійсненні операцій з управління відходами від руйнувань:

1) первинне розчищення територій (збирання відходів від руйнувань, зокрема за можливості - сортування окремих компонентів відходів від руйнувань);

2) перевезення (транспортування) відходів від руйнувань від місця їх утворення до об'єктів оброблення відходів або місць тимчасового зберігання;

3) остаточне (після виконання робіт з демонтажу пошкоджених (зруйнованих) об'єктів) розчищення та прибирання територій (у разі потреби);

4) зберігання відходів від руйнувань на місцях тимчасового зберігання або на об'єктах оброблення відходів (до їх відновлення чи видалення);

5) підготовка відходів від руйнувань до повторного використання або їх видалення;

6) відновлення відходів від руйнувань (використання відходів як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів);

7) видалення відходів від руйнувань, включаючи їх захоронення.

Додаток 1 до Порядку Постанови КМУ 1073 містить вичерпний перелік компонентів відходів від руйнувань та можливі шляхи їх повторного використання у будівництві, промисловості будівельних матеріалів (виробництві будівельних виробів (продукції).

Наприклад, найрозповсюдженіші будівельні відходи від руйнувань цеглу, бетон та скло (склобій) пропонується використовувати наступним чино:

- цеглу (цегляний бій) як сировину для влаштування дренажної подушки у заболочених районах; укріплення ґрунтових і лісових доріг; заповнювач для габіонів (силікатна цегла).

- бетон (бетонні, залізобетонні конструкції та вироби, їх уламки, мінеральні, полімерцементні мурувальні та опоряджувальні розчини) як сировину для виробництва крупного та дрібного заповнювачів для бетонів (класу до С20/25), а також щебенево-піщаних сумішей для влаштування шарів основи та покриття дорожнього одягу без використання в'яжучих; влаштування насипів автомобільних доріг; сировину для виробництва порошкоподібних наповнювачів для виробництва стінових блоків і сухих будівельних сумішей; матеріали для зворотного заповнення (відновлення рельєфу, заповнення гірничих виробок (пустот), рекультивації відпрацьованих гірничих об'єктів, інших ландшафтних робіт); сировину для металевих будівельних конструкцій; металобрухт (що утворюється під час видалення металевих включень, зокрема залізобетону) як вторинну сировину для металургійного виробництва; подрібнений бетон як вторинний матеріальний ресурс для виробництва цементного клінкеру.

- скло (склобій) як порошкоподібний заповнювач для виробництва бетонних виробів, сухих будівельних сумішей, світловідбивних фарб для дорожньої розмітки тощо, вторинна сировина для виробництва скловиробів, оптичних кабелів тощо.

16 липня 2024 року було прийнято Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового забруднення», який має вступити у дію в серпні 2025 року. Відповідно до цього Закону [12], встановлюються правові та організаційні засади запобігання та зменшення промислового забруднення, а також проводиться моніторинг промислового забруднення і контроль дотримання умов інтегрованого довкіллєвого дозволу. Одним із вимог нового Закону є відновлення та рециклінг речовин, що утворюються та використовуються у будь-якому виробничому процесі, та оброблення відходів.

Висновки. У підсумку: Україна намагається адаптувати та поліпшити законодавство в сфері використання будівельних відходів відповідно до потреб часу і стандартів країн Європейського Союзу. Але самі цілі декларуються замалі, враховуючи ситуацію з будівельними відходами в Україні внаслідок бойових дій. Не вистачає комплексних мотивуючих рішень, що призвели б до збільшення рівня переробки і повторного використання будівельних відходів.

Наразі найбільш вірогідним варіантом переробки будівельних відходів в Україні є так званий локальний рециклінг будівельних відходів з використанням у дорожньому покритті та підсипці, адже великі логістичні витрати нівелюють економічну доцільність транспортування та утилізації будівельних відходів в інших регіонах.

Також значну роль у переробці будівельних відходів відіграють фактори ціноутворення. Низька вартість первинних мінеральних ресурсів в будівельній галузі України, таких як щебеню, піску, тощо, призводить до того, що вторинні мінеральні ресурси, в тому числі і будівельні відходи, є неконкурентоспроможними.

У ряді країн запроваджено економічні механізми стимулювання підприємств до впровадження практик повторного використання матеріалів і мінімізації обсягів відходів. До таких механізмів належать, зокрема, податкові пільги, субсидії, а також додаткові податки на використання первинних, непереоблених ресурсів. Наприклад, у Великій Британії діє податок на використання природних заповнювачів (піску, гравію, кам'яних порід), розмір якого становить 1,6 фунта стерлінгів за тонну [13].

Отже, Україні для досягнення максимального рівня утилізації відходів шляхом їх повторного використання слід запровадити більш суворі правові норми щодо регулювання питання управління відходами; встановити економічні стимули для підприємств-утворювачів відходів за рециклінг утворених відходів та підприємств, які виготовляють безпосередньо нову будівельну продукцію за використання вторинних мінеральних ресурсів, тобто промислових відходів. Впровадження жорстких аудитів відходів та моніторинг виробництва за допомогою індикаторів (тобто індексу відходів) має поліпшити ситуацію із скороченням відходів на місці.

Тож тільки комплексне реформування сфери використання первинних та вторинних мінеральних ресурсів може забезпечити конкурентоспроможність рециклованих матеріалів на ринку і досягнути цілей циркулярної економіки вцілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антонюк Н., Костюк В. Рециклінг будівельних відходів під час війни в Україні. *Актуальні проблеми економіки.* 2024. № 7. С. 130 – 142. URL: https://doi.org/10.32752/1993-6788-2024-1-277-130-142

2. Ukraine needs $524 billion to recover, rebuild after three years of war, World Bank says [Електронний ресурс] // Reuters. – 2025. – Режим доступу: https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-needs-524-billion-recover-rebuild-after-three-years-war-world-bank-says-2025-02-25/ (дата звернення: 21.04.2025).

3. В Україні утворилося 600 тисяч тонн відходів руйнувань за 2 роки війни [Електронний ресурс] // Екополітика. – 2024. – Режим доступу: https://ecopolitic.com.ua/ua/news/v-ukraini-utvorilosya-600-tisyach-tonn-vidhodiv-rujnuvan-za-2-roki-vijni/ (дата звернення: 21.04.2025).

4. EU waste management law (Directive 2008/98/EC on waste and repealing certain Directives) [Електронний ресурс] // EUR-Lex. – Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=legissum:ev0010 (дата звернення: 21.04.2025).

5. #No Time To Waste. Member States Delay Meeting The Inevitable Targets [Електронний ресурс] // European Environmental Bureau. – 2020. – Режим доступу: https://eeb.org/wp-content/uploads/2020/11/Member-States-delay-meeting-inevitable-targets_report.pdf (дата звернення: 21.04.2025).

6. Papamichael I., Voukkali I., Loizia P., Zorpas A.A. Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management & Research.* 2023. Volume 41, Issue 12. P. 1728 – 1740. URL: https://doi.org/10.1177/0734242X231190804

7. Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste (Text with EEA relevance) [Електронний ресурс] // EUR-Lex. – Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj/eng (дата звернення: 21.04.2025).

8. EU targets for demolition waste recycling in 2025 [Електронний ресурс] // European Demolition Association. – 2025. – Режим доступу: https://www.europeandemolition.org/communication/news/eu-targets-demolition-waste (дата звернення: 21.04.2025).

9. EU Construction and Demolition Waste Management Protocol [Електронний ресурс] // European Demolition Association. – Режим доступу: https://www.europeandemolition.org/library/eu-construction-demolition-waste-management-protocol (дата звернення: 21.04.2025).

10. Закон України «Про управління відходами». Вебсайт Верховна Рада України. Законодавство України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text (дата звернення: 21.04.2025).

11. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 № 1073 «Про затвердження Порядку управління відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України». Вебсайт Верховна Рада України. Законодавство України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text (дата звернення: 21.04.2025).

12. Закон України «Про інтегроване запобігання та контроль промислового за-бруднення». Вебсайт Верховна Рада України. Законодавство України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3855-20#Text (дата звернення: 21.04.2025).

13. Перероблення будівельних відходів: виклики та можливості для України. [Електронний ресурс] // Реанімаційний пакет реформ. – 2024. – Режим доступу: https://rpr.org.ua/news/pereroblennia-budivelnykh-vidkhodiv-vyklyky-ta-mozhlyvosti-dlia-ukrainy/ (дата звернення: 21.04.2025).

УДК 504.06

ОРІЄНТОВНИЙ ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА НАЙБЛИЖЧІ 30 РОКІВ

І.І. Чоботько[1]

[1]старший викладач кафедри спеціальної фізичної підготовки, Дніпровський державний університет внутрішніх справ, Дніпро, Україна, e-mail: efilonov79@gmail.com

Анотація. Розглянуто поточний стан та перспективи управління відходами гірничодобувної промисловості України. Зазначено, що переважна частина відходів утворюється внаслідок видобутку металевих руд, вугілля та інших корисних копалин. Відходи накопичуються у териконах і хвостосховищах, часто без належної ізоляції, що створює загрозу довкіллю. Проаналізовано інноваційні напрями переробки, зокрема біовилуговування, фіторемедіацію, плазмову переробку, піроліз та нанотехнології. Особлива увага приділена концепції циркулярної економіки, впливу міжнародного екологічного законодавства та автоматизації процесів із застосуванням ШІ. Наголошено на економічній доцільності утилізації вторинної сировини, зниженні CO_2 та зменшенні площі відвалів. Визначено ключові виклики — високі витрати, недостатня нормативна база та потреба в міжнародній координації.

Ключові слова: Відходи, переробка, циркулярна економіка, інновації.

AN INDICATIVE FORECAST OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF MINING WASTE TREATMENT TECHNOLOGIES FOR THE NEXT 30 YEARS

Ihor Chobotko[1]

[1]Senior Lecturer at the Department of Special Physical Training, Dnipro State University of Internal Affairs, e-mail: efilonov79@gmail.com

Abstract. The current state and prospects of waste management in the mining industry of Ukraine are considered. It is noted that the vast majority of waste is generated as a result of the extraction of metal ores, coal and other minerals. Waste is accumulated in waste heaps and tailings, often without proper insulation, which poses a threat to the environment. The article analyses innovative areas of processing, including bioleaching, phytoremediation, plasma processing, pyrolysis and nanotechnology. Particular attention is paid to the concept of circular economy, the impact of international environmental legislation and process automation using AI. The economic feasibility of recycling, reducing CO_2 and reducing the area of

landfills is emphasised. The key challenges are identified - high costs, insufficient regulatory framework and the need for international coordination.

Keywords: Waste, recycling, circular economy, innovation.

Вступ. Відповідно до Національного плану управління відходами до 2033 року, за даними Держстату, у 2020 році в Україні було утворено 391 077,9 тис. тонн відходів від діяльності видобувної промисловості. Переважна частка цих відходів — майже 94% — припадала на видобуток металевих руд. Інша частина відходів виникала внаслідок видобування кам'яного та бурого вугілля, а також інших корисних копалин.

Більшість відходів видобувної промисловості зосереджена у відвалах, териконах, шламосховищах, хвостосховищах та інших накопичувачах, кількість яких вже сягає кількох тисяч. Для їхнього розміщення вилучають великі площі земель, проте переважна частина таких об'єктів не має належної ізоляції, що створює загрозу забруднення довкілля. Зокрема, у Донецькому регіоні наявні численні терикони шахтних порід, у Маріуполі — відвали шлаків і шламосховища у Харкові — відвали горілої формувальної землі та інші подібні об'єкти [1]. Львівсько-Волинський вугільний басейн зокрема Червоноградський геолого-промисловий район де розташовано понад 18 відвалів і це тільки в Україні [2].

Протягом наступних 30 років технології переробки відходів гірничодобувних підприємств розвиватимуться в межах глобальних тенденцій сталого розвитку, циркулярної економіки та декарбонізації промисловості. Основними рушійними факторами цього процесу будуть посилення екологічних стандартів, економічна доцільність утилізації вторинної сировини та впровадження інноваційних технологій. Протягом наступних 10–15 років (до 2035–2040 років) технології переробки відходів гірничої промисловості можуть отримати значний поштовх завдяки концепції економіки замкненого циклу. Відходи, такі як хвости збагачення, порожні породи та шлаки, перестануть розглядатися як проблема, а стануть сировиною для нових продуктів. Орієнтовно до 2055 року можна очікувати, що до 70–80% відходів гірничодобувних підприємств будуть перероблятися в будівельні матеріали (цеглу, бетон, дорожні покриття), альтернативне паливо або навіть добрива для сільського господарства [3]. Наприклад, технології вилучення рідкісноземельних елементів із відходів рудників стануть комерційно вигідними завдяки вдосконаленню гідро- та пірометалургійних процесів.

Мета роботи. Зробити аналіз інформаційних ресурсів та дати орієнтовний прогноз розвитку технологій з переробки відходів гірничодобувних підприємств на 30 років. Характеристика та оцінка технологій з переробки відходів гірничодобувних підприємств, які найбільш вірогідні для реалізації з

економічної точки зору та дадуть потужний розвиток для промислової економіки країн.

Матеріал і результат досліджень. Технології переробки відходів гірничодобувних підприємств можна виділити за основними технологічними напрямками:

–Біовилуговування – використання бактерій для вилучення металів із хвостосховищ. Цей метод стане широко застосовуваним у гірничодобувній промисловості, оскільки дозволяє отримати цінні компоненти з низьковмістових руд та відходів.

–Фіторемедіація – застосування рослин для очищення ґрунтів і накопичення металів у біомасі. У майбутньому можливе культивування спеціально виведених генетично модифікованих рослин для ефективного вилучення важких металів.

–Плазмова переробка – термічне розкладання гірничих відходів із використанням високих температур (до 5000 °C). Очікується, що протягом наступних 30 років ці технології будуть застосовуватися для утилізації особливо небезпечних відходів та отримання високоякісних будівельних матеріалів.

–Високотемпературний піроліз – метод термічної деструкції органічних і мінеральних компонентів відходів, що дозволяє отримати нові корисні матеріали.

До 2050 року можливе активне використання наночастинок для селективного вилучення металів із відходів за допомогою нанофільтрів, а також застосування нанокапсул для точкового відновлення забруднених територій (малоймовірно адже потребує великих фінансових витрат на технологію). Нанотехнології відкривають нові можливості для обробки відходів, наприклад, для очищення кислих шахтних вод (КШВ), для створення сорбентів для вилучення важких металів, для виробництва нових будівельних матеріалів з використанням відходів [4].

Очікується подальше посилення екологічних норм щодо викидів та скидів від гірничодобувних підприємств, включаючи вимоги до управління відходами. Уряди різних країн будуть впроваджувати суворіші правила для зменшення впливу гірничої діяльності на довкілля. Концепція розширеної відповідальності виробника (РВВ) стане більш поширеною в гірничодобувній галузі. Це означає, що гірничі компанії нестимуть відповідальність за відходи протягом усього життєвого циклу продукції, включаючи їх переробку та утилізацію після закриття шахт. Уряди будуть використовувати економічні інструменти, такі як податки на захоронення відходів та екологічні збори, щоб стимулювати компанії зменшувати обсяги відходів та переробляти їх [5]. Міжнародні угоди щодо зміни клімату, біорізноманіття та забруднення

довкілля будуть впливати на національне законодавство, стимулюючи впровадження найкращих доступних технологій (НДТ) у сфері управління відходами.

Очікується подальший розвиток та вдосконалення гідрометалургійних, пірометалургійних, біометалургійних та інших методів вилучення цінних компонентів з відходів, включаючи селективне вилучення та методи, що забезпечують високу ефективність при низьких концентраціях цінних металів [6].

Щодо автоматизації то завдяки розвитку штучного інтелекту та великих даних (Big Data), у найближчі десятиліття може бути оптимізовано процес управління відходами, як: інтелектуальні системи контролю сортування та переробки; використання робототехніки для автоматизованого видобутку корисних компонентів; впровадження «блокчейн-технологій» для прозорості обліку та моніторингу екологічних зобов'язань компаній.

Економічна ефективність від переробки можу бути у відновленні критичних мінералів де очікується, що попит на такі метали, як літій, кобальт, нікель та рідкісноземельні елементи, значно зросте у зв'язку з розвитком електромобільної промисловості та «зеленої» енергетики. Зниження вартості сировини буде полягати у переробці відходів, що дозволить гірничодобувним компаніям зменшити залежність від видобутку та розробки з нуля нових родовищ корисних копалин [7].

Екологічні переваги можуть бути у зниженні шкідливих викидів технології повторного використання відходів сприятимуть скороченню викидів CO_2 та зменшення площі відвалів, що вже до 2050 року площі хвостосховищ скоротяться на 40-50% завдяки активній переробці та рекультивації.

Основні виклики та обмеження, які можуть бути при переробці відходів це: висока вартість впровадження нових технологій; відсутність необхідної нормативної бази у багатьох країнах; складність у переробці багатокомпонентних відходів. Координація міжнародних зусиль для обміну технологіями; державна підтримка у вигляді субсидій і податкових пільг для компаній, що впроваджують переробку; освітні програми для підготовки фахівців у галузі сталого розвитку гірничої промисловості [8, 9].

Висновки. Наступні 30 років стануть періодом активного переходу до циркулярної економіки у гірничодобувній промисловості. Ключову роль відіграватимуть біотехнології, цифровізація, плазмова переробка та нанотехнології. Впровадження цих технологій дозволить не лише зменшити негативний вплив на довкілля, а й зробити відходи цінним ресурсом для майбутнього промислового розвитку економіки країн.

Проте успіх залежатиме від скоординованих зусиль науки, бізнесу та

держави. Без належного фінансування та політичної волі прогрес може сповільнитися, особливо в регіонах із застарілою інфраструктурою. Якщо ж ці умови будуть виконані, то до середини століття ми побачимо гірничу промисловість, яка не просто мінімізує свій екологічний слід, а й активно сприяє відновленню довкілля та економічному зростанню. На мою думку, наступні 30 років стануть вирішальними для трансформації цієї галузі в бік сталого розвитку.

У підсумку, протягом наступних 30 років відбудеться глибока трансформація ролі гірничих відходів — від екологічного тягаря до цінного джерела ресурсів. Інноваційні технології, поєднані з цифровими інструментами, біологічними рішеннями та ефективним законодавчим регулюванням, дозволять гірничим підприємствам перейти до екологічно відповідального та економічно вигідного виробництва. Усе це дає підстави вважати, що технології переробки гірничих відходів не лише збережуть, а й суттєво розширять свою актуальність, ставши одним із ключових чинників сталого розвитку гірничої промисловості у XXI столітті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кабінет Міністрів України розпорядження «Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року», №1353-р від 27.12.2024 р.https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-%D1%80?fbclid=IwY2xjawJeYCtleHRuA2FlbQIxMQABHlm4pK2Rasurlg2UZMsjriZgNnNbbVR259BGouEyK6mJTlj4oM0gBNMd-61c_aem_1kbN5r6mxAiQP5wPH2LOAQ#Text

2. Андрій Побережський, Ірина Бучинська,Олена Шевчук, Тарас Мукан Гірничовидобувний комплекс Львівсько-Волинського вугільного басейну та його вплив на екосистему регіону // Геологія і геохімія горючих копалин. – Вип. №3 180. – 2019. - С. 52-59. https://doi.org/10.15407/ggcm2019.03.052

3. Чоботько І.І. Дослідження обробки розчинами натрієвої групи палаючих відходів вуглевидобутку на взаємодію з навколишнім середовищем. // Збірник наукових праць національного гірничого університету. – Вип. 69. – 2022. – С. 112-119. https://doi.org/10.33271/crpnmu/69.112

4. Чоботько І.І. Обґрунтування способів та методів усунення самозаймання відходів гірничого виробництва // Вісті Донецького гірничого інституту. – Вип. 1(50). – 2022. – С. 166-171. https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-1-166-171

5. Чоботько І.І., Тинина С.В. Моніторинг теплового стану породних відвалів // «Гірничий вісник» Криворізького національного університету. – Вип. 106. – 2019. – С. 9-13. https://doi.org/10.31721/2306-5435-2019-1-106-9-13

6. Тинина С.В., Чоботько І.І., Кулак Є.А., Шевельова Г.М., Про моніторинг геомеханічних систем які знаходяться під техногенним впливом // Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва. Вип. 25. 2023. – С. 141-152. https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.011

7. Global Tailings Review. Global Tailings Review. URL: https://globaltailingsreview.org/ (date of access: 05.04.2025).

8. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis - IEA. *IEA*.

URL: https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions (date of access: 05.04.2025).

9. Our Insights. McKinsey & Company. URL: https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights (date of access: 05.04.2025).

УДК 631.363.7

НАПРЯМКИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТВАРИННИЦТВІ

Р.О. Гончар
здобувач ступеня вищої освіти, магістр, Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна, e-mail: kuzya7dobro@gmail.com

Анотація. У статті розглядаються аспекти інтенсифікації технологічних процесів у тваринництві, таких як заготівля, зберігання та переробка кормів, зважування та дозування кормів, годівля тварин, контроль їх виробництва, ідентифікація кожної тварини, виробництво продуктів тваринництва.

Ключові слова: тваринництво, технологічні процеси, інтенсифікація, механізація, автоматизація.

DIRECTIONS OF INTENSIFICATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN LIVESTOCK PRODUCTION

R.O. Gonchar
student, Poltava State Agrarian University, Ukraine, e-mail: kuzya7dobro@gmail.com

Abstract. The article examines aspects of intensification of technological processes in livestock farming, such as procurement, storage and processing of feed, weighing and dosing of feed, feeding and watering of animals, control of their production, identification of each animal, production of livestock products.

Keywords: livestock farming, technological processes, intensification, mechanization, automation.

Вступ. У тваринництві багато складних технологічних процесів розглядаються і реалізуються в класі автономних підсистем і кожна з яких, виконуючи певне завдання, може бути компонентом більш складної системи управління.

Деякі схеми автоматизації технологічних процесів, наприклад схема сировинного відділення цеху технічних виробів із застосуванням засобів автоматизації, функціонально представляють схему автоматизації виробництва кормового борошна та схему автоматизації процесу спалювання жиру. Ці

особливості є свідченням необхідності впровадження сучасних технологій та їх інтенсифікації на підприємствах тваринництва.

Спільні риси, характерні для всіх процесів сучасного сільськогосподарського виробництва, характеризують багато технологічних процесів у тваринництві. До них відносяться: концентрація окремих технологічних об'єктів; велика кількість однотипних виробничих підсистем, наприклад, виробничі лінії, тваринницькі відділення; періодична повторюваність технологічних операцій та їх циклічність. Технологічний процес на підприємствах тваринництва пов'язаний не тільки з роботою машин і механізмів, але також з біологічними об'єктами; великою часткою ручної праці; низькою кваліфікацією персоналу.

Мета роботи полягає в аналізі сучасних напрямів інтенсифікації технологічних процесів на підприємствах тваринництва та можливості їх практичної реалізації.

Матеріал і результат досліджень. Основні технологічні процеси в тваринництві пов'язані з підготовкою, зберіганням і переробка кормів, з годівлею та напуванням сільськогосподарських тварин і птиці, з одержанням продукції тваринництва, їх зберіганням та переробкою, з очищенням від гною та його видаленням чи утилізацією, з набором нормативних санітарно-гігієнічних та зооветеринарних вимог до утримання тварин.

Таким чином, технологічні процеси як об’єкт інтенсифікації можна представити як складний багатокомпонентний об’єкт з великою кількістю вхідних і вихідних змінних (як автономних, так і взаємопов’язаних), а також зі значною кількістю зовнішніх впливів, деякі з яких можна контролювати, а деякі є випадковими і не керовані.

У практиці інтенсифікації тваринництва багато із зазначених досить складних технологічних процесів розглядаються і реалізуються в класі автономних підсистем. Причому кожна з них, виконуючи своє конкретне завдання, відповідно до певної ієрархічної структури може бути складовою більш складної системи управління.

Корми, що використовуються в тваринництві, умовно поділяються на:

- корми рослинного походження: грубі (сіно, солома та ін.), соковиті (коренеплоди, силос, сінаж), зелені (трава); бадилля кормових культур штучного сушіння (трав'яне борошно); концентровані корми (зерно, комбікорми та харчові відходи);
- тваринного походження: м'ясо-кісткове і рибне борошно, знежирене молоко, відходи тваринництва;
- мінерального походження: сіль, вапно, крейда;
- кормові добавки: білково-вітамінні добавки та премікси (спеціальні
- збагачувальні суміші);

• повнораціонні комбікорми та кормові суміші (гранульовані та брикетовані повнораціонні комбікорми та комбікорми, сухі та вологі напівкормові суміші), збалансовані за поживністю.

Як свідчать тваринники, найбільший економічний ефект, за інших рівних умов, досягається, звичайно, при використанні повноцінних кормів. Однак у зв'язку зі специфічними умовами в сільськогосподарських підприємствах використовують всілякі поєднання і чергування наявних кормових продуктів, збалансовуючи їх за поживністю. Основні технологічні операції в основному пов'язані з прийомом, розміщенням і зберіганням сировини, де сировину подаючи на обробні ділянки піддають подрібненню, тепловій обробці, дозуванню, змішуванню, гранулюванню або брикетуванню.

У цих зонах може бути запроваджена локальна автоматизація – керування роботою окремих машин і механізмів, керування процесами подрібнення, дозування і змішування компонентів комбікорму, а також пакування готової продукції. Це є мінімальний бажаний рівень автоматизації на кожному сучасному тваринному комплексі.

Наступним рівнем інтенсифікації технологічного процесу є використання безперервних потокових ліній.

Вищим рівнем інтенсифікації є створення системи автоматизованого управління виробництвом, яка б не тільки контролювала і спрямовувала роботу окремих технологічних ліній і дільниць, а й вирішувала завдання оптимального керування всіма технологічними процесами, включаючи оптимізацію матеріальних витрат на виробництві продукції, графік транспортних робіт, облік взаємовідносин з постачальниками та споживачами продукції та інші.

Залежно від виду тварин, їх статево-вікових груп та інших ознак технологічні процеси годування тварин можуть відрізнятися набором основних і допоміжних операцій. Вибір основних технологічних операцій роздавання кормів залежить від технології утримання тварин, виду годівлі, розмірів виробничих приміщень тощо. Багато з цих операцій механізовані й виконуються за допомогою різноманітність машин і механізмів.

При нормованій годівлі зважування корму або точне його дозування перед вивантаженням у годівниці додається до числа вказаних операцій. Але метод інтенсифікації технологічних процесів більш перспективним є застосування стаціонарних засобів механізації приготування і роздачі кормів. На багатьох діючих підприємствах використовуються локальні системи контролю працездатності різних датчиків, роздача корму, зміна швидкості конвеєрних стрічок, ланцюгів (скребкового конвеєра) і швидкості обертання робочого органу (шнек шнекового живильника), який переміщує корм.

У деяких галузях тваринництва, наприклад, у свинарстві, застосовуються автоматизовані лінії із стаціонарними засобами приготування, транспортування і роздачі кормових сумішей і рідких кормів.
Така система виконує як управлінську, так і інформаційну функції, розраховує компоненти кормових сумішей, їх дозування та роздачу готових кормів. Це забезпечує нормальне функціонування всього технологічного процесу, захист обладнання в надзвичайних ситуаціях і сигналізацію. На початковому етапі оператор встановлює необхідні пропорції і кількості компонентів необхідного корму.

Оскільки при відгодівлі тварин необхідний періодичний контроль ваги, ця технологічна операція може бути також автоматизованою на основі використання напівавтоматичних систем зважування тварин (у спеціальних стаціонарних вагових камерах або в процесі руху тварин) з використанням різних елементів живлення або спеціальної первинної ваги перетворювачів. Сигнали від цих датчиків перетворюються, усереднюються, а потім друкуються.

У сучасних системах для експрес-оцінки ефективності технологічного процесу використовують засоби ідентифікації кожної тварини використовуються на основі радіотехнічного пристрою – датчика, який встановлюється безпосередньо на тварину (на ошийник, на вухо тощо). Сигнал датчика випромінюється через передавальний пристрій, сприймається ідентифікаційним пристроєм і зберігається. При необхідності вся інформацію про кожну тварину можна роздрукувати.

Аналіз роботи та результатів функціонування українських молочних ферм малих підприємницьких формувань показує, що технологія виробництва молока на них є однією зі складних систем.

Найбільш поширена на практиці оцінка ферм шляхом побудови дослідних установок у повному обсязі технологічних рішень, що згодом призводить до значних витрат часу та часу на усунення недоліків та доопрацювання проектів, значна частина яких зумовлена недостатньою чистотою продукції на фермі внаслідок забруднення гноєм, відходами, що містять гній, стічними водами та викидами шкідливих речовин в атмосферу. Все це потребує подальшого вдосконалення та обґрунтування параметрів малозатратної екологічно чистої технології виробництва молока на фермах.

До автоматизованих технологічних процесів виробництва технічної продукції тваринництва відносяться лінії виробництва м'ясо-кісткового борошна, обробка щетини та волосся, розсол шкур, екстракція жиру, переробка відходів м'ясопереробної промисловості.

На птахофабриках використовується інтенсивна система вирощування та утримання птиці. Відмінні риси цієї системи – це висока продуктивність

птиці, використання в годівлі повнораціонних сухих комбікормів, оптимальні умови мікроклімату протягом року, ефективне використання приміщень, високий рівень механізації та автомеханізації процесів, рівномірного виробництва продукції, дотримання ветеринарних заходів профілактики захворювань птиці.

Існують такі способи утримання птахів на підлозі на глибокій підстилці, на щілинній або сітчастій підлозі та в клітках. Найбільшого поширення на птахофабриках набув клітинний спосіб утримання. Птах розміщується невеликими групами, що полегшує спостереження за ним, дозволяє повноцінно механізувати та автоматизувати роботу з утримання птиці.

За рахунок обмеження пересування птиці в умовах кліткового утримання при оптимальному мікрокліматі вдається знизити витрати кормів на вироблену продукцію. При клітинному утриманні відпадає необхідність у використанні підстилки, місткість приміщень значно збільшується, а санітарні умови покращуються. Конструкції клітинних батарей розроблені з урахуванням віку птиці. Стінка клітки, звернена до годівниці і часто служить дверцятами, являє собою решітку з отворами, розмір яких залежить від віку птиці. Годівниці зазвичай розташовані поза клітинами, лише в деяких з них вони є всередині. Поїлки рифлені, ніпельні та чашкові.

У сучасних клітинних батареях механізовані й автоматизовані всі основні процеси — подача корму й води, прибирання підстилки, збір яєць.

У рибопереробній промисловості інтенсифікація технологічних процесів часто відсутні на підприємствах й її впровадження призведе до зниження собівартості продукції та підвищення якості продукції. Автоматичні системи контролю дозволяють контролювати якість риби і рибних продуктів. Автоматизовані системи зможуть приймати, заморожувати, сортувати, різати, мити, солити, сушити, коптити, стискати, охолоджувати, пакувати та зберігати рибу та рибні продукти.

Висновки. Застосування сучасних систем автоматизації та механізації технологічних процесів дозволить швидко і якісно змішувати корми із раціону годівлі тварин та птахів на підприємствах тваринництва згідно із зоотехнічними вимогами, контролювати всі процеси, що пов'язані з підготовкою, зберіганням і переробкою кормів, з годівлею та напуванням сільськогосподарських тварин і птиці, з одержанням продукції тваринництва, їх зберіганням та переробкою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навчальний посібник / О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська. – 2012. – 720 с

2. Рубан Ю.Д. Скотарство і технологія виробництва молока та яловичини. – Харків:

Еспада, 2002. – 572с.
3. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навчальний посібник / Скляр О.Г., Болтянська Н.І. - Мелітополь: Колор Принт, 2012. - 720с.
4. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти / Скляр Р.В., Скляр О.Г., Болтянська Н.І., Мілько Д.О., Болтянський Б.В. - Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. - 608 с.

УДК 66.098

БІОВОДЕНЬ (bioH$_2$), ОТРИМАНИЙ ТЕМНОЮ ФЕРМЕНТАЦІЄЮ

О.А. Півоваров
доктор технічних наук, професор кафедри харчових технологій, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна, e-mail: apivo@ua.fm

Анотація. У роботі розглядаються можливості отримання біоводню шляхом використання темного бродіння (темної ферментації). Наведені перспективи і останні наукові здобутки, що присвячені збереженню навколишнього середовища, його екологічності, зменшенню долі викопної сировини і переходу до альтернативних джерел енергії за рахунок видобування різноманітними методами «зеленого» водню.

Ключові слова: джерела енергії, біоводень, темне бродіння, темна ферментація.

BIOHYDROGEN (bioH$_2$) OBTAINED BY DARK FERMENTATION

Alexander Pivovarov
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technologies, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine, e-mail: apivo@ua.fm

Abstract. The paper examines the possibilities of obtaining biohydrogen by using dark fermentation. The perspectives and latest scientific achievements are presented, which are dedicated to preserving the environment, its environmental friendliness, reducing the share of fossil fuels and transitioning to alternative energy sources by extracting "green" hydrogen by various methods.

Keywords: energy sources, biohydrogen, dark fermentation, dark fermentation.

Вступ. Останнім часом біоенергетика є основним джерелом енергії, оскільки вона може бути відновлюваною та екологічно чистою. Сьогодні майже 95% світового попиту спрямовано на викопне паливо, але біоводень як біогаз є дуже ефективним, ніж інші гази. Водень є одним із найпоширеніших на Землі хімічним елементом, він не забруднює атмосферу і не є отруйною речовиною. Він вважається поновлюваним і стійким джерелом енергії, мінімізує відходи, а також долає негативний вплив викопного палива, тоді

як спалювання викопного палива виділяє CO_2. Біоводень не викликає ефекту парникових газів, руйнування озонового шару та глобального потепління і є безпечніший у використанні, ніж природний газ [1]. Для виробництва водню біомаса та вода можуть використовуватися як відновлювані ресурси, виробництво біоводню з відновлюваних ресурсів також відоме як «зелена технологія». Виробництво водню можна здійснювати за допомогою темного бродіння, що є ефективним методом його виробництва. Існує кілька способів виробництва водню з побутових відходів, відходів сільського господарства, харчових відходів, промислових стічних вод і каналізаційних вод. Стічні води, промислові стічні води є дешевими та ефективними методами виробництва біоводню разом з їх очищенням [2].

Мета роботи полягає в аналізі особливостей і перспектив отримання біоводню.

Матеріал і результат досліджень. У 2022 році в усьому світі було викинуто приблизно 1,05 мільярда метричних тон їжі. Ці надлишки зазвичай відправляються на звалища, де вони сприяють викидам 8–10% парникових газів, таких як метан (CH_4) і вуглекислий газ (CO_2), а також викиду аміаку (NH_3) і фільтрату. Харчові відходи мають змінний склад, вони багаті вуглеводами, жирами та білками, що робить їх придатними в якості субстрату у процесах темної ферментації.

Темне бродіння – це анаеробний процес деградації органічних сполук, що здійснюється факультативними анаеробними мікроорганізмами за відсутності світла, що призводить до виробництва bioH_2 шляхом відновлення протонів для розсіювання надлишкових електронів від окислення органічної речовини в культуральному середовищі. В якості первинних побічних продуктів бродіння також отримують такі сполуки, як спирти, CO_2 і органічні кислоти. Це сприяє відновленню енергії та пом’якшує проблеми, пов’язані з їх утилізацією на звалищах. Щоб отримати переваги для навколишнього середовища від виробництва bioH_2, процес з використанням харчових відходів, не повинен призводити до нових негативних екологічних впливів, таких як забруднення ґрунту або утворення шкідливих стоків.

Виробництво bioH_2 на одиницю субстрату та часу має бути максимально збільшено, а також має бути економічно життєздатним, включаючи витрати, пов’язані зі збором, транспортуванням, попередньою обробкою та переробкою харчових відходів. Було досягнуто виходу 1,12±0,02 моль bioH_2/моль глюкози, використовуючи харчові відходи, що складаються з подрібненого та попередньо обробленого рису, картоплі, цибулі, апельсина, свинини, капусти та редьки з H_2SO_4 та переважно інокулятом, до складу якого входять грам-позитивні бактерії – Clostridium. Було також повідом-

лено про вихід 157,25±7,62 мл bioH$_2$/г летких твердих речовин з використанням харчових відходів, що складаються з капусти, рису та свинини, з інокулятом, відібраному з осаду і обробленого лугом у анаеробному реакторі [3].

Досліджено вплив різних видів попередньої обробки на харчові відходи для виробництва bioH$_2$. Було проведено чотири окремі попередні інноваційні обробки (обробка ультразвуком, нагрівання, обробка кислотою та лугом) і три комбіновані попередні обробки (обробка ультразвуком нагріванням, обробка ультразвуком і кислотою та обробка ультразвуком і лугом). Після попередньої обробки проводили ферментацію у біореакторі при pH 5,5, інкубували при 37°C і 180 об/хв без додавання інокулята. Комбінована попередня обробка ультразвуком і кислотою призвела до максимального збільшення розчинних вуглеводів приблизно на 31%, отже, до найвищого виробництва bioH$_2$, приблизно 118 мл bioH$_2$/г початкової сировини, тоді як контрольний експеримент без попередньої обробки призвів до виробництва 42 мл біоH$_2$/г за аналогічних умов.

Виснаження викопних ресурсів, які становлять приблизно 80% поточної енергетичної матриці, а також зростання ринкових цін і проблеми навколишнього середовища, пов'язані з викидом забруднюючих газів під час їх спалювання, спонукали дослідження до виробництва відновлюваної енергії та її впровадження в промислових масштабах, таких як сонячна, вітрова, геотермальна та біопаливо. У цьому контексті водень (H_2) вважається енергетичним вектором майбутнього через його високий енергетичний вміст (122 кДж·г −1 , щонайменше в 2,75 рази вище, ніж у викопного палива) і виділення H_2O як єдиного побічного продукту його спалювання [4].

Незважаючи на те, що H_2 можна використовувати як джерело енергії через його пряме застосування в двигунах внутрішнього згоряння чи реактивних двигунах або також перетворювати в електричну енергію в паливних елементах, його поточні застосування зосереджені в хімічній і нафтохімічній промисловості з метою переробки палива, синтезу аміаку, синтезу метанолу та гідрування харчових олій, створюючи глобальну потребу в 95 мільйонів тон H_2 в 2022 [5]. Нажаль H_2 отримують за використанням таких енергоємних процесів, як електроліз води (приблизно 4%) і термохімічні методи (приблизно 96%) з невідновлюваних джерел, таких як природний газ, сира нафта та вугілля [4], які спричиняють викиди в атмосферу великої кількості вуглецю, сірки, оксидів азоту, золи, радіоактивних речовин, і важкі метали.

Водень (H_2) є високоефективним і чистим джерелом енергії з потенціалом відновлюваної енергії. Виробництво H_2 біологічними шляхами, такими як біофотоліз, фотоферментація, темне бродіння та біоелектрохімічне виробництво, характеризується як відновлювана альтернатива поточному виро-

бництву, яке в основному базується на енергоємних електрохімічних і термохімічних процесах і відповідає за викид великої кількості шкідливих для навколишнього середовища сполук. Як показує практика темне бродіння є найбільш ефективним і рентабельним методом виробництва біоводню, що робить його ключовим напрямком досліджень.

Одним із найскладніших завдань у виробництві bioH_2 є його подальше відновлення. Через низький кінетичний діаметр (приблизно 2,9Å) H_2 [6] відділення цієї молекули газу від інших молекул газу (включаючи CH_4, CO_2, N_2) вимагає високоселективних методів розділення. На сьогоднішній день було зроблено спроби очищення біоводню за допомогою адсорбції при зміні тиску, фракційної або кріогенної дистиляції, мембранного газорозділення та їх можливого по'єднання. Технології адсорбції зі змінним тиском і фракційної дистиляції використовуються в комерційних цілях, але зазвичай вони не є рентабельними, оскільки передбачають високе споживання енергії для відділення та очищення H_2. Крім того, жоден із цих процесів не забезпечує достатньої чистоти для цільових застосувань в економіці H_2. Що стосується технології мембранного газорозділення, то вона є багатообіцяючою методологією в галузі завдяки своїм численним перевагам, таким як низьке енергоспоживання, висока селективність і ефективність, можливість безперервної та тривалої роботи (залежно від типу мембрани та кислотогенного складу вихідного газу), нижчі інвестиційні витрати порівняно з двома іншими процесами, простота експлуатації та економічна ефективність. При роботі з відділенням H_2 з використанням чистих полімерних мембран можна застосовувати декілька полімерних матеріалів, включаючи сульфований поліімід, полііміди, Hyflon, Teflon, полі(триметилсилілпропін), полідиметилсилоксан. Серед цих матеріалів деякі полімери, як правило, забезпечують високу проникність H_2, але низьку ефективність поділу (з точки зору селективності) щодо поділу специфічних молекул газу (наприклад, H_2/CH_4, H_2/N_2, H_2/CO_2), і навпаки, високоселективні полімери не демонструють високі проникні властивості [6].

Широкомасштабне використання харчових відходів як субстрату для темної ферментації створює кілька практичних наслідків і значних логістичних проблем. З точки зору збору, основна проблема полягає в необхідності надійної інфраструктури для ефективного розділення та транспортування харчових відходів від місць утворення до об'єктів переробки. Це часто передбачає координацію з різними джерелами відходів, такими як супермаркети, ресторани та домогосподарства, щоб забезпечити безперервне та адекватне постачання. Попередня обробка харчових відходів має вирішальне значення для підвищення ефективності темного бродіння. Гетерогенність відходів вимагає ефективних методів попередньої обробки, щоб збільшити

доступність ферментованих субстратів, таких як целюлоза та геміцелюлоза, і зменшити присутність небажаних забруднень, які можуть перешкоджати процесу бродіння. Ще однією важливою проблемою є інтеграція з існуючими очисними спорудами. Установки очищення твердих відходів або рідких стоків повинні бути адаптовані для ефективного прийому та обробки харчових відходів, призначених для темної ферментації. Це може включати інвестиції в інфраструктуру для обробки біогазу, розділення твердих і рідких речовин і контролю запахів. Крім того, необхідно враховувати економічні наслідки, такі як вартість впровадження та експлуатації цих адаптованих інфраструктур, а також економічну життєздатність великомасштабного виробництва біоH_2 порівняно з іншими відновлюваними джерелами енергії. Таким чином, хоча харчові відходи мають значний потенціал як субстрат для темної ферментації, їх широкомасштабна утилізація вимагає комплексного підходу, який враховує як технічні, так і логістичні аспекти, спрямовані на максимізацію енергетичної та екологічної ефективності процесу. Але використання харчових відходів як субстрату для темного бродіння для виробництва біоводню є актуальною темою досліджень [7]. Різноманіття сировинного складу призводить до пошуку специфічних технологічних рішень отримання біоводню. Оригінальним прикладом такого пошуку можуть слугувати технологічні заходи отримання водню шляхом темної ферментації органічної фракції відходів пелюшок [8], стічних побутових та промислових вод та інших сировинних джерел органічного походження (гною дійних корів, мікроводоростей та багато іншого) [9–11].

Висновки. Тема застосування темного бродіння з промислових та побутових твердих та рідких, у тому числі харчових, відходів займає у науковому світі потужну долю, про що свідчать численні науково-дослідні та промислові результати, опубліковані останнім часом у науковій літературі. І майже у кожній з таких публікацій стають гострими питання збереження навколишнього середовища, його екологічність, зменшення долі викопної сировини і перехід до альтернативних джерел енергії за рахунок видобування різноманітними методами зеленого водню. Очікується, що глобальний попит на енергію продовжить свою висхідну траєкторію в найближчі десятиліття, тим самим посилюючи тиск на енергопостачання та екологічну стійкість. Водневій енергії приділяється все більшої уваги в анаеробному зброджуванні через її унікальну чистоту. Тому, не зважаючи на те, що сьогодні має місце війна в Україні, пошук технологій видобування біоводню з безмежної кількості харчових відходів може бути увінчаний успіхом саме за рахунок створення відповідних науково-дослідних лабораторій з конкретною направленістю і цілями, використовуючи потужний потенціал науковців і

студентства від бакалаврів до аспірантів. Початок вже є [12]. А відповідні фінансові організації та спонсори мають виявити готовність до ефективного фінансування таких робіт, які вже в недалекому майбутньому можуть принести велику користь країні за рахунок видобування «зеленого» біоводню як альтернативного палива.

ЛІТЕРАТУРА

1. IEA, I. Global Hydrogen Review 2023 – Analysis – IEA [online]. 2022. https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023

2. Taggar, M. S., Kaur, A., Jain, C., Kalia, A., & Sooch, S. S. (2024). Hydrogen production via dark fermentation: a review of influential factors. Cellulose Chemistry & Technology, 58.. https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol

3. Albuquerque, M. M., Sartor, G. D. B., Martinez-Burgos, W. J., Scapini, T., Edwiges, T., Soccol, C. R., & Medeiros, A. B. P. (2024). Biohydrogen Produced via Dark Fermentation: A Review. Methane, 3(3), 500-532. https://doi.org/10.3390/methane3030029

4. Xue, S., Chen, H., Wang, F., Lv, G., Tan, L., & Liu, G. (2024). The effect of substrate acidification on the biohydrogen production by dark fermentation. International Journal of Hydrogen Energy, 49, 177-188. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.183

5. Tuluhong, A., Chang, Q., Xie, L., Xu, Z., & Song, T. (2024). Current Status of Green Hydrogen Production Technology: A Review. Sustainability, 16(20), 9070. https://doi.org/10.3390/su16209070

6. Hankel, M., Zhang, H., Nguyen, T. X., Bhatia, S. K., Gray, S. K., & Smith, S. C. (2011). Kinetic modelling of molecular hydrogen transport in microporous carbon materials. Physical Chemistry Chemical Physics, 13(17), 7834-7844. https://doi.org/10.1039/C0CP02235G

7. Tapia-Venegas, E., Ramirez-Morales, J. E., Silva-Illanes, F., Toledo-Alarcón, J., Paillet, F., Escudie, R., ... & Ruiz-Filippi, G. (2015). Biohydrogen production by dark fermentation: scaling-up and technologies integration for a sustainable system. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 14, 761-785. https://doi.org/10.1007/s11157-015-9383-5

8. El Bari, H., Lahboubi, N., Habchi, S., Rachidi, S., Bayssi, O., Nabil, N., ... & Villa, R. (2022). Biohydrogen production from fermentation of organic waste, storage and applications. Cleaner Waste Systems, 3, 100043. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100043

9. Sotelo-Navarro, P. X., & Poggi-Varaldo, H. M. (2021). Hydrogen from Dark Fermentation of the Organic Fraction of Waste Diapers: Optimization Based on Response Surface Experiments. Frontiers in Energy Research, 9, 630212. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.630212

10. Hangri, S., Derbal, K., Policastro, G., Panico, A., Contestabile, P., Pontoni, L., ... & Fabbricino, M. (2024). Combining pretreatments and co-fermentation as successful approach to improve biohydrogen production from dairy cow manure. Environmental Research, 246, 118118. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118118

11. Limongi, A. R., Viviano, E., De Luca, M., Radice, R. P., Bianco, G., & Martelli, G. (2021). Biohydrogen from microalgae: production and applications. Applied Sciences, 11(4), 1616. https://doi.org/10.3390/app11041616

12. Зубченко, Л. С., & Кузьмінський, Є. В. (2015). Аналіз продуктивності біотехнологічного отримання водню за використання мікроорганізмів з різними типами метаболізму, перспективні напрямки подальших досліджень. ScienceRise, 10(6 (15)), 47-53.

https://doi.org/10.15587/2313-8416.2015.52116

УДК 620.92

БІОМАСА ЯК ДЖЕРЕЛО ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА: ДОСВІД ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇН ТА ПЕРСПЕКТИВИ В УКРАЇНІ

А.С. Малєгіна
студент групи МгАІ-1-24, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна, e-mail: nastya.dunaenko2003@gmail.com

Анотація. Розглядається використання біомаси як відновлюваного джерела енергії в сільському господарстві, аналізується досвід європейських країн та оцінюються перспективи впровадження подібних практик в Україні. Особлива увага приділяється потенціалу аграрної біомаси, технологіям її переробки та економічним аспектам застосування. Описано технологічні процеси перетворення біомаси на біопаливо, електроенергію та тепло, включаючи спалювання, анаеробне бродіння, газифікацію та піроліз.

Окремо розглядається досвід європейських країн, таких як Німеччина, Данія та Швеція, які активно використовують біоенергетичні технології для зниження залежності від викопних палив та скорочення викидів парникових газів. Проведено порівняльний аналіз законодавчого регулювання та фінансових механізмів підтримки біоенергетики в Європі та Україні.

Ключові слова: біомаса, відновлювана енергія, сільське господарство, європейський досвід, потенціал, технології, впровадження.

BIOMASS AS A SOURCE OF RENEWABLE ENERGY FOR AGRICULTURE: EXPERIENCE OF EUROPEAN COUNTRIES AND PROSPECTS IN UKRAINE

A.S. Malehina
Student of group MgAI-1-24, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine, e-mail: nastya.dunaenko2003@gmail.com

Abstract. The article examines the use of biomass as a renewable energy source in agriculture, analyzes the experience of European countries, and evaluates the prospects for implementing similar practices in Ukraine. Special attention is given to the potential of agricultural biomass, its processing technologies, and the economic aspects of its application. The technological processes for converting biomass into biofuels, electricity, and heat are described, including combustion, anaerobic digestion, gasification, and pyrolysis.

The experience of European countries such as Germany, Denmark, and Sweden, which actively utilize bioenergy technologies to reduce dependence on fossil fuels and cut greenhouse gas emissions, is separately considered. A comparative analysis of legislative regulations and financial support mechanisms for bioenergy in Europe and Ukraine is conducted.

Keywords: biomass, renewable energy, agriculture, European experience, potential, technologies, implementation.

Вступ. Використання біомаси як відновлюваного джерела енергії набуває все більшого значення в контексті глобальних зусиль щодо зменшення залежності від викопних палив та скорочення викидів парникових газів. Європейський Союз активно інтегрує біоенергетику в свою енергетичну політику, що сприяє диверсифікації енергопостачання, створенню робочих місць та зниженню викидів CO_2. Зокрема, біомаса становить приблизно 60% від усіх відновлюваних джерел енергії в ЄС, що підкреслює її ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки та сталого розвитку.

Зростаюча потреба в енергетичній безпеці та зменшенні залежності від викопних палив наразі є дуже болючою та важливою проблемою для України, тож це ще більше стимулює пошук альтернативних джерел енергії. Біомаса, зокрема аграрна, є перспективним відновлюваним ресурсом для виробництва енергії. Європейські країни накопичили значний досвід у використанні біомаси, що може бути корисним для України, і саме тому розглядається біомаса як перспективне джерело енергії. За даними Біоенергетичної асоціації України, енергетичний потенціал біомаси в країні оцінюється в 23 мільйони тон умовного палива, де основними компонентами є рослинні залишки та енергетичні культури [1]. Розвиток біоенергетики в Україні сприятиме зменшенню залежності від імпорту природного газу та підвищенню енергетичної безпеки держави. Досвід європейських країн у використанні біомаси для енергетичних потреб демонструє ефективність та економічну доцільність таких підходів. Наприклад, у країнах Балтії частка біомаси у відновлюваній енергетиці перевищує 90%, що свідчить про високий рівень використання цього ресурсу . Вивчення та адаптація європейського досвіду може стати ключем до успішної інтеграції біоенергетичних технологій в енергетичну систему України.

Мета роботи. Метою даної роботи є комплексний аналіз використання біомаси як альтернативного джерела енергії в сільському господарстві України на основі досвіду європейських країн. Дослідження спрямоване на оцінку енергетичного потенціалу біомаси, визначення технологічних підходів до її ефективної переробки, а також розробку рекомендацій щодо інтеграції біоенергетичних технологій у національну енергетичну систему.

Результати дослідження можуть бути використані для розробки стратегічних рішень щодо інтеграції біоенергетичних технологій у сільськогосподарську галузь, підвищення енергетичної незалежності країни та формування екологічно стійкої моделі розвитку аграрного сектору.

Основний матеріал. Використання відновлюваних джерел енергії є

ключовим напрямком розвитку сучасної енергетики. Одним із найбільш перспективних видів біоенергетики є використання біомаси, що може стати ефективною альтернативою викопному паливу. Європейські країни активно застосовують біомасу для виробництва енергії, що сприяє підвищенню енергетичної незалежності та зниженню викидів парникових газів. Враховуючи значний потенціал сільськогосподарського сектору України (країна виробляє понад 100 млн. тон сільськогосподарських відходів щороку), інтеграція біоенергетичних технологій може суттєво сприяти розвитку національної енергетичної стратегії [2].

Україна має значні запаси біомаси (табл.1.), що можуть використовуватися для виробництва енергії. Основні джерела включають:

- ← Відходи сільського господарства (солома, жом, лушпиння, кукурудзяні стебла);
- ← Лісова біомаса (відходи деревообробки, гілля);
- ← Органічні відходи (харчові відходи, гній);
- ← Енергетичні культури (міскантус, верба, тополя);
- ← Біогаз (із аграрних відходів, сміттєзвалищ та стічних вод та відходи тваринництва).

Таблиця 1. – Потенціал біомаси в Україні, млн т/рік:

Джерело	**Потенціал**
Сільськогосподарські відходи	30–35
Лісова біомаса	7–10
Енергетичні культури	5–7
Біогаз	3-6

Загальний енергетичний потенціал біомаси в Україні оцінюється у 20–25 млн тон нафтового еквівалента, що може забезпечити до 15% потреб країни в енергії. Розвиток біоенергетики в Україні стримується низкою факторів, таких як недосконала нормативно-правова база, відсутність фінансування та застарілі технології. Однак прийняття Національної стратегії з розвитку біоенергетики до 2050 року передбачає стимулювання інвестицій та впровадження сучасних технологій. Прогнозується, що до 2030 року частка біоенергетики в загальному енергобалансі України може зрости до 10% [3]. Використання біомаси може сприяти зменшенню енергетичної залежності України та створенню нових робочих місць у сільській місцевості, однак для ефективного впровадження необхідні інвестиції в інфраструктуру, державна підтримка та адаптація європейського досвіду до українських реалій.

Технології використання біомаси постійно вдосконалюються, забезпечуючи отримання енергії в придатній для споживача формі й з максимально

можливою ефективністю. У загальному випадку енергія з органічних відходів отримується або фізичними, або хімічними чи мікробіологічними методами. Фізичним методом енергію отримують шляхом спалювання органічних відходів. Основою хімічного метода є використання процесів піролізу і газифікації. Найрозповсюдженішим у світі є мікробіологічний метод безвідходного виробництва – отримання біогазу анаеробним зброджуванням. Дуже цінним продуктом виробництва біогазу є отримання високоякісних органічних добрив. Пряме спалювання біомаси в атмосфері повітря або кисню – один з найбільш старих методів отримання теплової енергії. Однак існує ряд проблем при його практичному використанні, головною з них є досягнення найбільш повного згоряння палива, в результаті якого утворюються діоксин вуглецю і вода, що не завдає шкоди довкіллю. Основна промислова технологія цього напряму – пряме спалювання в котлі й генерація електроенергії в паротурбінній установці.

Порівняльні енергетичні показники традиційних енергоносіїв і біогазу наведені в табл. 2

Таблиця 2. – Порівняльні енергетичні показники традиційних енергоносіїв і біогазу

Продукт	Одиниці вимірювання	Еквівалент 1 $м^3$ неочищеного біогазу 23 МДж/$м^3$	Еквівалент 1 $м^3$ очищеного біогазу 35,2 МДж/$м^3$
Електроенергія	кВт·ч	0,62	0,94
Природний газ	м3	0,61	0,93
Вугілля	кг	0,82	1,25

Згідно з Європейською асоціацією біомаси (EUBIA), існує шість основних технологій переробки біомаси [5] :

1. Пряме спалювання (Direct combustion): Використовується для виробництва теплової та електричної енергії шляхом спалювання біомаси.
2. Анаеробне зброджування (Anaerobic digestion): Процес розкладання органічної речовини без доступу кисню з утворенням біогазу, багатого на метан.
3. Ферментація (Fermentation): Перетворення цукрів на алкогольні сполуки, такі як етанол, за допомогою мікроорганізмів.
4. Екстракція олій (Oil extraction): Отримання рослинних олій для подальшого виробництва біодизеля.
5. Піроліз (Pyrolysis): Термічний розклад біомаси без доступу кисню з утворенням біовугілля, газів та рідких продуктів.
6. Газифікація (Gasification): Перетворення біомаси на синтез-газ, що складається переважно з монооксиду вуглецю та водню.

З них в Україні ефективно працюють тільки наступні технології конверсії біомаси:

7. Спалювання – використовується для генерації тепла та електроенергії, ефективність до 85%.
8. Анаеробне бродіння – біогазові установки перетворюють органічні відходи у метан.
9. Піроліз та газифікація – отримання синтез-газу для подальшого використання в електростанціях.

Пряме спалювання біомаси в атмосфері повітря або кисню – один з найбільш старих методів отримання теплової енергії. Однак існує ряд проблем при його практичному використанні, головною з них є досягнення найбільш повного згоряння палива, в результаті якого утворюються діоксин вуглецю і вода, що не завдає шкоди довкіллю [6].

Анаеробне зброджування – це розкладання органічних речовин за участю мікроорганізмів без доступу кисню у герметичних резервуарах – метантенках. Біогаз отримують метановим бродінням різних органічних речовин рослинного і тваринного походження в біогазових установках (БГУ). З 1т (по сухій речовині) органічного бродильного матеріалу утворюється 350-400 м3 біогазу з теплотворністю 23... 25 МДж/м3 тобто 1 м3 біогазу по теплоті еквівалентний 4 кВт·год електроенергії або 1,5 кг кам'яного вугілля. В Україні роботи з анаеробного зброджування проводилися ще в 50-х роках XX ст. Так, на о. Хортиця в 1959 р. була споруджена біогазова установка, розрахована на переробку гною від 150 корів і 20 свиноматок з поросятами [4].

Піроліз та газифікація - ще однин перспективний спосіб переробки органічної сировини, що відбувається шляхом хімічного розкладання вихідних сполук на простіші компоненти під впливом високих температур без участі окисника. У результаті піролізу за нормальних умов можуть бути виділені тверді, рідкі та газоподібні речовини. Газоподібні продукти піролізу утворюють газ, що містить CH4, CO, H2 (Qнр=12–20 МДж/м3), вихід якого — до 70% маси сухої сировини за високотемпературного швидкого піролізу. ККД піролізу становить 90%. Приклад дослідження детальніше розглянуто [8].

У Європейському Союзі біомаса відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичних потреб. Згідно з дослідженнями, аграрна біомаса становить значну частку відновлюваної енергії в ЄС (Табл.3). Країни, такі як Німеччина та Швеція, активно використовують відходи сільського господарства для виробництва біогазу та біопалива. Наприклад, у Німеччині функціонує понад 9 000 біогазових станцій, що генерують понад 30 ТВт год електроенергії, які переробляють аграрні відходи в енергію. Данія розвинула комбіноване виробництво тепла та електроенергії на біомасі, що дозволяє забезпечити понад 60% потреб країни у теплі. В Європі широко застосовуються всі зазначені

раніше технології, але особливу увагу приділяють інноваційним методам, таким як піроліз та газифікація, які дозволяють отримувати високоякісні паливні продукти з біомаси. Таким чином у Франції активно розвиваються технології гібридного каталізу, що поєднують хімічні та біотехнологічні процеси для підвищення ефективності переробки біомаси. В Україні ж основна увага зосереджена на виробництві твердого біопалива, зокрема паливних брикетів та гранул. Дослідження, проведене в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», присвячене розробці процесів та обладнання для виробництва паливних брикетів з біомаси, підкреслює важливість оптимізації технологічних процесів та обладнання для підвищення ефективності виробництва.

Таблиця 3. – Розподіл аграрної біомаси

Країна	**Частка біомаси в енергобалансі, %**
Німеччина	12%
Данія	35%
Швеція	40%

Досвід європейських країн демонструє, що біомаса є одним із найбільш перспективних відновлюваних джерел енергії, особливо для сільського господарства. Україна має всі необхідні ресурси для розвитку біоенергетики, проте для її ефективного впровадження необхідні інвестиції, державна підтримка та розвиток інфраструктури. Використання біомаси у сільському господарстві сприятиме енергетичній незалежності, зменшенню екологічного навантаження та підвищенню економічної ефективності аграрного сектору.

Успішна інтеграція біоенергетичних технологій у національну енергетичну систему потребує комплексного підходу, що включає законодавчу підтримку, фінансові стимули, розвиток інфраструктури та впровадження сучасних технологій

.

Таблиця 4. – Рекомендації щодо інтеграції біоенергетичних технологій у національну енергетичну систему України

Законодавче та нормативне забезпечення	Розробка та імплементація Національної стратегії з біоенергетики Включення біоенергетики як пріоритетного напрямку у Національну енергетичну стратегію України до 2050 року. Визначення квот на використання біоенергії у загальному енергобалансі країни. Гармонізація законодавства України з європейськими стандартами (RED II, Fit for 55). Встановлення "зелених тарифів" для біогазу та біомаси. Спрощення процесу сертифікації біопалива.

	Запровадження податкових пільг для с.-г. підприємств, що використовують біоенергетику. Запровадження мінімального вмісту біопалива у дизельному пальному (наприклад, 10-15% біодизелю). Стимулювання переходу сільськогосподарської техніки на біопаливо.
Фінансова та інвестиційна підтримка	Створення Державного фонду підтримки біоенергетичних проєктів Надання грантів та субсидій для фермерів та підприємств, що використовують біоенергетику. Співпраця з ЄС та міжнародними організаціями (Світовий банк, EBRD, USAID) для залучення інвестицій. Підтримка малих та середніх підприємств (МСП). Спрощення податкового навантаження на фермерів, що використовують біоенергію.
Розвиток інфраструктури та технологічних рішень	Будівництво біогазових станцій на базі сільськогосподарських підприємств. Використання відходів тваринництва та рослинництва для виробництва біогазу. Стимулювання розвитку локальних енергетичних кластерів на основі біоенергетики. Модернізація теплових електростанцій (ТЕС) для використання біомас. Перехід частини ТЕС з вугілля на пелети та агробіомасу. Будівництво інфраструктури для транспортування та зберігання біопалива.Організація логістичних центрів для зберігання та переробки біомаси.
Освіта, наука та інформаційна політика	Підготовка спеціалістів у сфері біоенергетики. Впровадження навчальних програм у технічних університетах. Організація курсів підвищення кваліфікації для фермерів та підприємців. Підтримка наукових досліджень у галузі біоенергетики Розвиток інноваційних біоенергетичних кластерів у співпраці з університетами та науковими центрами. Організація форумів, конференцій та виставок з біоенергетики.Створення державної платформи для обміну досвідом між підприємцями та інвесторами.

Реалізація запропонованих заходів дозволить:

→ Збільшити частку біоенергетики в енергобалансі України до 15-20% до 2035 року.

→ Знизити імпорт викопного палива, зокрема природного газу.

→ Підвищити енергетичну незалежність сільськогосподарських підприємств.

→ Створити нові робочі місця у сфері біоенергетики та логістики.

→ Зменшити рівень викидів парникових газів, що сприятиме боротьбі з кліматичними змінами.

Завдяки інтеграції біоенергетичних технологій Україна зможе не лише забезпечити власні потреби в енергії, а й стати **к**лючовим експортером біопалива на європейські ринки.

Висновки. В ході дослідження було виконано аналіз обсягів утворення біомаси в різних регіонах України, проаналізовані ресурсні потенціали шляхом класифікації основних джерел біомаси держави, її кількості та якості за показниками енергетичної щільності та доступності. Проведено оцінку ефективності методів основних технологій перетворення біомаси (таких як: спалювання, анаеробне бродіння, піроліз, газифікація), з точки зору енергетичного виходу, екологічного впливу та економічної доцільності. Використання біомаси є перспективним напрямком розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Досвід європейських країн демонструє ефективність біоенергетичних технологій у скороченні залежності від викопних палив. Широке застосування в Україні нових технологій у біоенергетиці дасть можливість замінити четверту частину споживаного природного газу, оскільки біометан можна використовувати для вироблення теплової та електричної енергії для забезпечення потреб аграрного сектору. З одного боку, розвиток енергетики потребує значних витрат (темпи зростання тарифів на електроенергію і вартість Гкал теплової енергії збільшуватимуться), а з іншого використання біомаси може суттєво знизити енергетичну залежність України та сприяти створенню нових робочих місць у сільській місцевості.

Проте біоенергетика України в її поточному стані на найближчу перспективу поки не здатна стати безальтернативною заміною іншій енергетиці, однак уже тепер може стати важливим елементом якщо не подолання, то бодай не поглиблення дефіциту на вуглеводневу сировину та запорукою енергобезпеки споживачів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Біоенергетичний потенціал аграрного сектору і промисловості: джерело розвитку відновлюваної енергетики в Україні [Електронний ресурс] // Національний інститут стратегічних досліджень. – 2023.
2. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в розвитку сучасного суспільства» (15-16 лютого 2019 р.) [Електронний ресурс] // Національний університет біоресурсів і природокористування України. – 2019.
3. Біоенергетична асоціація України. Перехід до біоенергетики в Україні. Available at: https://uabio.org/en/bioenergy-transition-in-ukraine/
4. Основи поновлюваної енергетики [Електронний ресурс] // Електронна бібліотека Таврійського державного агротехнологічного університету.
5. European Commission. Biomass. Available at:

https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/biomass_en (Accessed: 31 March 2025).

6. Держенергоефективності України. "Стан та перспективи розвитку біоенергетики". Київ, 2023.

7. Weremczuk, A. (2023). The Energy Potential of Agricultural Biomass in the European Union. Journal of Agribusiness and Rural Development, 4(4).Agecon Search

8. Біоенергетична Асоціація України (UABio). "Біомаса як енергетичний ресурс". Київ, 2022.

9. Geletukha, G., Zheliezna, T., & Kucheruk, P. (2017). Energy Potential of Biomass in Ukraine. *Bioenergy Association of Ukraine*.MDPI+1Nefco+1

10. Sulewski, P., Wąs, A., & Kobus, P. (2022). The Potential of Ukrainian Agriculture's Biomass to Generate Renewable Energy in the Context of Climate and Political Challenges—The Case of the Kyiv Region. *Energies*, 15(18), 6547.MDPI+3Semantic Scholar+3ResearchGate+3

11. European Commission. (2019). A Sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the Connection between Economy, Society and the Environment.

12. IEA Bioenergy. Country Report 2021 – European Union. Available at: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_EU28_final.pdf (Accessed: 31 March 2025).

13. Center for Strategic & International Studies (CSIS). Developing Renewable Energy in Ukraine. Available at: https://www.csis.org/analysis/developing-renewable-energy-ukraine (Accessed: 31 March 2025).

14. MDPI. Baltic Countries and Biomass Energy Utilization. Energies, 2022. Available at: https://www.mdpi.com/1996-1073/15/18/6756 (Accessed: 31 March 2025).

15. International Renewable Energy Agency (IRENA). "Bioenergy for Sustainable Development". Abu Dhabi: IRENA, 2021.

16. Національна енергетична стратегія України до 2050 року. Міністерство енергетики України, 2023.

17. Bridgwater, A.V. "Biomass Conversion Technologies". Elsevier, 2021.

18. Bioeconomy For Change. Biomass Processing Technologies: Constantly Innovating. URL: https://www.bioeconomyforchange.eu/en/biomass-processing-technologies-constantly-innovating.

19. Troshin A. G. Development of Processes and Equipment for Manufacture of Fuel Briquettes from Biomass // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. URL: https://journals.uran.ua/eejet/article/view/2874.

20. Korniyenko I., Yas L. Bioconversion of Organic Waste – European Experience and Ukrainian Practices // Technologies and Engineering. URL: https://jrnl.knutd.edu.ua.

21. Yaheliuk S. The Improved Technology of Biomass Processing to Obtain Products of Various Applications // Agricultural Machines. URL: https://eforum.lntu.edu.ua.

22. Servoday Group. High-Energy Biomass Conversion for Sustainable Energy with SERVODAY Torrefaction Plant | Ukraine. URL: https://servoday.com.

УДК 539.3, 004.94

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ЗАДАЧІ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ТВЕРДИХ ТІЛ

Д.В. Гаркавенко[1], Б.А. Багуж[2], М.Д. Корнієнко[3]
[1]асистент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: harkavenko.d.v@nmu.one
[2]аспірант групи 132А-22-4, e-mail: bahuzh.b.a@nmu.one
[3]студентка групи 132-23-1, e-mail: korniienko.m.d@nmu.one
[1,2,3]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі розглядається процес комп'ютерного моделювання контактної задачі взаємодії твердих тіл з урахуванням їх механічних властивостей та умов навантаження. Особливу увагу приділено аналізу напружено-деформованого стану матеріалів у зоні контакту та пошуку шляхів підвищення їх стійкості до руйнування. Застосування сучасного програмного забезпечення дозволяє точно змоделювати фізичні процеси, що відбуваються під час взаємодії тіл, та оптимізувати конструкційні матеріали з урахуванням умов експлуатації. Отримані результати можуть бути використані у машинобудуванні, авіації, енергетиці та інших галузях, де важливими є довговічність і надійність матеріалів.

Ключові слова: контактна взаємодія, чисельне моделювання, тверді тіла, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан, ANSYS Workbench.

COMPUTER MODELING OF THE CONTACT PROBLEM OF THE PROCESS OF INTERACTION OF SOLIDS

Dmytro Harkavenko[1], Boris Bahuzh[2], Maria Korniienko[3]
[1]Assistant, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: harkavenko.d.v@nmu.one
[2]Postgraduate, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: bahuzh.b.a@nmu.one
[3]Student, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: korniienko.m.d@nmu.one

Abstract. The paper deals with the process of computer modeling of the contact problem of interaction of solids with regard to their mechanical properties and loading conditions. Particular attention is paid to the analysis of the stress-strain state of materials in the contact zone and the search for ways to increase their resistance to fracture. The use of modern software makes it possible to accurately model the physical processes that occur during the interaction of bodies and to optimize structural materials taking into account the operating conditions. The results obtained can be used in mechanical engineering, aviation, energy and other industries where durability and reliability of materials are important.

Keywords: contact interaction, numerical simulation, solid bodies, finite element method, stress-strain state, ANSYS Workbench.

Вступ. Контактні задачі механіки твердого тіла відіграють важливу роль у дослідженні взаємодії деталей машин, вузлів конструкцій, інструментів та елементів з'єднань. У реальних умовах експлуатації поверхні тіл, що контактують, зазнають значних механічних навантажень та локальних деформацій. Відповідно, їх аналіз потребує не лише теоретичних знань, але й практичних інструментів для кількісного прогнозування поведінки матеріалу.

Сучасні інженерні завдання неможливо ефективно вирішити без використання комп'ютерного моделювання, що дає змогу створювати віртуальні прототипи, досліджувати силові впливи та оптимізувати матеріальні властивості без проведення дорогої серії експериментів. Застосування потужного програмного забезпечення (CAE-систем), зокрема таких як ANSYS, значно розширює можливості дослідника у вивченні контактних напружень, зон концентрацій, поведінки тіл під дією змінних навантажень.

Одним із напрямів удосконалення контактних вузлів є розробка та підбір матеріалів із підвищеною тріщиностійкістю та опором до руйнування. Це особливо актуально для відповідальних конструкцій, де вихід з ладу навіть одного елемента може спричинити аварійні наслідки. Отже, інтеграція комп'ютерного аналізу та інженерного матеріалознавства відкриває шлях до створення нових рішень для підвищення надійності технічних систем.

У межах цієї роботи здійснюється моделювання типової контактної задачі, аналізується розподіл напружень у зоні контакту, а також вивчається вплив варіації матеріальних параметрів на поведінку твердих тіл при взаємодії. Зроблено спробу сформулювати рекомендації щодо вибору матеріалів або покриттів, які забезпечують кращу стійкість до руйнування в умовах складного навантаження.

Метою роботи є моделювання процесу контактної взаємодії твердих тіл з використанням сучасного програмного забезпечення, а також аналіз впливу геометричних, матеріальних і силових параметрів на стан напружень у зоні контакту з метою розробки підходів до створення матеріалів із підвищеним опором до руйнування.

Матеріал і результат досліджень. У нинішніх умовах, коли Україна перебуває в стані війни та стикається з масштабними викликами, особливої значущості набувають дослідження, спрямовані на створення новітніх матеріалів із покращеними механічними характеристиками. Такі матеріали є надзвичайно важливими для проєктування надійних, довговічних конструкцій військової техніки, захисних систем та елементів інфраструктури, здатних витримувати інтенсивні механічні навантаження в екстремальних умовах.

У цій роботі основний акцент зроблено на дослідженні можливостей

сучасного програмного забезпечення для моделювання поведінки матеріалів в умовах експлуатації, а також для прогнозування їхніх властивостей та оптимізації процесів виготовлення. Отримані результати можуть стати основою для подальшого створення ефективних сплавів і композитів, які забезпечать підвищену тривкість і надійність технічних об'єктів як у бойових умовах, так і під час відбудови країни у післявоєнний період.

Для побудови моделі процесу формування уламкової оболонки та визначення вхідних параметрів контактної взаємодії (рис. 1) було використано програмний комплекс ANSYS Workbench. Ця платформа інтегрує низку чисельних інструментів, зокрема засоби створення геометричних моделей, побудови сіток, а також використання явних і неявних числових вирішувачів. Така інтеграція в єдиному середовищі дозволяє зменшити загальний час розрахунків, покращити точність аналізу та підвищити ефективність інтерпретації отриманих результатів. [1].

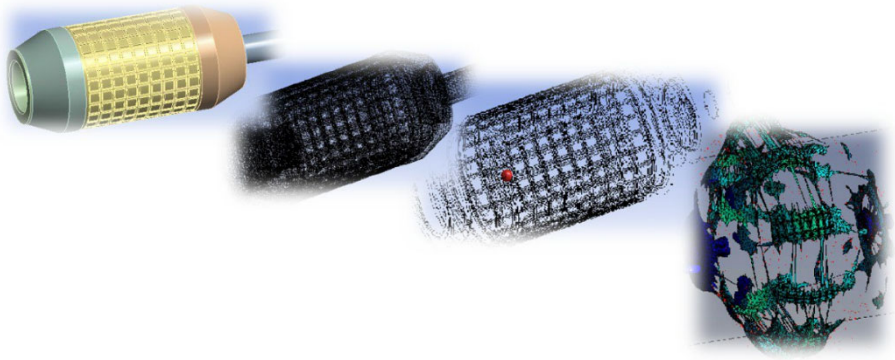


Рис. 1. – Моделювання вибуху бойової частини чисельним методом

У чисельній моделі враховано емпіричні характеристики матеріалів, що дає змогу частково відтворити основні фізичні ефекти, характерні для аналізованих процесів. Застосування рівняння стану Джонса—Вілкінса—Лі у поєднанні з моделлю горіння забезпечує високу точність у моделюванні детонаційних явищ.

У ході чисельного моделювання з використанням методу скінченних елементів були визначені основні параметри, необхідні для аналітичного опису контактної задачі, яка характеризує взаємодію двох твердих тіл. Спираючись на ці попередньо отримані дані, в середовищі ANSYS Workbench було проведено серію чисельних експериментів із варіюванням матеріальних характеристик моделі. Це дозволило дослідити, як різні механічні властивості впливають на розподіл напружень та деформацій у зоні контакту (рис. 2).

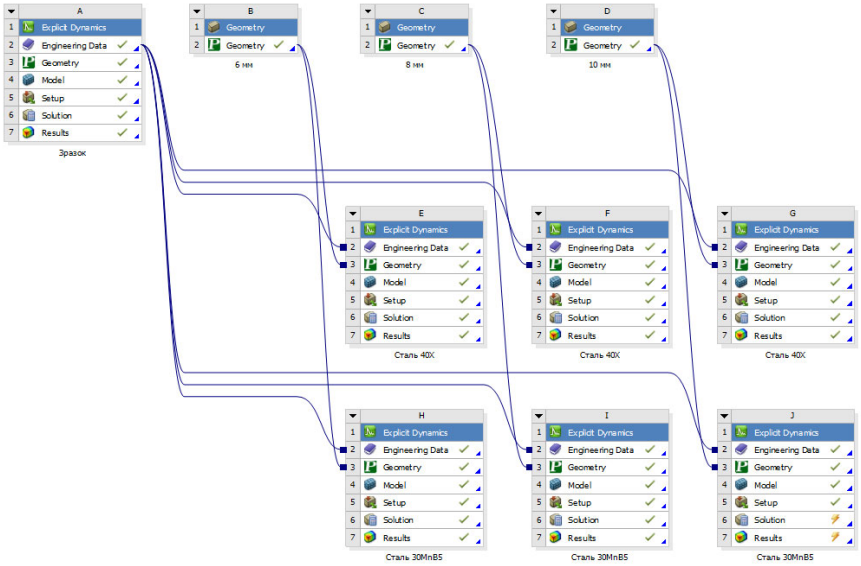


Рис. 2. – Встановлені вихідні параметри для контактної задачі

Для проведення випробувань було обрано конструкційні леговані сталі марок 40Х та 30MnB, які широко використовуються у відповідальних вузлах машинобудування завдяки поєднанню міцності, зносостійкості та технологічності. Основний акцент зроблено на вивченні властивостей сталі 30MnB (рис. 3) — борвмісного сплаву, що відзначається високим потенціалом зміцнення під час термічної обробки, зокрема гартування та наступного відпуску.

Ця сталь демонструє однорідну тонкодисперсну мікроструктуру, що є результатом правильно підібраного режиму термічної обробки. Завдяки цьому забезпечується підвищена зносостійкість, особливо до абразивного впливу, що робить її придатною для виготовлення елементів, які працюють у важких умовах тертя та ударних навантажень.

Згідно з механічними характеристиками, гранична міцність сталі 30MnB сягає 800 МПа, а межа плинності — 650 МПа [2], що відповідає вимогам до матеріалів, які використовуються в динамічно навантажених конструкціях. Крім того, наявність бору в складі сприяє підвищенню прокаліюваності, дозволяючи отримати загартований шар великої глибини без істотного впливу на пластичність матеріалу.

У межах дослідження ця сталь була обрана як перспективний матеріал для компонентів, які зазнають інтенсивної контактної взаємодії, з метою оцінки її поведінки при різних навантаженнях у чисельному моделюванні.

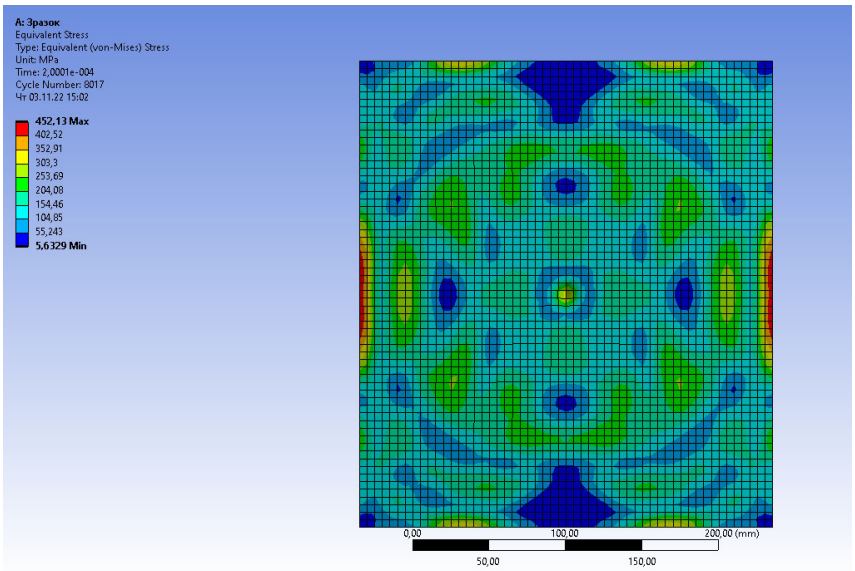


Рис. 3. – Результати чисельного моделювання контактної взаємодії

Висновки. У роботі представлено результати чисельного моделювання процесів контактної взаємодії для конструкційних легованих сталей марок 40Х та 30MnB. Отримані дані відображають особливості розподілу напружено-деформованого стану та дозволяють оцінити ефективність використання зазначених матеріалів в умовах динамічних навантажень [3]. Особливу увагу приділено сталі 30MnB як перспективному борвмісному матеріалу з високою зносостійкістю та однорідною мікроструктурою після термічної обробки. Результати моделювання виконані із застосуванням сучасного програмного забезпечення ANSYS Workbench. Водночас наголошується на необхідності подальших натурних випробувань для валідації чисельних моделей, підтвердження достовірності прогнозованих характеристик та уточнення умов руйнування матеріалів у реальному середовищі експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Азюковський О.О., Гаркавенко Д.В., Грищак В.З., Зіборов К.А., Федоряченко С.О., Однорал М.В. (2023) Аналітичний підхід до розв’язку задач нелінійної динаміки систем із змінними за часом параметрами за умови реакції зовнішнього середовища. Національний ТУ «Дніпровська політехніка», Збірник наукових праць НГУ № 72, 186 с. Доступний за посиланням: https://doi.org/10.33271/crpnmu/72.186.

2. Younes, R., Hallal, A., Fardoun, F., and Chehade, F.H., "Comparative Review Study on Elastic Properties Modeling for Unidirectional Composite Materials", in Hu, N., Composites and Their Properties, Chapter 17, 2012.

3. Федоряченко С.О., Гаркавенко Д.В. (2023) Кінематика руху кулі та сердечника під час проникнення у перешкоду. Електронний збірник тез доповідей. XX міжнародна науково-технічна конференція «Потураївські читання». НТУ «Дніпровська політехніка», 66 с. URL: https://science.nmu.org.ua/ua/ndc/sector_nttm/poturaev-readings/thesiz.pdf

УДК 625.7/.8, 625.745.1/.2

ПІДХОДИ З РОЗРАХУНКУ ГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОПРОПУСКНИХ СПОРУД З МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИЙ ЕЛЕМЕНТІВ

М.В. Гаркуша[1]

[1]доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, e-mail: mykola.harkusha@ntu.edu.ua

[1]Національний транспортний університет, Київ, Україна

Анотація. У роботі розглядаються підходи з розрахунку гідравлічних характеристик водопропускних споруд з металевих гофрованих конструкцій методом скінченний елементів. Застосування комп'ютерних програм є засобом, за допомогою якого проєктувальник може приблизно визначити, яка конструкція водопропускної споруди є життєздатною в даній ситуації, визначивши ефективність існуючих водопропускних споруд і визначити їх гідравлічні характеристики та змоделювати розсіювання енергії води, для визначення розмиву води на виході з водопропускної споруди.

Ключові слова: гідравлічна характеристика, водопропускна споруда, металеві гофровані конструкції, метод скінченних елементів, проєктування.

APPROACHES TO CALCULATING THE HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF WATERPROOFING STRUCTURES MADE OF METAL CORRUGATED STRUCTURES USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Mykola Harkusha[1]

[1] Ph.D., Associate Prof., Department of Bridges, Tunnels and Hydrotechnical Structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: mykola.harkusha@ntu.edu.ua

Abstract. The paper examines approaches to calculating the hydraulic characteristics of culverts made of corrugated metal structures using the finite element method. The use of computer programs is a means by which the designer can approximately determine which culvert design is viable in a given situation, determining the efficiency of existing culverts and determining their hydraulic characteristics and modeling the dissipation of water energy to determine the water erosion at the outlet of the culvert.

Keywords: hydraulic characteristics, culvert, corrugated metal structures, finite element method, design.

Вступ. Забезпечення належної роботи дорожніх водопропускних споруд з металевих гофрованих конструкцій є невід'ємною частиною проєктування автомобільних доріг. Вибір підходів проєктування дорожніх водопропускних споруд впливає на визначення основних деформаційних характеристик. А наявність надлишку води на проїзній частині негативно впливає на

фізико-технічні властивості матеріалів, з яких вона побудована, та потребує належного водовідведення, а неспроможність водопропускних споруд належного пропуску води спричинює ерозію дорожньої конструкції та ослаблення земляного полотна з подальшим руйнуванням всієї автомобільної дороги.

Мета роботи полягає в аналізі підходів з розрахунку гідравлічних характеристик водопропускних споруд з металевих гофрованих конструкцій методом скінченний елементів.

Матеріал і результат досліджень. Обчислювальна гідродинаміка (computational fluid dynamics — CFD) використовує числовий аналіз і структури даних для прогнозування та моделювання потоків. Код CFD платформи FLOW-3D є програмним пакетом, який використовувався для моделювання потоку завдяки його високій продуктивності та точності [1 — 4]. Цей код був відкалібрований, підтверджений і ефективно використовувався для моделювання та прогнозування водопропускних потоків і аналізу процесу розмиву вниз за течією з високою точністю [5 — 7]. FLOW-3D також було перевірено та використано для проектування гідравлічних конструкцій, що розсіюють енергію, таких як резервуари для заспокоєння, щоб зменшити ризик розмиву та ерозії в структурах випуску [3].

У програмному комплексі FLOW-3D використовується варіант нестисливої рідини з однією рідиною імітувати водну гладь. Для нестисливої в'язкої рідини руху використано тривимірне усереднене рівняння за Рейнольдсом Нав'є-Стокса (Reynolds-averaged Navier Stokes — RANS). Відповідне рівняння неперервності полягає в наступному [8]:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = R_{DIF} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left(uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y + \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left(uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y + \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left(uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y + \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4)$$

де RDIF — турбулентна дифузія;

P — середній гідродинамічний тиск;

fx, fy і fz — в'язкі прискорення;
Gx, Gy і Gz — тіло прискорення;
ρ — густина рідини;
VF — об'ємна частка;
Ax, Ay і Az — частки площі;
x, y та z — декартові координати;
u, v, і w — компоненти швидкості.

Рух транспортування осаду (занесення, завислий стан, осідання та навантаження на пласт) було оцінено шляхом прогнозування процесу адвекції, ерозії та осадження за допомогою рівнянь, описаних Вей Г. та ін [9].

Метод об'єму рідини (volume of fluid — VOF) використовувався для застосування правильних граничних умов на межі розділу та відстеження межі розділу рідин через довільні деформації [6]. Гідродинамічний аналіз проводився на основі методології представлення двофазної площі/об'єму перешкод (FAVOR) [6, 10]. Цей метод дозволяє відстежувати межу розділу рідин через довільні деформації та застосовувати правильні граничні умови на межі розділу [6, 11].

У програмному комплексі OpenFOAM швидкість і тиск є важливими параметрами, які можна використовувати для порівняння [12].

Для розв'язування нестисливої в'язкої рідини використовуються рівняння двофазної течії нестисливої N-S рівняння (усереднені за Рейнольдсом рівняння Нав'є-Стокса) [13]:

$$\nabla \times u = 0$$

$$\frac{\partial \rho u}{\P t} + \nabla \times (\rho u u) - \nabla \times \left((\mu + \mu_t) S\right) = -\nabla p + \rho g + \sigma K \frac{\nabla \alpha}{|\nabla \alpha|} \qquad (5)$$

де u — векторне поле швидкості;
p — поле тиску;
μt — турбулентна вихрова в'язкість;
α — функція об'ємної частки для двох рідин, визначена як: $\alpha = \begin{cases} 0 & \text{об'єм, який займає повітря} \\ 1 & \text{об'єм, який займає вода} \end{cases}$;

S — тензор швидкості деформації, $S = \frac{1}{2} \nabla u + \nabla u^T$;

σ — поверхневий натяг;
K — кривизна поверхні.

Модель турбулентності виражена рівнянням транспорту для моделі k-ω SST [14]:

— кінематична вихрова в'язкість:

$$\mu_t = \frac{\rho \alpha_1 k}{max(\alpha_1 w, SF_2)} \tag{6}$$

— кінетична енергія турбулентності:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k U_i)}{\partial x_i} = P_k - \beta^* \rho k w + \frac{\partial}{\partial x_i}\left[(\mu + \sigma_k \mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_i}\right] \tag{7}$$

— питома швидкість дисипації:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k U_i)}{\partial x_i} = \\ = \alpha S^2 - \beta \rho w^2 + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu + \sigma_w \mu_t)\frac{\partial w}{\partial x_j}\right] + 2(1 - F_1)\rho \sigma_{w2}\frac{1}{w}\frac{\partial k}{\partial x_i}\frac{\partial w}{\partial x_i} \tag{8}$$

де k — турбулентна кінетична енергія;
μt — коефіцієнт турбулентної в'язкості;
w — швидкість дисипації;
σij — дельта Кронекера;
τij — тензор напруження Рейнольдса $\left[= \mu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\rho k \sigma_{ij}\right]$.

За допомогою методу скінченних елементів можливе моделювання водопропускальної труби в умовах вільного потоку та підпору за допомогою одного з найсучасніших програмних комплексів — Flow 3D [15], щоб продемонструвати концепцію контролю входу та випуску під час проєктування водопропускальної труби. Може бути корисним мати більш точне розуміння проєктування дорожньої водопропускальної труби, дивлячись на результати моделювання з переходами між керуванням входом і випуском. Це моделювання починається з імітації труби діаметром 1050 мм, на вході в водопропускальну трубу швидкість потоку Q = 2,8 м^3/с/м.

Суть моделювання показує, що потік проходить через критичну глибину на вході в трубу з надкритичним потоком уздовж усієї труби (рис. 1), моделювання дає можливість підняти стіну - гасник (водобійну стінку) нижче за течією, що призводить до значного підпору, який занурює всю трубу (рис. 2). Цікаво спостерігати, що рівень верхньої води піднімається вгору,

оскільки його рівень тепер контролюється високим рівнем води на виході водопропускної труби (рис. 3).

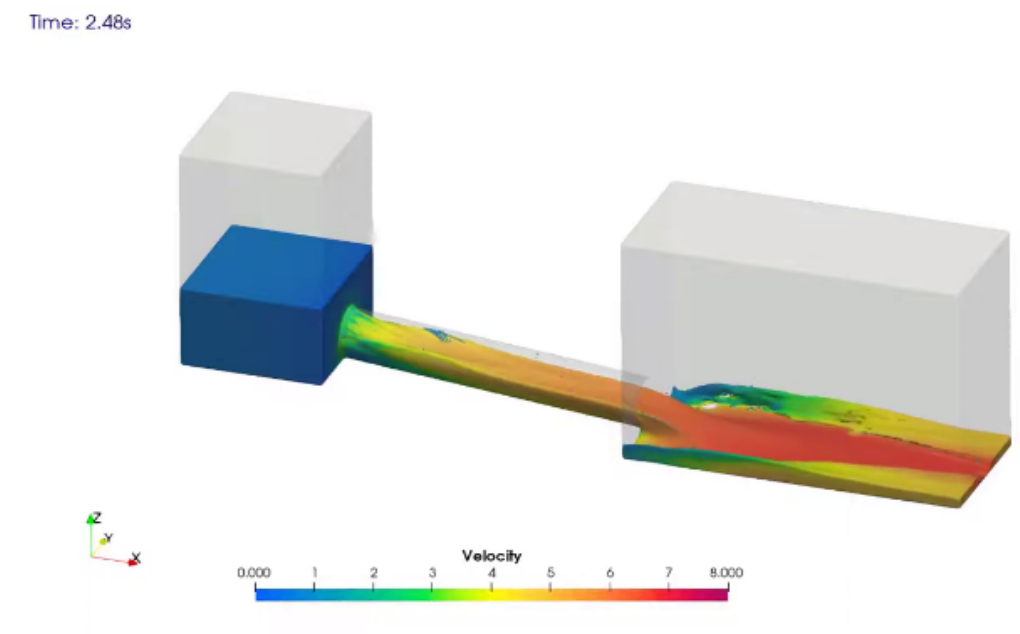


Рис. 1. – Початковий потік через водопропускну споруду

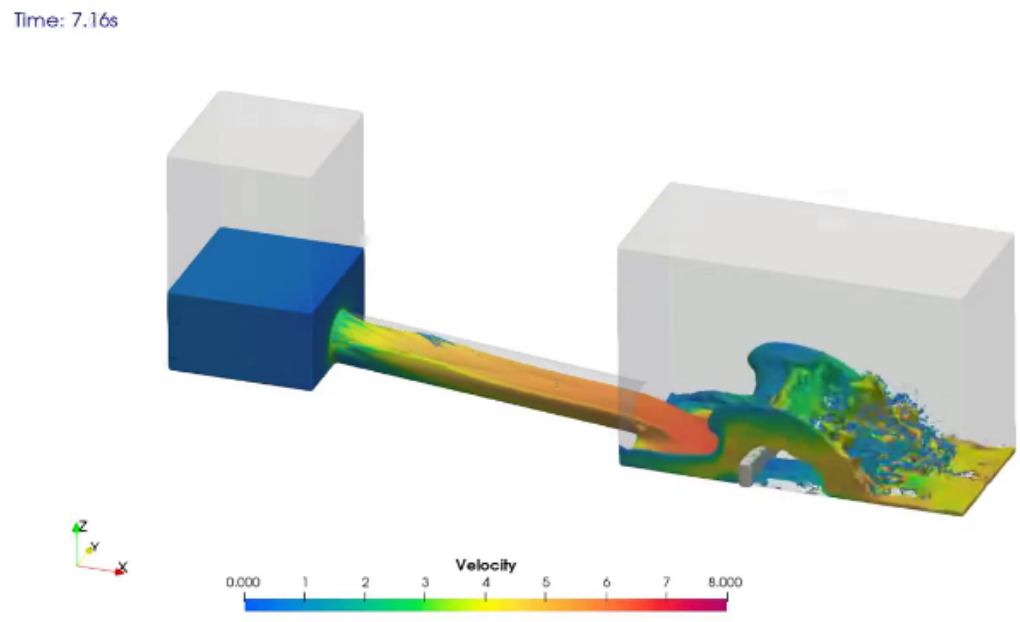


Рис. 2. – Підняття водобійної стінки нижче за течією

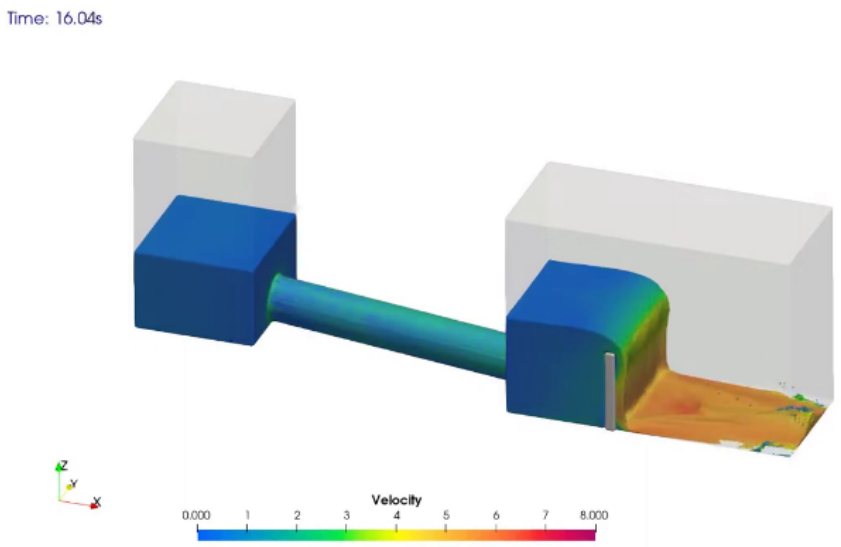


Рис. 3. – Значне підняття водобійної стінки нижче за течією

А потім відбувається опускання стіни-гасника (водобійної стінки), і потік знову повертається до початкового потоку. Наприкінці моделювання рівень води повертається приблизно до того самого рівня, що й на початку моделювання (рис. 4). Моделювання дає можливість візуалізувати перехід між двома механізмами управління потоком.

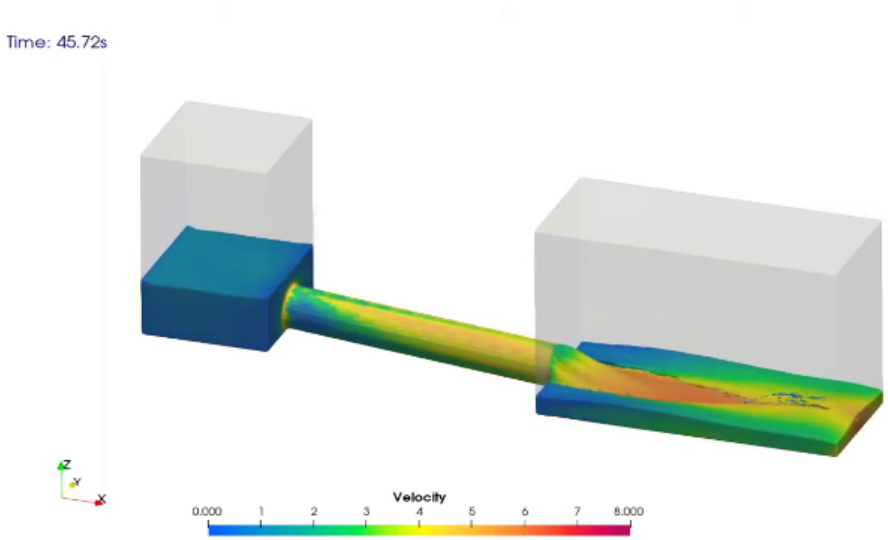


Рис.4. – Опускання водобійної стінки до початкового положення

Висновки. Сучасні програмні комплекси відіграють важливу роль у розробці нових дорожніх водопропускних споруд. Застосування програмних комплексів дає можливість змоделювати, перевірити моделі гідродинаміки, розмиву та транспортування осаду та використання їх для проєкту-

вання. Це дає можливість забезпечити надійність дорожньої водопропускної споруди з прогнозувавши її поводження під час експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kim D. G. (2007). Numerical analysis of free flow past a sluice gate. KSCE J. Civ. Eng. 11 (2): 127–132. https://doi.org/10.1007/BF02823856.

2. Kim S., K. Yu B. Yoon and Y. Lim (2012). A numerical study on hydraulic characteristics in the ice harbor-type fishway. KSCE J. Civ. Eng. 16 (2): 265–272. https://doi.org/10.1007/s12205-012-0010-5.

3. Mohammed S. R., B. K. Nile and W. H. Hassan (2020). Modelling stilling basins for sewage networks. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 671 (1): 012111. https://doi.org/10.1088/1757-899X/671/1/012111.

4. Olsen N. R. B. and G. Hillebrand (2018). Long-time 3D CFD modeling of sedimentation with dredging in a hydropower reservoir. J. Soils Sediments 18 (9): 3031–3040. https://doi.org/10.1007/s11368-018-1989-0.

5. Karimpour S., S. Gohari and M. Yasi (2020). Experimental and numerical investigation of blockage effects on flows in a culvert. J. Hydraul. 15 (2): 1–14. https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.211670.1425.

6. Taha N., M. M. El-Feky, A. A. El-Saiad, and I. Fathy. (2020). Numerical investigation of scour characteristics downstream of blocked culverts. Alexandria Eng. J. 59 (5): 3503–3513. https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.05.032.

7. Othman Ahmed K., A. Amini, J. Bahrami, M. R. Kavianpour, and D. M. Hawez (2021). Numerical modeling of depth and location of scour at culvert outlets under unsteady flow conditions. J. Pipeline Syst. Eng. Pract. 12 (4): 04021040. https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000578.

8. Mostafazadeh-Fard, Saman & Samani, Zohrab (2023). Dissipating Culvert End Design for Erosion Control Using CFD Platform FLOW-3D Numerical Simulation Modeling. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice. 14. 10.1061/JPSEA2.PSENG-1373.

9. Wei G., J. Brethour, M. Grünzner, and J. Burnham (2014). The sedimentation scour model in FLOW-3D. Flow Science Rep. No. 03-14. Santa Fe, NM: Flow Science Inc.

10. Hirt C. W., and B. D. Nichols (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. J. Comput. Phys. 39 (1): 201–225. https://doi.org/10.1016/0021-9991(81)90145-5.

11. Flow Science, Inc. (2016). FLOW-3D version 11.2 user manual. Los Alamos, NM: Flow Science.

12. Zhang Ruike, J. Yee-chung & Wu, Peng (2019). NUMERICAL SIMULATION OF CULVERT FLOW USING OPENFOAM. 390-398. 10.3850/38WC092019-0168.

13. Liu X., and Garc´ıa M. (2006). Numerical simulation of local scour with free surface and automatic mesh deformation. In Proceedings of World Environmental and Water Resource Congress, Omaha, NE.

14. Christopher J.G. (2017). OpenFOAM User Guide version 5.0. OpenFOAM Foundation Ltd, Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported License.

15. Сторінка компанії FLOW3D. – Режим доступу: https://www.flow3d.com/ (дата звернення: 24.03.2025).

УДК 620.17:519.6:669.14

ОПТИМІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ SOLIDWORKS

О.М. Гумен[1], Н.А. Тихолаз[2], М.Я. Втерковський[3]

[1] д.т.н., професор кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки (НГІтаКГ), Фізико-математичний факультет, e-mail: gumens@ukr.net

[2]студентка групи НН-41 кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона, e-mail: nadiatiholaz907@gmail.com

[3]доктор філософії, асистент кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона, e-mail: m.vterkovskiy@gmail.com

[1,2,3]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Анотація. У роботі розглядається оптимізація аналізу механічних властивостей матеріалів за допомогою SolidWorks Simulation. Для моделювання використано циліндричний зразок зі сталі ASTM A36, згідно за стандартом ASTM E8. Симуляція розтягу з навантаженням 5000 Н показала максимальне напруження фон Мізеса 418,7 МПа, що перевищує межу текучості (250 МПа), вказуючи на локальну пластичну деформацію. Максимальне подовження склало 6,781 мм, а деформація в робочій зоні — 0,1–0,2%. Результати підкреслюють необхідність оптимізації геометрії зразка для зменшення концентрації напружень і підтверджують ефективність SolidWorks для прогнозування поведінки матеріалів.

Ключові слова: Механічні властивості, SolidWorks Simulation , ASTM A36, деформація.

OPTIMIZATION OF MECHANICAL PROPERTIES ANALYSIS OF MATERIALS USING SOLIDWORKS

Olena Gumen[1], Nadiia Tykholaz[2], Mykhailo Vterkovskyi[3]

[1] Doctor of Sciences, Professor, Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics, Faculty of Physics and Mathematics, e-mail: gumens@ukr.net

[2]Student of group NN-41, Department of High-Temperature Materials and Powder Metallurgy, E.O. Paton Education and Research Institute of Materials Science and Welding, e-mail: nadiatiholaz907@gmail.com

[3]Ph. D., assistant of the Department of High-Temperature Materials and Powder Metallurgy, E.O. Paton Education and Research Institute of Materials Science and Welding, e-mail: m.vterkovskiy@gmail.com

[1,2,3]National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Abstract. This study focuses on optimizing the analysis of mechanical properties of materials through SolidWorks Simulation. A cylindrical specimen made of ASTM A36 steel was modeled in accordance with the ASTM E8 standard. Tensile simulation with an applied load of 5000 N revealed a maximum Von Mises stress of 418.7 MPa, exceeding the material's yield strength (250 MPa), indicating localized plastic deformation. The maximum displacement reached 6.781 mm, while the strain in the working zone ranged from 0.1% to 0.2%. The findings highlight the need for specimen geometry optimization to mitigate stress concentrations and demonstrate the efficacy of SolidWorks in predicting material behavior.

Keywords: Mechanical properties, SolidWorks Simulation, ASTM A36, deformation.

Вступ. Сучасне матеріалознавство активно використовує передові технології для дослідження властивостей матеріалів, що дозволяє значно прискорити процеси розробки та оптимізації нових матеріалів із заданими характеристиками. Одним із таких інструментів є CAD-системи, зокрема SolidWorks, які забезпечують можливість моделювання механічних властивостей експериментальних зразків із високою точністю. Використання симуляцій у SolidWorks дає змогу прогнозувати поведінку матеріалів під різними навантаженнями, аналізувати їх деформацію, міцність, втомні характеристики та інші параметри без необхідності виготовлення фізичних зразків на ранніх етапах дослідження. Це не лише економить час і ресурси, але й дозволяє дослідникам проводити численні віртуальні експерименти, варіюючи параметри матеріалів і умови навантаження, що є особливо важливим для розробки матеріалів із унікальними властивостями, наприклад, композитів чи сплавів для аерокосмічної галузі. Крім того, моделювання в SolidWorks забезпечує інтеграцію з іншими програмними засобами для аналізу, що сприяє комплексному підходу до вивчення матеріалів. Доцільність такого підходу підтверджується численними дослідженнями, які демонструють високу кореляцію між результатами симуляцій і експериментальними даними, а також економічну вигоду від скорочення витрат на фізичні випробування. Таким чином, використання CAD-систем, зокрема SolidWorks, для моделювання механічних властивостей матеріалів є перспективним напрямом у матеріалознавстві, що відкриває нові можливості для розробки інноваційних матеріалів із покращеними характеристиками [1, 2].

Мета роботи полягає в аналізі доцільності використання SolidWorks для моделювання механічних властивостей матеріалів, щоб оптимізувати їх розробку та прогнозувати поведінку під навантаженнями. Дослідження оцінює точність симуляцій характеристик, таких як міцність, пружність, втома, порівнюючи їх із фізичними експериментами.

Матеріал і результат досліджень. Для дослідження механічних властивостей матеріалів у програмному середовищі SolidWorks 2022 було ство-

рено 3D-модель циліндричного зразка, геометрія якого відповідала стандарту ASTM E8 (ASTM E8M Standard Test Method for Tensile Testing of Metallic Materials). Цей стандарт визначає вимоги до форми та розмірів зразків для випробувань на розтяг металевих матеріалів, забезпечуючи стандартизовані умови для отримання відтворюваних і порівнянних результатів. Зразок мав циліндричну форму з діаметром робочої зони 12,5 мм і довжиною робочої зони 50 мм, що відповідає рекомендаціям стандарту для плоских або циліндричних зразків.

Як матеріал зразка було обрано ASTM A36 — низьковуглецеву конструкційну сталь, яка широко застосовується в будівництві, машинобудуванні та інших галузях завдяки своїм універсальним механічним властивостям. Вибір ASTM A36 був зумовлений кількома факторами: доступність і поширеність (ASTM A36 є одним із найпоширеніших матеріалів у промислових застосуваннях, що робить його ідеальним для дослідження, результати якого можуть бути застосовані до реальних конструкцій), врівноважені механічні властивості: (сталь характеризується помірною межею текучості (близько 250 МПа) і високою пластичністю, що дозволяє досліджувати як пружну, так і пластичну деформацію в межах однієї симуляції) та добре документовані характеристики: (у бібліотеці матеріалів SolidWorks наявні точні дані про ASTM A36, включаючи модуль пружності (200 ГПа), коефіцієнт Пуассона (0,26), межу текучості та криву напруження-деформація, що забезпечує високу достовірність симуляції).

Матеріал ASTM A36 був застосований до моделі через бібліотеку SolidWorks Simulation, де були вказані його ключові механічні характеристики, включаючи пружні та пластичні властивості для нелінійного аналізу.

Симуляція проводилася з метою дослідження зміни механічних характеристик матеріалу ASTM A36 під час розтягу. Для цього в модулі SolidWorks Simulation було створено статичне дослідження (Static Study), яке моделювало поведінку зразка під дією розтягуючого навантаження.

Граничні умови симуляції були наступними:

- один кінець циліндричного зразка був зафіксований (Fixed Geometry) для імітації закріплення в фіксаторі випробувальної машини;
- до протилежного кінця зразка прикладалося розтягуюче навантаження величиною 5000 Н у напрямку поздовжньої осі зразка.

Сітка для моделі була створена з використанням тетраедричних елементів із розміром елемента 1,5 мм у робочій зоні для забезпечення високої точності розрахунків. У зонах переходу між робочою зоною та кінцями зразка застосовувалося локальне згущення сітки для врахування можливих концентрацій напружень [3, 4].

У рамках дослідження механічних властивостей зразка з ASTM A36,

проведеного в SolidWorks Simulation, було виконано три типи аналізу: напруження (Von Mises Stress) (рис. 1), переміщення (Displacement) (рис. 2) та деформація (Strain) (рис. 3). Нижче наведено детальний аналіз отриманих результатів, які базуються на симуляції розтягу циліндричного зразка за стандартом ASTM E8 з прикладеним навантаженням 5000 Н.

Аналіз даних, наведених на рис. 1. дозволяє стверджувати, що максимальне значення напруження фон Мізеса становить 418,7 МПа, що спостерігається в зоні переходу між робочою зоною зразка та фіксованим кінцем (червона зона).

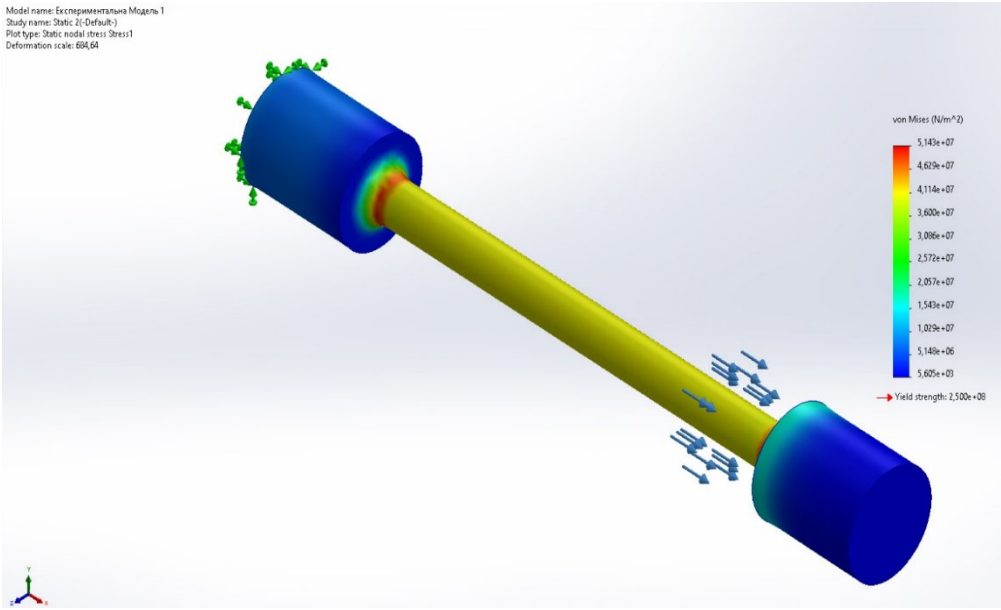


Рис. 1. – Результати симуляції розподілу напружень (Von Mises Stress)

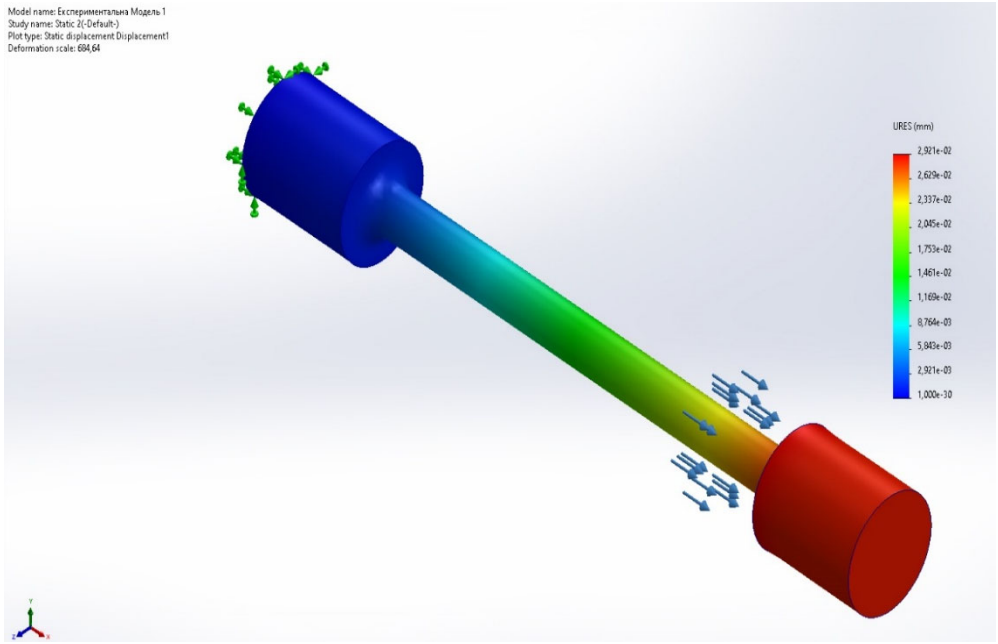


Рис. 2. – Результати симуляції переміщення (Displacement)

Це перевищує межу текучості ASTM A36 (250 МПа), вказуючи на початок пластичної деформації в цій зоні. В центральній частині зразка (жовто-зелена зона) напруження становить приблизно 150–200 МПа, що нижче межі текучості, тобто робоча зона залишається в пружній зоні.

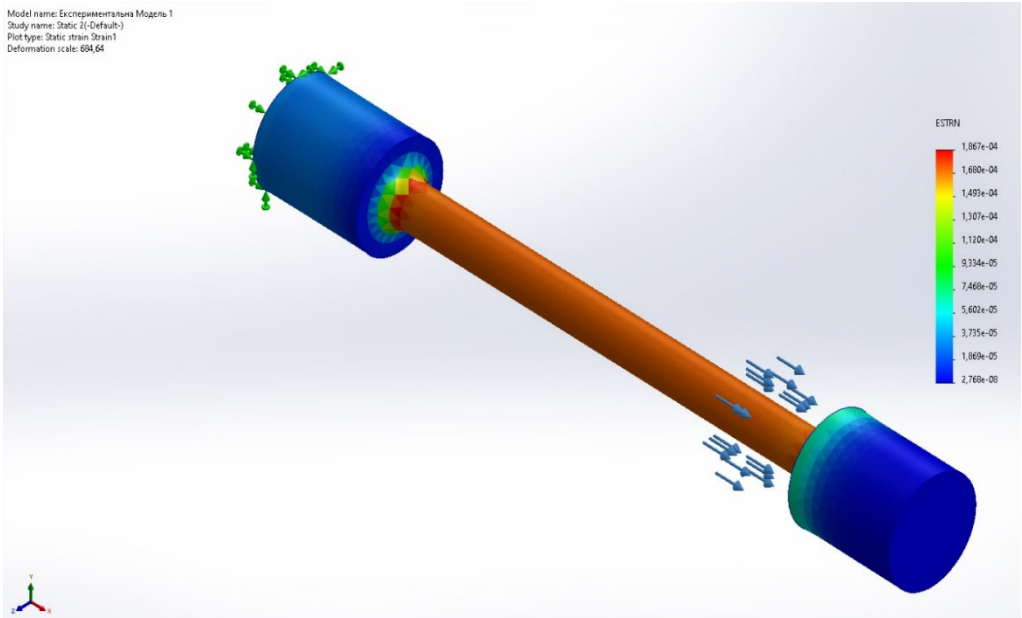


Рис. 3. – Результати симуляції розподілу деформації (Strain)

Теоретичне напруження (для заданої геометрії зразка) становить близько 40,25 МПа що значно нижче за максимальні значення, отримані в симуляції. Це пояснюється концентрацією напружень у зонах переходу геометрії зразка.

В той же час, аналіз даних, зазначених на рис. 2 показав, що максимальне переміщення становить 6,781 мм (червона зона) і спостерігається на вільному кінці зразка, де прикладено навантаження. Переміщення плавно зменшується від вільного кінця до фіксованого (синій колір, 0 мм), що відповідає умовам розтягу. Згідно теоретичних розрахунків (отриманих, враховуючи закон Гука), подовження становить близько 0,0102 мм. Значна різниця між теоретичним (0,0102 мм) і симуляційним (6,781 мм) значеннями пояснюється пластичною деформацією, яка не враховується в пружній моделі Гука.

Відповідно, аналіз даних, наведених на рис. 3. показує, що максимальна відносна деформація становить 0,0094 (0,94%) у зоні концентрації напружень (червона зона). У центральній частині зразка деформація становить приблизно 0,001–0,002 (0,1–0,2%), що відповідає пружній деформації. У пружній зоні деформація пов’язана з напруженням через модуль пружності. Для напруження 200 МПа (робоча зона) деформація становить близько

0,001, що узгоджується з симуляційними даними.

Висновки. Відповідно, об'єднавши всю інформацію, яку ми отримали в процесі симуляції, можна стверджувати, що зразок ASTM A36 зазнав пружної деформації в робочій зоні (напруження 150–200 МПа, деформація 0,1–0,2%), але в зонах концентрації напружень (418,7 МПа) спостерігається перехід у пластичну деформацію, що підтверджується перевищенням межі текучості (250 МПа).Значне подовження (6,781 мм) вказує на наявність пластичної деформації, що не враховується в пружних розрахунках за законом Гука. Для зменшення концентрації напружень і уникнення пластичної деформації можна розглянути наступні кроки: змінити геометрію зразка, збільшивши радіус переходу між робочою зоною та кінцями або зменшити навантаження нижче критичного значення (наприклад, до 3000 Н, щоб напруження не перевищувало 250 МПа).

Отримані результати узгоджуються з очікуваною поведінкою ASTM A36, однак для підвищення точності варто провести експериментальні випробування для порівняння з отриманими практичними експериментальними даними.

Ці результати демонструють ефективність SolidWorks Simulation для прогнозування механічної поведінки матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. James M. Gere Mechanics of Materials / James M. Gere, Barry J. Goodno // Mechanics of Materials. – Cengage Learning, 2012. – T. (8). – P. 1056.

2. Hierarchical Materials Informatics / Surya R. Kalidindi // Imprint: Butterworth-Heinemann. – 2015.– P. 230.

3. Hong-yang Zhang Modeling in SolidWorks and analysis of temperature and thermal stress during construction of intake tower / Hong-yang Zhang, Tong-chun Li, Zong-kun Li // Water Science and Engineering, 2018. – Vol. 2. – P. 95-102.

4. Tao Lin Simulation on the Installation Process of HGIS in Transformer Substation / Tao Lin, Shaohua Li, Hu Wang // Physics Procedia, 2012. – Vol. 24.- P. 297-302.

УДК 658.512

ГЕНЕРАТИВНИЙ ДИЗАЙН В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: АЛГОРИТМ СТВОРЕННЯ ТИПОВОЇ ДЕТАЛІ В AUTODESK FUSION 360

Д.О. Довгаль
доцент кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, e-mail: dovhal.d.o@nmu.one

Анотація. Стаття присвячена застосуванню генеративного дизайну в навчанні студентів технічних спеціальностей. На прикладі створення деталі в Autodesk Fusion 360 розглянуто основні етапи: побудову моделі, визначення граничних умов, генерацію та аналіз варіантів. Наведено практичний алгоритм проектування кронштейна з урахуванням вимог до геометрії, жорсткості та ваги.

Ключові слова: генеративний дизайн, Autodesk Fusion 360, інженерне проектування, навчальний процес, 3D-моделювання, оптимізація конструкції.

GENERATIVE DESIGN FOR EDUCATION: WORKFLOW FOR CREATING A STANDARD PART WITH AUTODESK FUSION 360

Denys Dovhal
Associate Professor, Department of Engineering and Generative Design, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: dovhal.d.o@nmu.one

Abstract. The article focuses on the application of generative design in the education of engineering students. Using the example of creating a part in Autodesk Fusion 360, the main stages are considered: model construction, definition of boundary conditions, generation, and analysis of design options. A practical workflow for designing a bracket is presented, taking into account requirements for geometry, rigidity, and weight.

Keywords: generative design, Autodesk Fusion 360, engineering design, educational process, 3D modeling, structural optimization.

Вступ. Генеративний дизайн є інноваційним напрямком у сфері інженерного проектування, що дозволяє автоматично створювати оптимальні конструкції на основі заданих параметрів і обмежень. Його активне впровадження у навчальний процес сприяє формуванню у студентів інженерного мислення та навичок роботи з сучасними програмними комплексами. У даній роботі розглянуто алгоритм створення типової технічної деталі в середовищі Autodesk Fusion 360 у межах викладання дисципліни «Генеративний дизайн».

Мета роботи продемонструвати застосування генеративного дизайну для створення оптимізованої технічної деталі в середовищі Autodesk Fusion 360, з урахуванням геометричних, конструктивних та експлуатаційних вимог, а також формування алгоритму проектування в навчальному процесі.

Матеріал і результат досліджень. У межах навчального процесу студентам пропонується розробка деталі на основі заданого зразка із використанням інструментів генеративного проектування (рис. 1). Вихідний зразок є монтажною основою кронштейна, яка складається з прямокутної плити з чотирма отворами по кутах для гвинтового або болтового кріплення до пове-

рхні та двох вертикальних опор, призначених для з'єднання або фіксації циліндричних елементів (наприклад, валів або осей) через отвори у верхній частині опор. Також у конструкції деталі присутні посилювальні ребра жорсткості для покращення міцності конструкції між основою та опорами. Деталь використовується в механічних системах для фіксації обертових елементів або як опора для рухомих з’єднань.

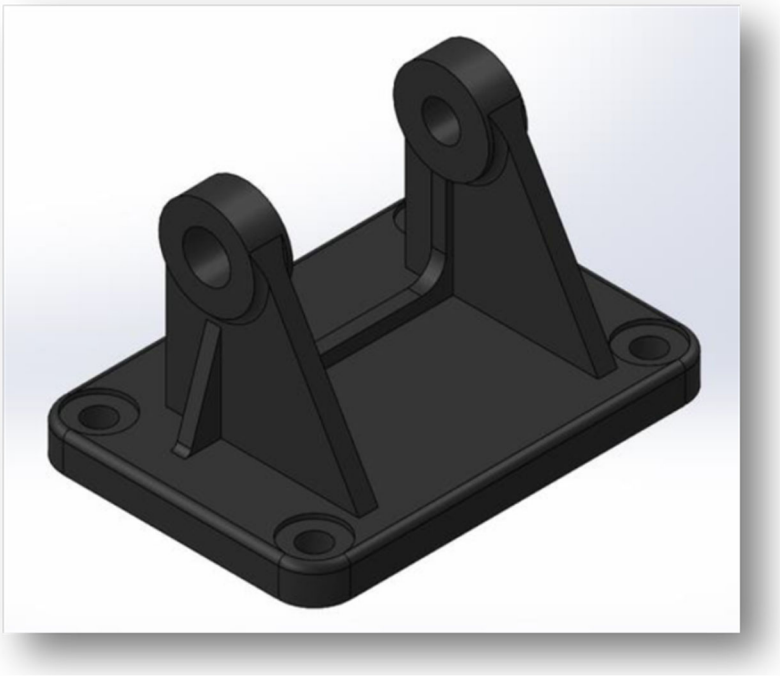


Рис. 1. – Модель натурного зразка деталі

Основні вимоги до деталі, що проектується:

- відповідність початковим габаритам та функціональності;
- збереження отворів та їхнього розташування;
- оптимізація ваги без втрати жорсткості.
- ваги без втрати жорсткості.

Етапи виконання роботи

Побудова базової геометрії. Перший крок — створення основних функціональних та конструктивних елементів деталі (рис. 2). Виконується наступна послідовність дій:

1. Відкривається середовище *Fusion 360* і створюється новий проект.
2. Використовуючи інструмент *Sketch*, будуються ескізи функціональних елементів деталі у відповідних площинах.
3. Задаються точні розміри кожного елемента за допомогою *Dimension*.
4. Ескізи перетворюються у тривимірну модель за допомогою *Extrude*, встановлюється необхідна товщина.
5. Створюються додаткові конструктивні елементи (фаски, виїмки тощо, якщо це передбачено моделлю).

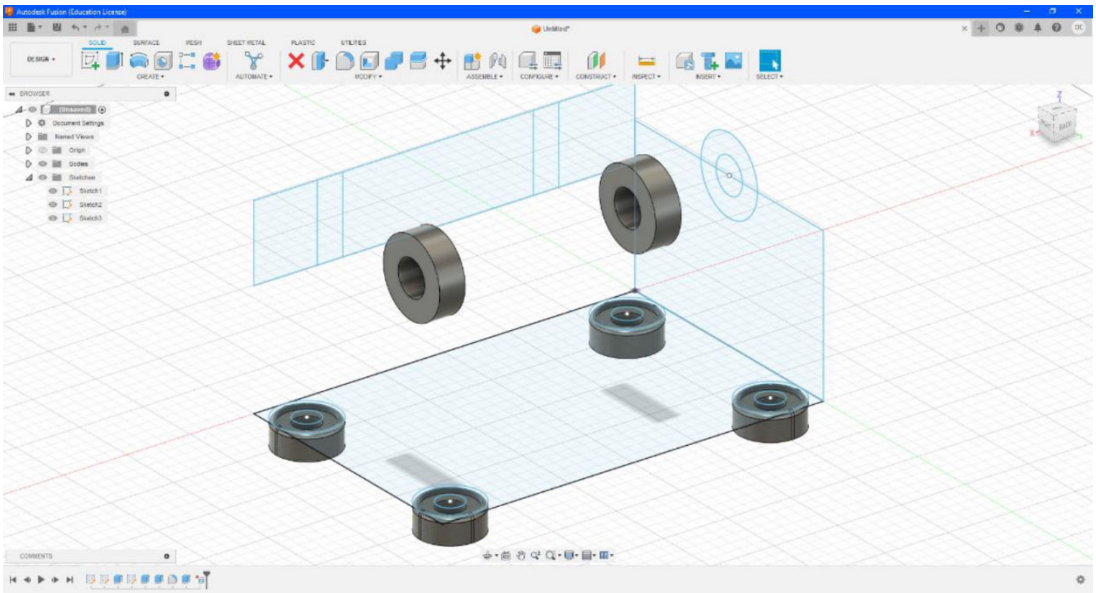


Рис. 2. – Створення основних функціональних та конструктивних елементів

Визначення граничних умов. Після побудови початкової геометрії необхідно перейти в режим *Generative Design* (рис. 3). На цьому етапі:

1. Визначаються *обов'язкові елементи* конструкції (зелена геометрія), які повинні зберегтися у процесі генерації.
2. Вказуються *«заборонені зони»* (червона геометрія), куди не можна додавати матеріал.
3. Накладаються граничні умови: фіксовані опори та накладені навантаження.

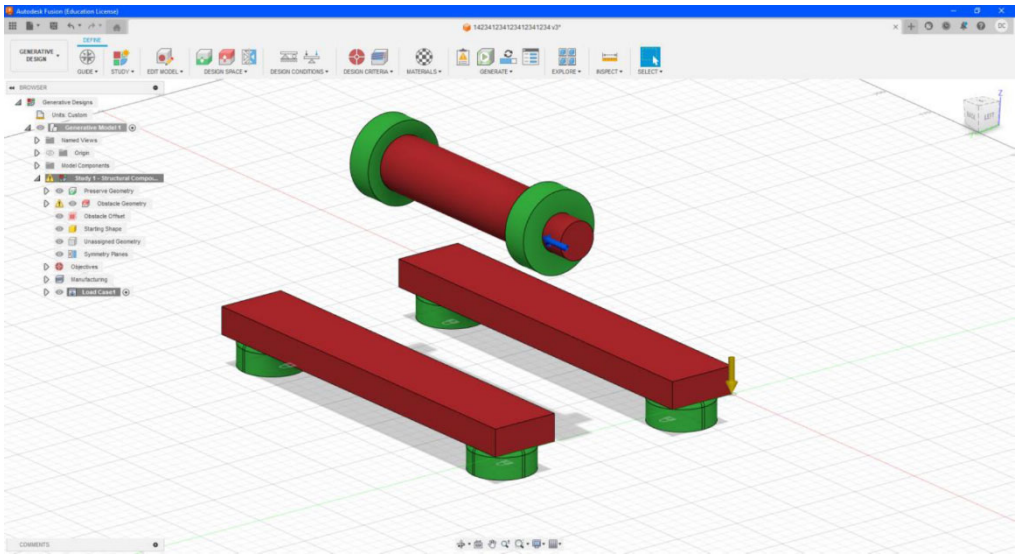


Рис. 3. – Створення «зеленої» та «червоної» геометрії

Процес визначення граничних умов включає:

1. Виділення областей, які залишаться незмінними.
2. Визначення зон, які можуть бути змінені у процесі оптимізації.
3. Задання фізичних параметрів матеріалу (наприклад, алюмінієвий

сплав, титан, пластик тощо).

4. Задання навантажень, що діють на модель.

Генерація та аналіз моделі. Після налаштування вхідних параметрів виконується генерація конструкції із використанням хмарних обчислень Fusion 360 (рис. 4). Цей процес включає:

1. Автоматичне створення декількох варіантів оптимізованої конструкції на основі заданих критеріїв.
2. Аналіз міцності та ефективності кожного варіанту.
3. Вибір оптимального варіанту для подальшого використання.

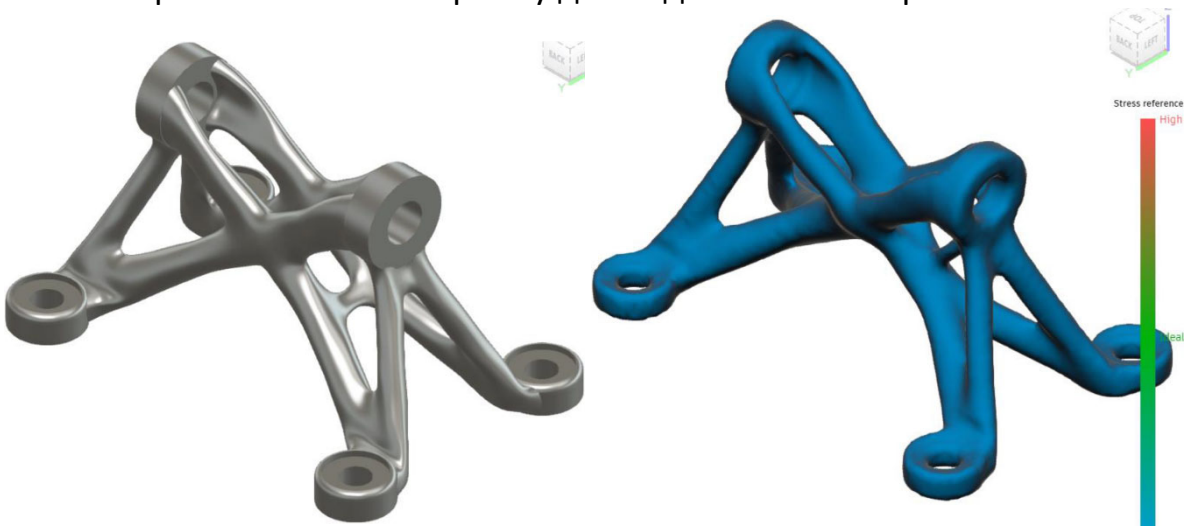


Рис. 4. – Результат генерації

Аналіз результатів. Отримані варіанти оцінюються за такими критеріями:

1. Оптимізація маси при збереженні міцності.
2. Збереження ключових розмірів вихідної деталі.
3. Мінімізація об’ємів матеріалу при виробництві.
4. Врахування технологічних обмежень при виготовленні деталі.

Виготовлення та практичне застосування. Після вибору оптимальної конструкції модель експортується у формати, придатні для подальшого виготовлення:

- *STL або STEP* для 3D-друку;
- *DXF* для лазерного різання або фрезерування;
- *DWG* для подальшої роботи у CAD-системах.

Модель може бути виготовлена методами 3D-друку, механічної обробки або лиття.

Висновки. Використання генеративного дизайну у освітньому процесі дозволяє студентам освоювати сучасні методи автоматизованого проектування, покращуючи їхні навички в інженерній графіці та розрахунках.

Autodesk Fusion 360 надає зручний інструментарій для створення інноваційних рішень, що робить його незамінним інструментом у навчанні. Реалізація генеративного дизайну сприяє розвитку креативного мислення та інженерного аналізу, що є важливими компетенціями майбутніх фахівців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Baek, S. Y., & Lee, J. (2021). Artificial intelligence-driven generative design for mechanical engineering. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *103*, 104290. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104290
2. Gao, T., Zhang, X., & Wu, J. (2022). Generative design in additive manufacturing: Current trends and future perspectives. *Additive Manufacturing*, *55*, 102847. https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102847
3. Huang, C., & Wang, Y. (2023). Enhancing product innovation through AI-based generative design techniques. *Journal of Manufacturing Systems*, *67*, 204-215. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.06.015
4. Zhang, Y., & Li, P. (2024). Recent developments in topology optimization and generative design for sustainable engineering. *Sustainable Materials and Technologies*, *39*, 105965. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.105965
5. Autodesk. (2023). *Fusion 360 User Guide*. Autodesk Inc. https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/
6. Krish, S. (2011). A practical generative design method. *Computer-Aided Design*, *43*(1), 88-100. https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.09.009
7. Liu, K., & Ma, Y. (2022). Recent advances in generative design and topology optimization. Computers in Industry, 135, 103584. https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103584

УДК 004.92; 711

ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ ВТРАТИ ДАНИХ ПІД ЧАС КОМУНІКАЦІЇ МІЖ БПЛА В ГРУПАХ

А.О. Клочко[1]

[1]асистент кафедри інформаційних технологій проєктування, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: a.klochko@khai.edu

Анотація. У статті розглядаються стратегії зниження ризику втрати даних під час комунікації між БПЛА (безпілотними літальними апаратами) у роєвих операціях, із фокусом на міждронову та міжкластерну взаємодію. Описується використання децентралізованих та гібридних моделей комунікації для досягнення балансу між ефективністю та надійністю, з використанням протоколів DDS (Data Distribution Service) для внутрішньокластерної комунікації та LoRaWAN для міжкластерної взаємодії. DDS забезпечує обмін даними в реальному часі з низькою затримкою всередині кластерів, тоді як LoRaWAN дозволяє здійснювати довготривалу та енергоефективну комунікацію між кластерами. Запропонована ієрархічна кластерна архітектура із центральними хостами для управління

кластерними даними та одноранговою комунікацією для координації між кластерами. У дослідженні акцентовано увагу на техніках надлишковості: дублюванні повідомлень, розподіленому зберіганні даних і використанні резервних хостів для підвищення безпеки даних і стійкості до збоїв. Реалізація запропонованих підходів дозволяє підтримувати надійність роботи рою, мінімізувати збої, зменшити ризик втрати даних та забезпечити цілісність критичних даних навіть в екстремальних умовах..

Ключові слова: Рій дронів, Надлишковість даних, Ієрархічне кластерування, Внутрішньокластерна комунікація, Міжкластерна комунікація.

DECREASING RISK OF DATA LOSS DURING COMMUNICATION BETWEEN UAVS IN GROUPS

Artur Klochko[1]

[1]Assistant, Department of Information technologies of design, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.klochko@khai.edu

Abstract. This paper explores strategies to decrease the risk of data loss during communication among UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) in swarm operations, focusing on inter-drone and inter-cluster communication. It outlines the use of decentralized and hybrid communication models to balance efficiency and reliability, leveraging protocols such as DDS (Data Distribution Service) for intra-cluster communication and LoRaWAN for inter-cluster interaction. DDS facilitates low-latency, real-time data sharing within clusters, while LoRaWAN enables long-range, low-power communication between clusters. A hierarchical clustering architecture is proposed, with central hosts managing intra-cluster data and peer-to-peer communication handling inter-cluster coordination. The study emphasizes redundancy techniques, including message replication, distributed data storage, and backup hosts, to enhance data safety and fault tolerance. By implementing these strategies, drone swarms can maintain operational reliability, minimize disruptions, decrease risk of data loss and ensure mission-critical data integrity even in adverse conditions.

Keywords: Drone Swarm, Data Redundancy, Hierarchical Clustering, Intra-Cluster Communication, Inter-Cluster Communication.

Вступ. Комунікація між дронами означає обмін даними та командами між безпілотниками в рої для координації дій, обміну інформацією та досягнення спільних завдань. Це здійснюється за допомогою спеціальних протоколів комунікації, бездротових технологій та алгоритмів. Для задоволення інформаційних потреб можуть застосовуватися різні моделі комунікації.

Централізована модель передбачає наявність одного контролера або базової станції, яка координує роботу рою. У цьому випадку дрони взаємодіють опосередковано через контролер. Основна перевага такої моделі — простота. Однак недоліком є наявність єдиної точки відмови та висока затримка у великих роєвих системах. У децентралізованій моделі дрони спіл-

куються безпосередньо один з одним (peer-to-peer). Такий підхід забезпечує стійкість до відмов, масштабованість і швидшу комунікацію. З іншого боку, ця модель вимагає застосування складних алгоритмів для синхронізації.

Мета роботи полягає у розробці та обґрунтуванні стратегій зменшення ризику втрати даних під час комунікації між безпілотними літальними апаратами у складі роєвих систем шляхом впровадження ієрархічної кластерної архітектури, використання децентралізованих та гібридних моделей обміну даними із застосуванням протоколів DDS для внутрішньокластерної взаємодії та LoRaWAN для міжкластерної комунікації, а також впровадження методів надлишковості для підвищення надійності і стійкості системи.

Матеріал і результат досліджень. Для задоволення всіх вимог до даних протокол комунікації повинен підтримувати обробку різних типів даних. Одним із таких типів є позиційні дані, що включають координати GPS, висоту, швидкість та орієнтацію. Також дрони можуть обмінюватися даними сенсорів, такими як відео потоки з камер, дані лідарів або радарів, температурні показники тощо. У рої також мають передаватися команди, що стосуються змін формацій, уникнення зіткнень, виконання місій. Ще одним важливим типом даних є телеметрія, яка включає оновлення стану, рівні заряду батарей, стан систем і прогрес виконання завдань.

Існує низка протоколів комунікації, які підтримують основні сценарії взаємодії в роєвих системах. Такі протоколи мають бути з низькою затримкою, легкими за обсягом та оптимізованими для координації в реальному часі, спеціалізованими для ефективної багатовідправної (multicast) та широкомовної (broadcast) передачі даних у межах рою. Для короткотривалої комунікації рій може використовувати Wi-Fi, Bluetooth або ZigBee. Wi-Fi забезпечує високу пропускну здатність і підходить для передачі відео та даних у реальному часі, однак має обмежений радіус дії (~100 м у відкритому середовищі). Bluetooth також підходить для короткотривалої комунікації, особливо для дронів, що перебувають на близькій відстані один від одного.

Для довготривалої взаємодії кращим варіантом може бути LoRaWAN. Він ідеально підходить для передачі телеметрії на великі відстані. Однак, через низьку пропускну здатність цього протоколу, можуть виникати труднощі при обміні великими обсягами мультимедійних даних. Ще одним варіантом є ZigBee, який підтримує мережі сіткового типу (mesh networking) для локальної взаємодії між членами рою.

При використанні деяких із таких протоколів можуть виникати певні виклики. Затримки в комунікації можуть порушити координацію та безпеку в

реальному часі. Ефективна комунікація є критично важливою для запобігання зіткненням дронів під час складних маневрів. Також комунікація має мінімізувати енергоспоживання для збереження обмеженого заряду батарей дронів. Необхідно впроваджувати засоби безпеки, щоб запобігти несанкціонованому доступу, підміні даних або блокуванню сигналів комунікації[1]. Крім того, накладання сигналів у спільних частотних діапазонах (наприклад, Wi-Fi) може погіршувати якість зв'язку.

Для доповнення централізованого підходу в координації між дронами може бути використаний інший протокол. DDS (Data Distribution Service) — це проміжний протокол і стандарт API, розроблений для забезпечення комунікації в реальному часі, з високою масштабованістю та надійністю у розподілених системах. DDS особливо добре підходить для критично важливих застосувань, таких як автономні транспортні засоби, аерокосмічні системи, робототехніка та Інтернет речей (IoT)[2]. DDS використовує децентралізовану однорангову (peer-to-peer) модель, що усуває необхідність у центральному брокері або сервері.

Пристрої та застосунки можуть динамічно виявляти один одного та підключатися до мережі без ручної конфігурації. DDS використовує парадигму публікації/підписки на основі тем (topics), що дозволяє пристроям публікувати або підписуватися на певні типи даних.

Таким чином, DDS оптимізовано для систем реального часу, де потрібні мілі- або мікросекундні затримки. Протокол здатний обробляти тисячі вузлів і тем одночасно, що робить його придатним для великих динамічних систем, таких як рої дронів. Децентралізована архітектура гарантує, що система залишатиметься працездатною навіть у разі відмови окремих вузлів[3].

Проте, використання DDS має і певні недоліки, пов'язані зі складністю. Додається додаткове навантаження на систему через використання проміжного програмного забезпечення, що робить DDS менш придатним для пристроїв із сильно обмеженими ресурсами.

Щоб об'єднати найкращі риси обох моделей комунікації, пропонується запровадити концепцію кластерів. Кластер у контексті роєвих систем дронів, розподілених систем або комунікаційних мереж — це група взаємопов'язаних об'єктів (наприклад, дронів, пристроїв або вузлів), які працюють разом для досягнення спільної мети або виконання пов'язаних завдань[4]. Кластеризація часто використовується для організації, управління та оптимізації ресурсів у великих системах для забезпечення масштабованості, стійкості до збоїв і ефективної комунікації.

Нижче наведено структурований потік роботи для рою дронів, органі-

зованого в кластери з ієрархічною комунікацією, де для внутрішньокластерної взаємодії використовується DDS, а для міжкластерної взаємодії між центральними хостами — LoRaWAN. У кожному кластері є кілька дронів, один із яких призначений центральним хостом. Підлеглі дрони спілкуються лише із центральним хостом свого кластера. Центральні хости виступають посередниками, забезпечуючи комунікацію між своїм кластером та іншими кластерами.

Для взаємодії всередині кластера може застосовуватися DDS, оскільки він забезпечує комунікацію в реальному часі з низькою затримкою. Це дає змогу ефективно обмінюватися телеметричними даними та командами між центральним хостом і підлеглими дронами.

Для взаємодії між кластерами оптимальним вибором може бути LoRaWAN, оскільки він забезпечує комунікацію на великі відстані між центральними хостами різних кластерів. Також LoRaWAN може використовуватися для координації між кластерами та обміну агрегованими даними.

Потік комунікації може відбуватися наступним чином: він починається із внутрішньокластерної комунікації. Етап ініціалізації стартує тоді, коли всі дрони в кластері динамічно виявляють один одного за допомогою функції динамічного виявлення DDS[5]. Підлеглі дрони надсилають телеметричні дані (наприклад, позицію, рівень заряду батареї, дані сенсорів) до центрального хоста, використовуючи модель публікації/підписки на основі тем. Центральний хост агрегує отримані дані та може надсилати команди підлеглим дронам (наприклад, команди зміни формації, корекції висоти). Центральний хост публікує команди або оновлення у відповідних темах. Підлеглі дрони підписуються на ці теми для отримання інструкцій (див. Рис. 1).

Міжкластерна комунікація в основному включає взаємодію між центральними хостами. Вони використовують LoRaWAN для обміну агрегованими телеметричними даними, оновленнями статусу та командами з іншими центральними хостами. Центральні хости спілкуються між собою у децентралізованій одноранговій (peer-to-peer) манері. Вони можуть обмінюватися даними про межові позиції кластерів, передавати глобальний статус рою (наприклад, оновлення місії, сповіщення) та координувати формації між кластерами. Кожен центральний хост підтримує маршрутизувальну таблицю для прямої комунікації з іншими центральними хостами.

Агреговані дані від підлеглих дронів стискаються та передаються через LoRaWAN для зменшення використання пропускної здатності[6]. Центральні хости працюють у режимі класу C, що забезпечує майже безперервну комунікацію та доступність каналу для зворотної передачі даних у реальному часі.

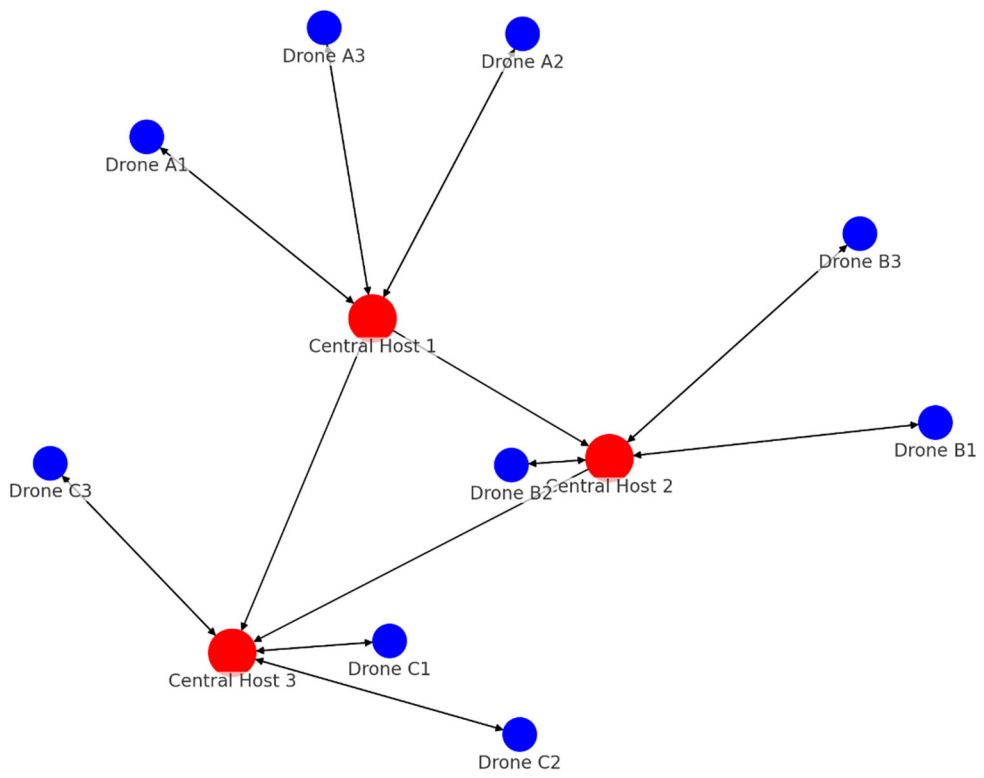


Рис. 1. – Ієрархічна кластерна архітектура з центральними хостами та кластерними дронами

Потік даних починається тоді, коли підлеглі дрони надсилають дані (через DDS) до свого центрального хоста. Центральні хости агрегують ці дані та передають важливу інформацію або команди (через LoRaWAN) іншим центральним хостам. Після цього центральні хости обробляють міжкластерні повідомлення та поширюють необхідні оновлення (через DDS) у своїх відповідних кластерах. Децентралізована комунікація зменшує кількість єдиних точок відмови, дозволяючи однорангову координацію між кластерами. DDS забезпечує ефективну комунікацію з високою пропускною здатністю всередині кластерів. LoRaWAN із його великою дальністю дії підтримує координацію між кластерами на великих територіях. LoRaWAN оптимізований для енергоефективної комунікації на великі відстані між центральними хостами, а DDS забезпечує обмін даними в реальному часі з низькою затримкою всередині кластерів[7]. У випадку відмови центрального хоста інші кластери можуть перебудуватися, щоб підтримувати загальну працездатність рою.

Можливий сценарій для демонстрації переваг такого підходу — вико-

ристання рою дронів для пошуково-рятувальних операцій. Дрони в кожному кластері сканують певні зони та передають дані з сенсорів (наприклад, теплові сигнатури) своєму центральному хосту. Центральний хост агрегує дані та видає локалізовані команди (наприклад, коригування висоти сканування). Центральні хости обмінюються оновленнями про прогрес і координатами знайдених постраждалих з іншими кластерами. Центральний хост кластера A може дати команду кластеру B допомогти в сусідній зоні.

Реалізація внутрішньокластерної взаємодії через DDS передбачає створення різних тем для різних типів даних:

- для позиційних і сенсорних даних створюється окрема тема (telemetry/<drone_id>),
- для прямих команд окремим дронам використовується інша тема (command/<drone_id>),
- також створюється окрема тема на кластер (status/<cluster_id>) для перевірки стану.

Реалізація міжкластерної взаємодії через LoRaWAN включає оптимізацію корисного навантаження шляхом стискання та кодування агрегованих телеметричних даних для мінімізації використання пропускної здатності. Центральні хости використовують періодичні оновлення замість безперервної передачі даних. Центральні хости налаштовуються з унікальними DevEUI для безпечної комунікації. DevEUI (Device EUI) — це глобально унікальний ідентифікатор, присвоєний пристрою в мережі LoRaWAN. Також використовується шифрування AES-128 для захисту міжкластерних повідомлень. Важливим параметром є частота передачі повідомлень — необхідно балансувати інтервали оновлення, щоб уникнути перевантаження мережі, водночас підтримуючи актуальність ситуаційної обізнаності.

Щоб забезпечити безпеку даних через надлишковість у запропонованій архітектурі рою, слід реалізувати кілька технік як на внутрішньокластерному, так і на міжкластерному рівнях. Ці підходи гарантують, що критичні дані будуть збережені та відновлені у разі збоїв зв'язку, апаратних відмов або перешкод.

Для досягнення внутрішньокластерної надлишковості (комунікація через DDS) потрібно створити резервне сховище повідомлень у кожному центральному хості, яке зберігатиме копії останніх повідомлень від підлеглих дронів. Для цього можна використовувати кільцевий буфер, що зберігає останні *n* повідомлень для кожного дрона. Пріоритет у збереженні повинні мати критичні дані, такі як телеметрія, команди та оновлення стану. Такий метод гарантує, що навіть якщо дрон відключиться або втратить дані, центральний хост збереже його актуальний стан.

Одночасно підлеглі дрони можуть мультикастити критичні дані до кількох сусідніх пристроїв у межах кластера. Щоб реалізувати таку поведінку, DDS має бути налаштований із QoS для надійного мультикасту. Сусідні пристрої тимчасово зберігатимуть отримані повідомлення та, за потреби, пересилатимуть їх центральному хосту. Таким чином забезпечується надлишковість у випадку, якщо центральний хост тимчасово втрачає зв'язок із дроном. Ще одним способом зменшити ризик втрати даних є дублювання даних на резервні дрони. Це передбачає призначення одного або кількох дронів у кожному кластері як резервних вузлів зберігання даних. Центральний хост дублює критичні повідомлення (наприклад, телеметрію, команди) на ці резервні дрони. Для цього може використовуватися дзеркалювання тем DDS для реплікації потоків даних. Якщо центральний хост виходить з ладу, резервні дрони можуть тимчасово перебрати його функції. Також доцільно налаштувати QoS на збереження даних у DDS (Durability QoS), щоб забезпечити збереження критичних даних навіть після відключення видавця або підписника.

Для досягнення міжкластерної надлишковості (комунікація через LoRaWAN) потрібно реалізувати реплікацію даних між центральними хостами, щоб ключові дані дублювалися у сусідні кластери. Пакети LoRaWAN повинні містити резервні телеметричні дані на рівні кластера (наприклад, позиції всіх дронів у кластері). Використання стислих або узагальнених форматів даних допоможе мінімізувати використання пропускної здатності[8]. У результаті сусідні кластери зможуть допомагати або відновлювати втрачену інформацію у разі недоступності центрального хоста. Крім того, центральні хости періодично повинні надсилати повні знімки даних кластера іншим центральним хостам через LoRaWAN. Використання функції підтвердженого висхідного каналу (confirmed uplink) забезпечить надійне отримання знімків. Такі знімки можуть бути стиснені для економії пам'яті, що дозволить історичне відновлення даних у разі втрати інкрементних оновлень.

Розподілений характер кластерів також впливає на стратегії надлишковості. Для реалізації розподіленої системи зберігання даних, де центральні хости різних кластерів поділяють відповідальність за зберігання критичних роєвих даних, можна використовувати алгоритм розподіленої хеш-таблиці (DHT) для розподілу і реплікації даних між хостами.

Оскільки центральний хост несе велику відповідальність, це збільшує ризик у разі його втрати. Підхід однорангової реплікації (peer replication), який дозволяє підлеглим дронам тимчасово зберігати критичні дані кластера, зменшує цей ризик. Щоб реалізувати цей метод, DDS має бути налаштований для розповсюдження кластерних зведень даних серед підлеглих

дронів, щоб вони зберігали їх протягом певного часу або до заповнення пам'яті. У разі відмови центрального хоста дані все одно можна буде відновити із дронів його кластера.

Надлишковість допомагає уникнути втрати даних, але також потрібно досягти належного рівня відмовостійкості[9]. Для цього в кожному кластері має бути призначений резервний центральний хост, який перебере управління у разі виходу з ладу основного. Для автоматичної активації резервного дрона може використовуватися алгоритм обрання лідера (наприклад, Paxos або Raft). Резервний дрон підписується на ті самі теми DDS, що й основний центральний хост, що забезпечує безперервну комунікацію всередині та між кластерами. Також для швидкого виявлення і усунення відмов необхідно впровадити перевірки працездатності (health checks):

- для внутрішньокластерної комунікації слід публікувати сигнали "heartbeat" всередині кластера,
- для міжкластерної взаємодії слід публікувати кластерні "heartbeat" між центральними хостами.

Для забезпечення правильного управління пропускною здатністю система повинна балансувати рівень надлишковості та доступну пропускну здатність мережі, щоб уникнути перевантаження, особливо в мережах LoRaWAN. Також слід використовувати пріоритетні політики QoS, щоб у першу чергу реплікувати критичні дані. Щодо оптимізації зберігання даних, необхідно застосовувати ефективне стиснення даних для зберігання та передачі надлишкової інформації[10]. Енергоефективність також має велике значення у випадках тривалих операцій. Тому мінімізація енергоспоживання дронами шляхом обмеження частоти передачі надлишкових даних може бути корисною. Усі надлишкові дані повинні бути надійно захищені та зашифровані (AES-128 для LoRaWAN, DDS Security для DDS)[11].

Підвищена відмовостійкість забезпечує працездатність рою навіть у разі відмови окремих дронів або центральних хостів. Покращена цілісність даних захищає від втрати чи пошкодження інформації під час комунікації. Збільшена надійність виконання місій дозволяє швидко відновлювати систему після збоїв без істотних порушень роботи. Запропонована стратегія надлишковості забезпечує надійну основу для захисту даних та відмовостійкості у розподіленій системі роєвих дронів.

Висновки. Ефективна комунікація є життєво важливою для надійної та безпечної роботи роєвих систем БПЛА, особливо у сценаріях, що вимагають скоординованих дій та обміну даними в реальному часі. У цій статті представлено архітектуру ієрархічного кластерування, яка поєднує переваги DDS та LoRaWAN для забезпечення безперервної комунікації як всередині кластерів дронів, так і між ними. DDS забезпечує обмін даними в реальному часі

з низькою затримкою всередині кластерів, що робить його ідеальним для обробки телеметрії та розповсюдження команд. LoRaWAN доповнює цю архітектуру, дозволяючи здійснювати довготривалу та енергоефективну комунікацію для координації між кластерами.

Хоча запропонована система надає значні переваги, зокрема масштабованість, надійність і безперервність виконання місій, залишаються виклики, пов'язані з керуванням пропускною здатністю, оптимізацією затримок і обробкою завдань із високими вимогами до пропускної здатності. Майбутні дослідження можуть бути зосереджені на інтеграції новітніх технологій, таких як 5G або edge computing, для подальшого підвищення можливостей роєвих систем.

Підсумовуючи, інтеграція DDS для внутрішньокластерної комунікації та LoRaWAN для міжкластерної взаємодії у поєднанні з чітко визначеною стратегією надлишковості забезпечує надійне та масштабоване рішення для комунікації в роєвих системах БПЛА. Ця архітектура відкриває шлях до більш надійної та ефективної роботи в різних сферах застосування — від пошуково-рятувальних операцій до моніторингу навколишнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gungor, Vehbi C., and Gerhard P. Hancke. "Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches." IEEE Transactions on Industrial Electronics 56.10 (2009): 4258-4265.
2. Tanenbaum, Andrew S., and Van Steen, Maarten. Distributed Systems: Principles and Paradigms. Pearson, 2017.
3. Ahmed, Syed Ali, et al. "A survey on communication technologies for UAVs." Ad Hoc Networks 94 (2019): 101936.
4. Pappalardo, Giuseppe, et al. "Reliable communication for UAV swarms: Survey and challenges." Journal of Sensor and Actuator Networks 8.4 (2019): 57.
5. Olsson, Jonas, et al. "Communication requirements and analysis for unmanned aerial vehicle swarms." IEEE International Conference on Communications (ICC), 2016
6. Chen, X., Tang, J., Lao, S. (2020). *Review of Unmanned Aerial Vehicle Swarm Communication Architectures and Routing Protocols*. Applied Sciences, 10(10), 3661.
7. Ghazali, M. H. M., Teoh, K., Rahiman, W. (2021). *A Systematic Review of Real-Time Deployments of UAV-Based LoRa Communication Network*. IEEE Access, 9, 124821–124835.
8. Martinez-Caro, J. M., Cano, M. D. (2019). *IoT System Integrating Unmanned Aerial Vehicles and LoRa Technology: A Performance Evaluation Study*. Wireless Communications and Mobile Computing, 2019, 1–12.
9. Almeida, N. C., Rolle, R., Godoy, E. P., Sisinni, E. (2021). *Swarm of Drones Using LoRa Flying Ad-Hoc Network*. In Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 9491655.
10. Khalil, H., Rahman, S. U., Ullah, I., et al. (2022). *A UAV-Swarm-Communication Model Using a Machine-Learning Approach for Search-and-Rescue Applications*. Drones, 6(12), 372.
Khan, M. A., et al. (2020). *Performance Evaluation of UAV-Enabled LoRa Networks for Disaster*

Management. Sensors, 20(8), 2396.

УДК 004.925.8

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ І ПОБУДОВИ АСОЦІАТИВНИХ КРЕСЛЕНИКІВ МАШИНОБУДІВНИХ ДЕТАЛЕЙ В СИСТЕМІ AUTODESK AUTOCAD І AUTODESK INVENTOR

Д.С. Пустовой[1]
[1]кандидат технічних наук, викладач спецдисциплін, Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету ім. О.Гончара», м. Дніпро, Україна, e-mail: pustovoi.d.s@gmail.com

Анотація: У статті розглядаються особливості твердотільного моделювання та створення технічних креслеників у програмних середовищах Autodesk AutoCAD та Autodesk Inventor. На основі прикладу побудови моделі накидної гайки автором демонструється ключові відмінності між двома CAD-системами. Наводиться порівняльний аналіз процесів моделювання та оформлення креслеників, підкреслюються переваги Inventor у створенні об'ємних моделей із різьбовими з'єднаннями, автоматизації побудови креслеників та нанесення розмірів відповідно до стандартів. Робиться висновок, що вибір програмного забезпечення залежить від особистих уподобань користувача, однак Autodesk Inventor забезпечує вищий рівень автоматизації й зручності при роботі зі складними моделями.

Ключові слова: кресленик, 3D-моделювання, Autodesk AutoCAD, Autodesk Inventor.

FEATURES OF USING 3D MODELING AND CONSTRUCTION OF ASSOCIATIVE DRAWINGS OF MECHANICAL ENGINEERING PARTS IN AUTODESK AUTOCAD AND AUTODESK INVENTOR SYSTEMS

Dmytro Pustovoi[1]
[1]Ph.D., Separated Structural Subdivision 'Applied rocket-and-space engineering college of Oles Honchar Dnipro National University', Dnipro, Ukraine, e-mail: pustovoi.d.s@gmail.com

Annotation: The article explores the features of solid modeling and technical drawing creation in Autodesk AutoCAD and Autodesk Inventor. Using the example of modeling a cap nut, the author highlight key differences between the two CAD systems. A comparative analysis of the modeling process and drawing generation is provided, emphasizing Inventor's advantages in creating 3D models with threaded connections, automating drawing construction, and applying dimensions according to standards. The authors conclude that while software choice may depend on user preferences, Autodesk Inventor offers a higher level of automation and convenience when working with complex models.

Keywords: drawing, 3D-modelling, Autodesk AutoCAD, Autodesk Inventor.

Вступ. Сучасне машинобудування неможливе без широкого застосування систем автоматизованого проєктування (САПР), які суттєво впливають на ефективність інженерної діяльності, скорочення часу розробки виробів та підвищення їх якості. Особливе значення мають інструменти тривимірного моделювання, що дозволяють не лише створювати точні цифрові прототипи, а й оперативно формувати технічну документацію згідно з чинними стандартами [1].

У цьому контексті популярні CAD-системи, такі як Autodesk AutoCAD і Autodesk Inventor, відіграють важливу роль у професійній підготовці майбутніх інженерів та технологів. AutoCAD широко використовується як у 2D-, так і в 3D-проєктуванні, завдяки своїй універсальності та гнучкості. Натомість Inventor орієнтований на параметричне моделювання та автоматизацію процесів створення креслень, що робить його потужним інструментом для комплексної інженерної розробки [2-3].

Мета роботи. Провести порівняльний аналіз можливостей використання обох програм у сфері твердотільного моделювання та оформлення креслень на прикладі створення моделі накидної гайки. Такий аналіз дозволяє визначити оптимальні сфери застосування кожного з інструментів, враховуючи їх функціональні особливості та переваги у практичному використанні.

Матеріал та результати досліджень. Розглянемо твердотільне моделювання з прикладу моделі накидной гайки [3]. Після створення необхідних шарів та встановлення системи координат, у 3D-просторі створюється вісь обертання та за допомогою команд панелі «Draw» (Малювання) створюється контур гайки. Використовуючи команду «Revolve» (Обертати) панелі «Modelling», можна перетворити отриманий контур на потрібну фігуру. Зовнішній контур моделі та побудова на ньому фаски здійснюються за допомогою команд панелі «Draw». Використовуючи команду «Extrude» (Видавити) створюється безпосередньо контур, а командами панелі «Modify» (Редагувати) всі твердотілі примітиви перетворюються на один об'єкт-полілінію. Після побудови фаски твердотільна модель готова (Рис. 1).

Однією з відмінностей програми Inventor від програми AutoCAD є можливість створення файлів декількох видів: файли деталей; файли креслеників; файли збірок деталей. Для створення твердотільної моделі деталі Autodesk Inventor необхідно створити новий документ з необхідним розширенням деталі. Побудова твердотільної моделі, як і AutoCAD, починається з побудови ескізу. За допомогою команд вкладки «3D-модель» (можна виконувати операції обертання, видавлювання тощо) 2D-ескізу надається обсяг, виходить потрібна форма, за допомогою окремої команди створюється різьба необхідного типу та діаметра (рис. 2).

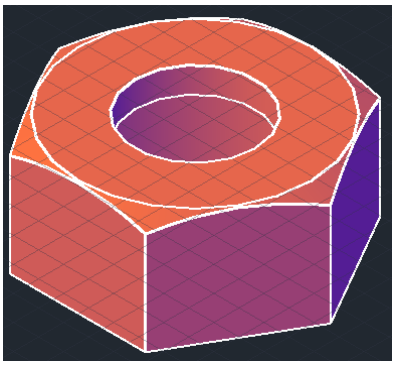


Рис. 1. – Готова 3D-модель гайки у середовищі AutoCAD

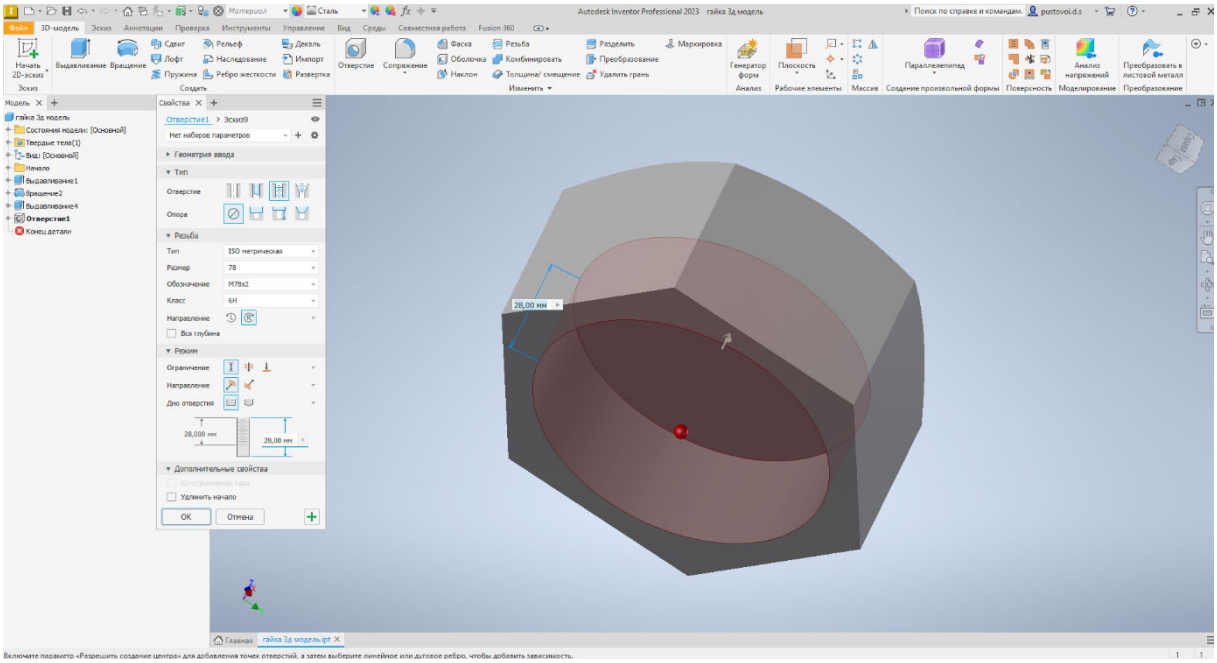


Рис. 2. – Створення 3D-моделі гайки у середовищі Autodesk Inventor, утворення різьбового отвору

Порівнюючи дві схожі за функціональністю програми, можна зазначити, що вибір між ними значною мірою залежить від індивідуальних уподобань користувача та тих можливостей, які забезпечують найбільшу зручність у роботі. У AutoCAD є функція зміщення початку координат у будь-яку точку простору, що дає гнучкість у побудовах. Натомість в Autodesk Inventor більш зручно створювати 2D-ескізи, обираючи потрібну площину, а для подальших побудов легко використовувати вже наявні площини як основу. Явною перевагою Autodesk Inventor є автоматизоване створення різьблення: замість складної послідовності дій, як у AutoCAD (побудова профілю, створення спіралі, надання об’єму), в Inventor достатньо лише кількох кліків мишею та вибору параметрів у спеціальному вікні, щоб швидко й точно створити різьбове з'єднання.

У AutoCAD для того, щоб перейти від моделі до креслення, необхідно перейти між вкладками. Після вибору формату та заповнення рамки можна переходити до створення першого видового екрану. Щоб поєднати головний вид креслення з розрізом, виконати вигляд зверху необхідно створення другого та третього видових екранів. Після редагування штрихування, вирівнювання видових екранів щодо один одного та відключення зайвих шарів на готове креслення наносяться розміри за допомогою меню "Dimension" (Розміри). За замовчуванням у AutoCAD всі розміри залежать від об'єктів, до яких ці розміри прив'язані. Це означає, що при редагуванні основного об'єкта автоматично змінюватимуться і всі пов'язані з ним розміри. Вибираючи відповідні пункти меню "Dimension" (Розміри), виконуємо нанесення розмірів (рис. 3).

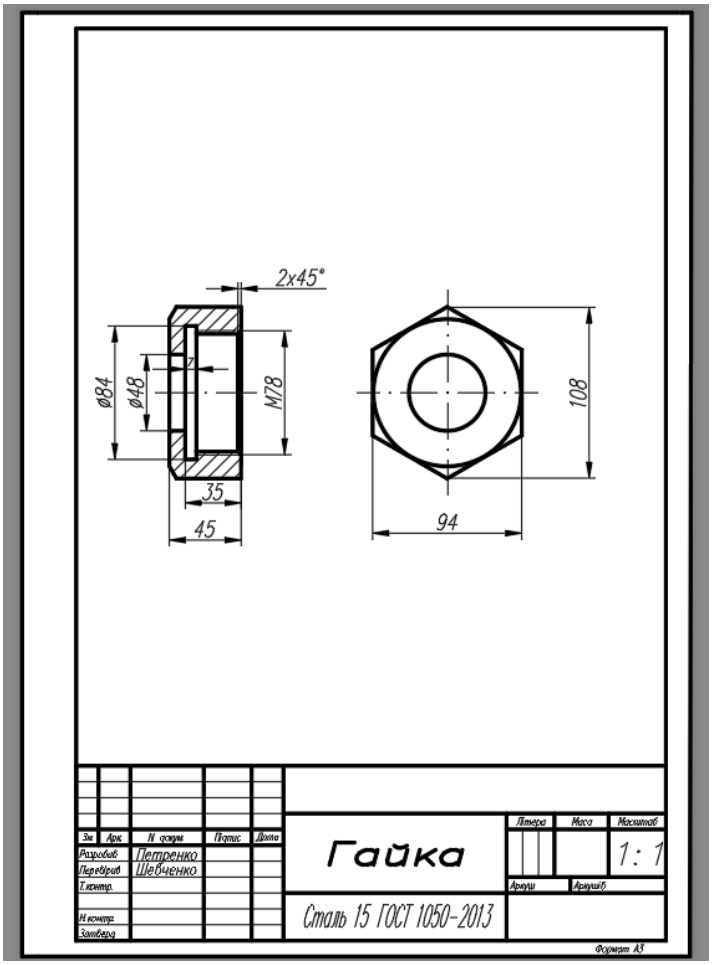


Рис. 3. – Кресленик гайки, створений у середовищі AutoCAD

Побудова кресленика у Autodesk Inventor починається з вибору шаблону аркуша та заповнення основного напису. Після цього необхідно розмістити у просторі майбутнього креслення базове видове зображення за допомогою якого можна створювати виносні кресленики, перерізи, проекційні

види. Наприклад, щоб поєднати вигляд і розріз, Autodesk Inventor можна скористатися командою «Section» (Переріз). Заключним штрихом у створенні креслення є нанесення розмірів (рис. 4).

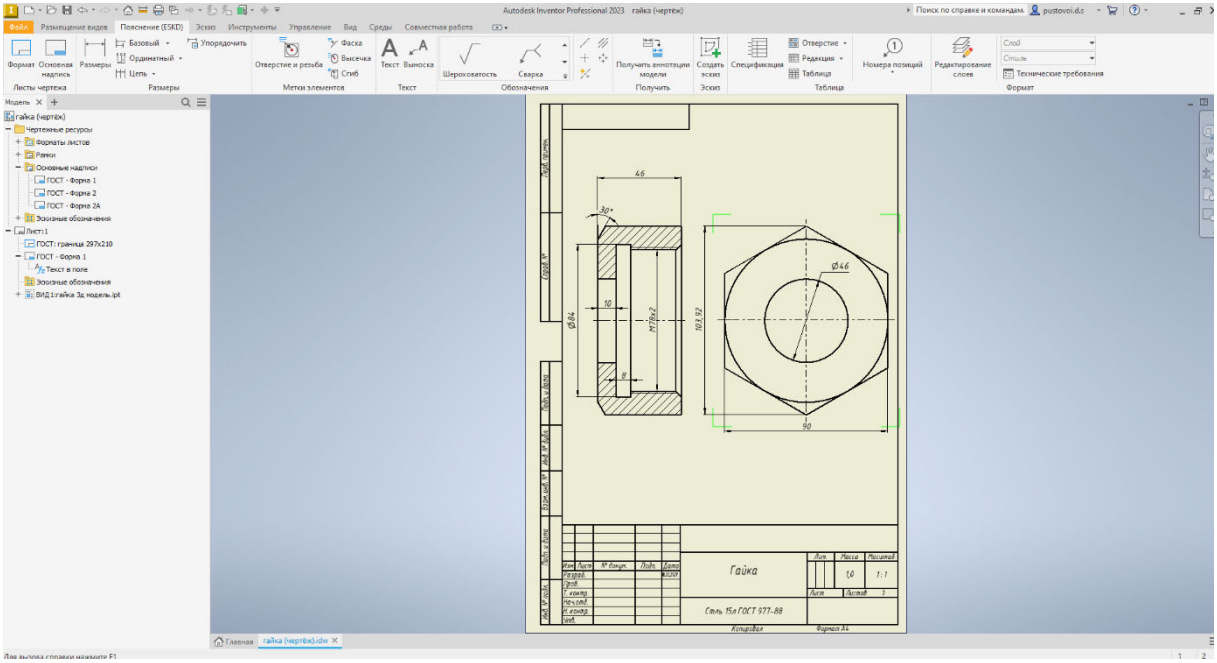


Рис. 4. – Кресленик гайки, створений у середовищі Autodesk Inventor

Ключова різниця між AutoCAD та Autodesk Inventor полягає в тому, що у першому твердотільна модель і кресленик зберігаються в одному файлі, тоді як у другому – в окремих. Autodesk Inventor також забезпечує простіший доступ до налаштувань розміру та орієнтації аркуша, а заповнення рамки виконується автоматично. Натомість у AutoCAD рамку потрібно завантажувати з зовнішньої бібліотеки шаблонів і вручну розміщувати її на аркуші.

Ще одна перевага Autodesk Inventor – зручніша побудова перерізів, виносок та робота з видовими екранами загалом. Вони створюються за принципом проекційного зв’язку, що спрощує процес у порівнянні з AutoCAD. Створення, редагування елементів і їх подання на кресленику відбувається значно легше.

У AutoCAD, як уже згадувалося, існує кілька типів розмірів, які встановлюються за допомогою об'єктної прив’язки та можуть редагуватись. Проте для початківців зручнішою буде система розстановки розмірів у Autodesk Inventor, де вони встановлюються безпосередньо при наведенні на потрібну лінію чи точку. Особливо корисною функцією для широкого кола користувачів є автоматичне впорядкування розмірів, яке розміщує їх по колу на оптимальній відстані від креслення відповідно до вимог ЕСКД.

Висновки. У результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що обидві системи — як Autodesk AutoCAD, так і Autodesk Inventor — мають

свої особливості та переваги в контексті тривимірного моделювання і підготовки креслеників. AutoCAD залишається універсальним інструментом з широким спектром застосування, особливо у випадках, коли потрібна точна 2D-графіка або комбіновані рішення. Водночас Autodesk Inventor забезпечує більш зручне та автоматизоване середовище для створення параметричних 3D-моделей, що особливо важливо при проєктуванні складних технічних виробів. Завдяки широкому набору вбудованих функцій, автоматичному створенню креслеників, асоціативності моделей та підтримці стандартів, Inventor значно прискорює проєктувальні процеси та зменшує кількість помилок.

Отже, вибір між програмними продуктами має ґрунтуватися не лише на індивідуальних вподобаннях користувача, але й на конкретних вимогах проєкту, складності виробу, потребах у деталізації та масштабах виробництва. У навчальному процесі доцільно поєднувати використання обох систем для формування в студентів комплексного уявлення про сучасні інструменти САПР і розвиток практичних навичок у різних середовищах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саєнко С. Ю. Основи САПР / Навчальний посібник /С. Ю. Саєнко, І. В. Нечипоренко – Х. : ХДУХТ, 2017. – 120 с.
2. Донченко М. В. Технології комп'ютерного проектування: навч. посіб. / М. В. Донченко – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. – 364 с.
3. Гніденко, І.А., Воробйов,І.Є. (2016). Аналіз сучасних продуктів 3D-моделювання, можливості їх застосування в навчальному процесі. Проблеми інформатизації та управління. Збірник наукових праць Національного авіаційного університету, Том 3, 55, 25–28.

УДК 539.4.01: 004.42

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ НА МІЦНІСТЬ БАЛОЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Ю.С. Холодняк[1], О.А. Костіков[2]
[1]к.т.н., доцент кафедри технічної механіки Донбаської державної машинобудівної академії, Краматорськ, Україна, e-mail: holodnjak.juri@gmail.com
[2]к.ф.-м.н., доцент кафедри цифрових технологій та проєктно-аналітичних рішень, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя, Україна, e-mail: oleksandr.kostikov@mipolytech.education

Анотація. У роботі розглядається розроблена авторами комп'ютерна програма розрахунку на міцність балочних конструкцій. Програма має зручний користувацький інтерфейс і реалізує спрощену методику розрахунку на міцність, засновану на використанні

безпечних факторних просторів балочних профілей. Наведено приклад розрахунку на міцність двохопорної двотаврової балки.

Ключові слова: балка, опорні реакції, епюри поперечних сил та згинальних моментів, міцність.

SOFTWARE FOR STRENGTH ANALYSIS OF BEAM STRUCTURES

Yurii Kholodnyak [1], Alexander Kostikov[2]
[1]Cand. Sc.(Technology), Associate Professor, Department of Technical Mechanics, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine, e-mail: holodnjak.juri@gmail.com
[2]Cand. Sc.(Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Digital Technologies and Project Decision Analysis, Technical University "Metinvest Polytechnic" LLC, Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: oleksandr.kostikov@mipolytech.education

Abstract. The paper considers a computer program for strength calculation of beam structures developed by the authors. The program has a convenient user interface and implements a simplified method of strength calculation based on the use of safe factor spaces of beam profiles. An example of the strength calculation of a double-braced I-beam is given.

Keywords: beam, bearing reactions, diagrams of shear forces and bending moments, strength.

Вступ. Оскільки балки є основними опорними елементами більшості конструкцій, то їх розрахунок на міцність є важливим етапом у проєктуванні інженерних споруд. Актуальність цього розрахунку визначається необхідністю забезпечення безпеки конструкцій, економії матеріалів, підвищенням надійності за мінливих умов. Він знаходить застосування у будівництві, машинобудуванні, енергетиці, цивільній інженерії.

У зв'язку з тим, що розрахунок балок на міцність вимагає складних розрахунків, для рішення цієї задачі використовується спеціальне програмне забезпечення. Існує багато програмних продуктів для розв'язку цієї задачі, наприклад [1-3]. Ці програми реалізують багато функцій і їх використання вимагає глибоких знань в області опору матеріалів і теоретичної механіки і тому їх застосування викликає багато труднощів у користувачів з недостатньою теоретичною підготовкою у цих областях.

Але на практиці часто необхідно виконати спрощені розрахунки на міцність, які дозволяють визначити номер профілю згідно сортаменту, який витримає задане навантаження.

Тому актуальною задачею є розробка програми повного розрахунку на міцність балочних конструкцій, яка буде простою у використанні і доступною широкому колу користувачів.

Мета роботи полягає в створенні комп'ютерної програми розрахунку

на міцність балочних конструкцій з використанням спрощеної методики, яка ґрунтується на використанні так званих безпечних факторних просторів балочних профілей [4,5].

Матеріал і результат досліджень. Авторами розроблена комп'ютерна програма для повного розрахунку на міцність балочних конструкцій. Дана програма є модифікацією програм авторів, розроблених в середовищі Mathcad [5-7]. На відміну від цих програм, дана програма розроблена на мові програмування Python. Вибір мови Python зумовлено тим, що вона має потужні можливості для реалізації графічного інтерфейсу користувача і математичних розрахунків. Використання бібліотеки Python Tkinter дозволило реалізувати інтерфейс користувача, який забезпечує зручний доступ для всіх можливостей програми. Також дуже важливим є той факт, що Python є безкоштовним програмним забезпеченням.

Розроблена комп'ютерна програма має наступні можливості: візуалізація схеми балки на основі даних, введених користувачем, визначення опорних реакцій балки, побудова епюр поперечних сил Q та згинальних моментів M, вибір мінімального номеру профілю, який задовольняє умовам міцності за нормальними, дотичними на еквівалентними напруженнями, побудова безпечного факторного простору в координатах Q і M.

В якості ілюстрації роботи програми розглянемо рішення наступної задачі.

Задача. Для двохопорної балки (Рис. 1) визначити опорні реакції, побудувати епюри поперечних сил і згинальних моментів, визначити з умов міцності потрібний номер профілю, якщо її профіль – двотавр за ДСТУ 8768:2018, $[\sigma] = 160\text{МПа}$.

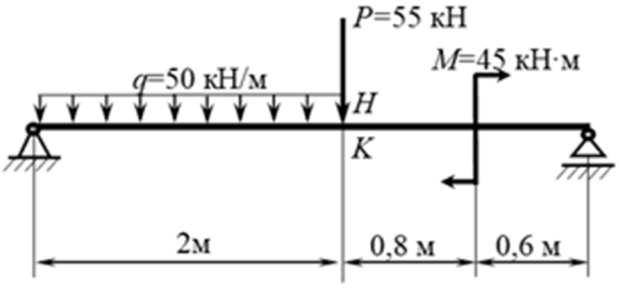


Рис. 1. – Схема навантажень та закріплення балки

Рішення:

1) Обираємо пункт меню Початкові дані->Введення даних і вводимо наступні дані: довжину балки, положення лівої опори, положення правої опори, згинальний момент і точку його прикладання, зосереджену силу і точку її прикладання, рівномірне навантаження, його початок і довжину. Натискаємо кнопку зберегти, після цього натискаємо додати мо-

мент, додати силу, додати навантаження. Можна додати будь яку кількість навантажень: моментів, зосереджених сил та рівномірних навантажень. Введені навантаження відображаються у списку. Після натискання на кнопку Побудувати схему будується схема згідно введених користувачем даних (Рис.2).

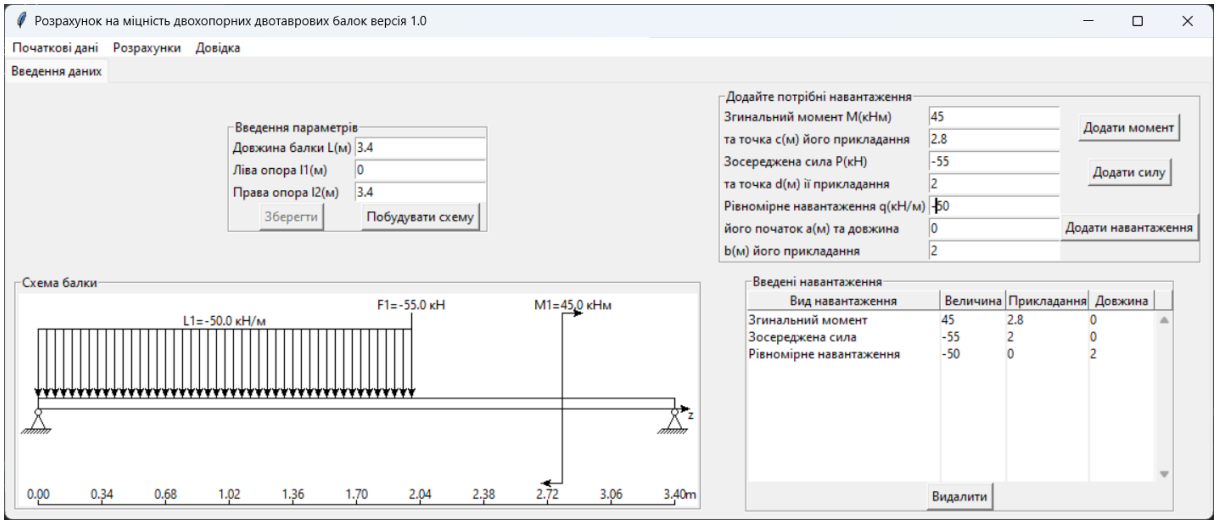


Рис. 2. – Введення початкових даних

2) Обираємо пункт меню Розрахунки->Опорні реакції для визначення опорних реакцій. В результаті з’явиться діалогове вікно з визначеними опорними реакціями(Рис.3).

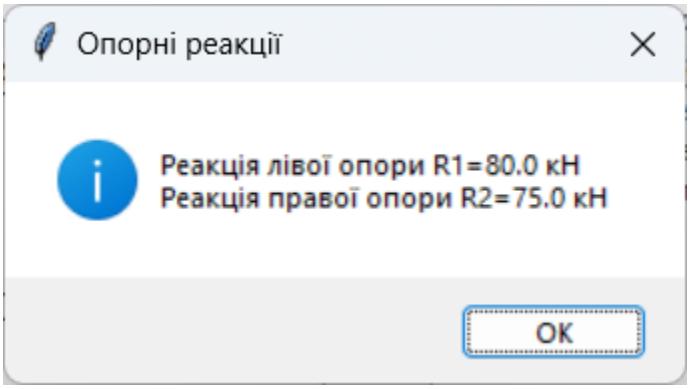


Рис. 3. – Визначення опорних реакцій

3) Обираємо пункт меню Розрахунки->Епюри для побудови епюр поперечних сил та згинальних моментів. Результат розрахунків показаний на Рис.4.

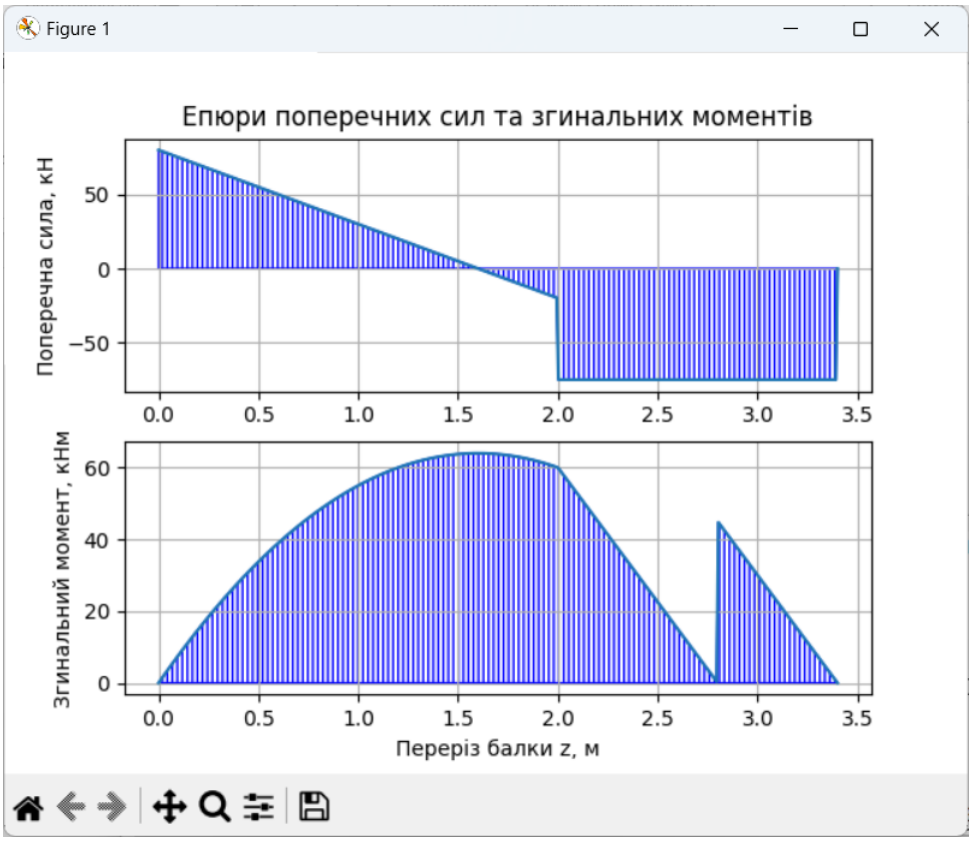


Рис. 4. – Епюри поперечних сил та згинальних моментів

4) Обираємо пункт меню Розрахунки->Номер профілю для розрахунку мінімального номеру двотавру, який задовольняє умові міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями (Рис.5).

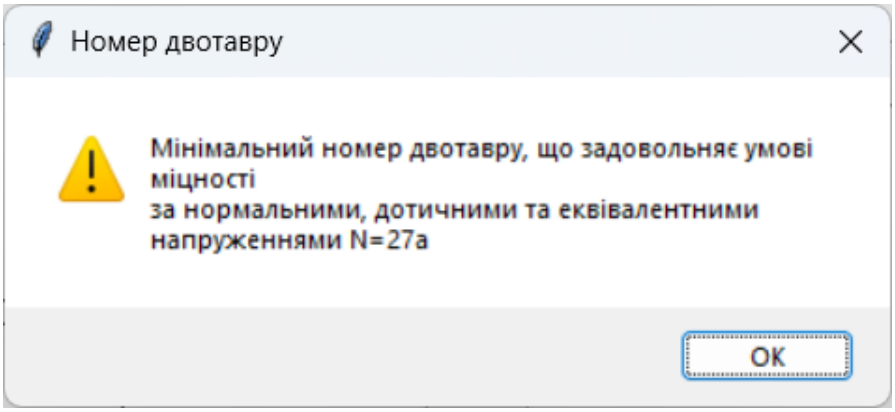


Рис. 5. – Визначення номеру двотавру

5) Обираємо пункт Розрахунки->Безпечний факторний простір для побудови безпечного факторного простіру профіля, який задовольняє умові міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями(Рис.6). Точками на Рис.6 показані координати (Q,M) у перерізах ба-

лки. Згідно зі спрощеню методикою розрахунку на міцність, якщо всі точки з координатами (Q,M) у перерізах балки не виходять за межі безпечного факторного простору, то обраний профіль задовольняє умові міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями.

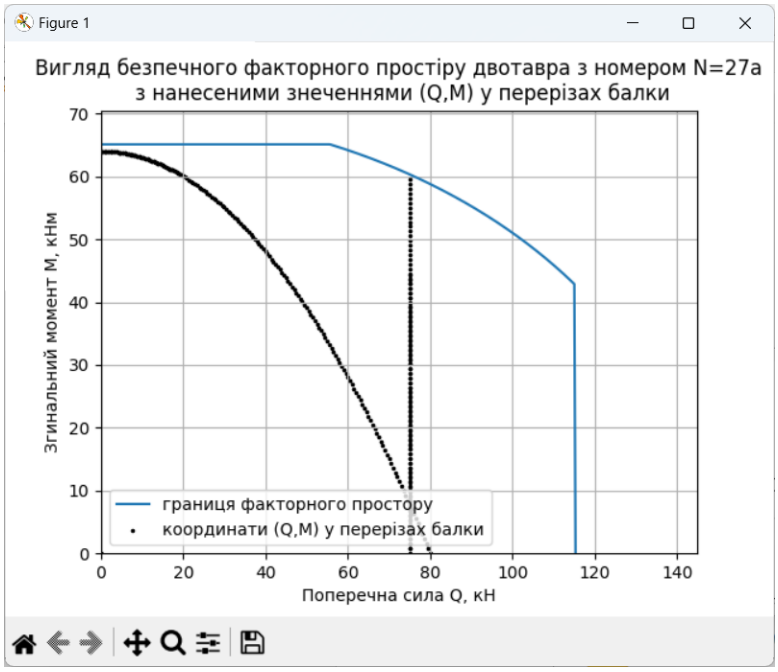


Рис. 6. – Безпечний факторний простір

6) Обираємо пункт Розрахунки->Порівняння з попереднім номером профілю для того, щоб переконатися, що обраний профіль є мінімальним, який задовольняє умовам міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями (Рис.7). З Рис.7 видно, що для попереднього номеру двотавру згідно ДСТУ 8768:2018 існують такі перерізи балки, в яких координати координати поперечних сил та згинальних моментів (Q,M) виходять за межі безпечниго факторного простору. Це свідчить про те, що знайдений номер двотавру є мінімальним, що забезпечує економію матеріалів.

Висновки. Створено комп'ютерну програму розрахунку на міцність балочних конструкцій за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями на основі методики використання безпечних факторних просторів, що спрощує і прискорює процес обчислень.

Програма є простою у використанні і має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача.

Розроблений програмний продукт можна рекомендувати фахівцям та студентам для використання в інженерній практиці та для навчання.

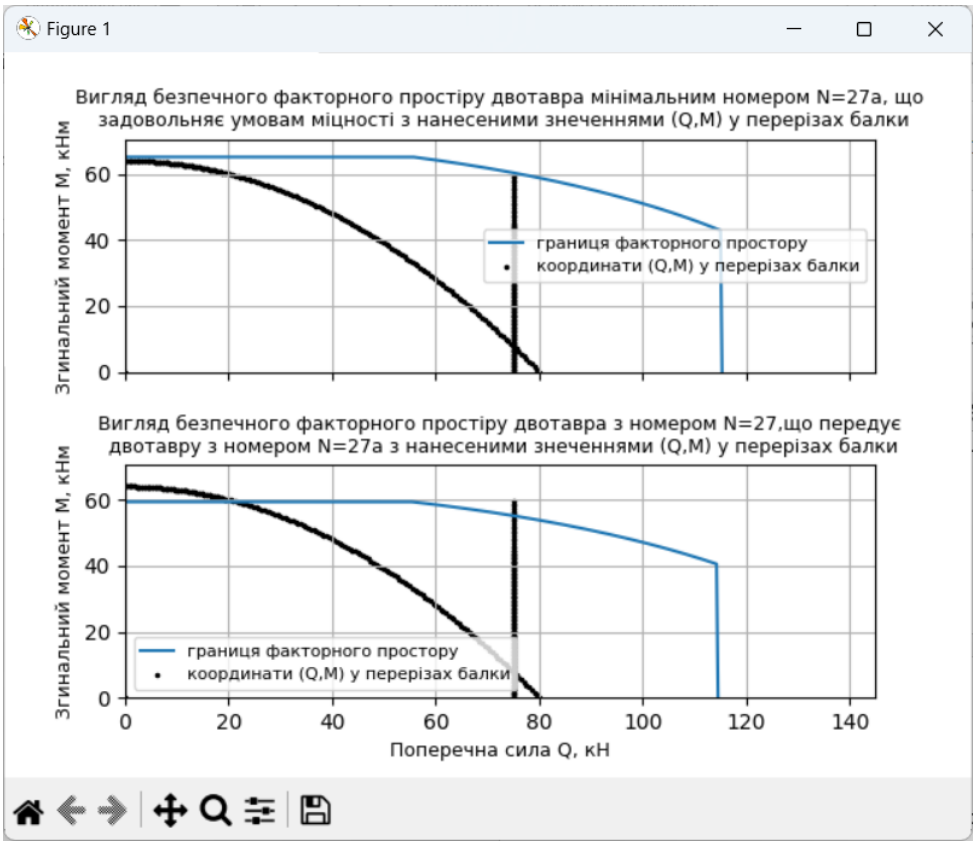


Рис. 7. – Порівняння з попереднім номером двотавру.

ЛІТЕРАТУРА

1. SkyCiv Beam Software | SkyCiv Engineering. SkyCiv Cloud Structural Analysis Software | Cloud Structural Analysis Software and Calculators. URL: https://skyciv.com/structural-software/beam-analysis-software/ (date of access: 15.10.2024).

2. Steel Beam Calculator - Detailed Calculations in Just Minutes. Steel Beam Calculator. URL: https://www.steelbeamcalculator.com/en-us/ (date of access: 15.05.2024).

3. Beam Calculator. MechaniCalc: Quick & Intuitive Calculations for Mechanical Engineers. URL: https://mechanicalc.com/calculators/beam-analysis/ (date of access: 15.10.2024).

4. Холодняк Ю. С., Костіков О.А., Чоста Н. В. Опір матеріалів : курс лекцій для студентів усіх механічних спеціальностей денної і заочної прискорених форм навчання. Краматорськ : ДДМА, 2023. 259 с.

5. Холодняк Ю. С., Костіков А. А., Подлєсний С. В., Капорович С. В. Про комп'ютерні програми до спрощеної методики комплексної оцінки міцності двотаврових балок. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2019. № 3 (47). С. 72–81.

6. Kholodnyak Yu., Kostikov A., Podlesny S. et al. About Computer Programs for Simplified Methodology of Complex Assessment of Strength of Two-beam Beams. Перспективні технології та прилади. 2019. No. 15. P. 99–108. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-15 (date of access: 15.10.2024).

7. Холодняк Ю. С., Костіков А. А., Подлєсний С. В., Капорович С. В. Розвиток комп'ютерних програм спрощеного розрахунку на міцність двотаврових балок. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2020. № 1 (48). С. 117–126.

УДК 37.01:378 (477)

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАЛЕЖНОГО ПОЛІГОНАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ФОРМ У BLENDER ТА AUTODESK 3DS MAX

І.В. Вернер[1], Є.О. Анпілогова[2], М.О. Сахонько[3]
[1]старший викладач кафедри конструювання, технічної естетики і дизайну, e-mail: ill3@ukr.net
[2,3]студент групи 132
[1,2,3]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі здійснено порівняльний аналіз інструментів залежного полігонального моделювання у двох провідних програмних середовищах для тривимірної графіки — Blender та Autodesk 3ds Max. Розглянуто особливості використання режиму м'якого виділення (Soft Selection) у 3ds Max та пропорційного редагування (Proportional Editing Mode) у Blender при формуванні складних органічних форм. Наведено приклади практичного застосування обох підходів, зокрема під час моделювання об'єктів із плавною топологією, таких як корпус стародавнього човна. Описано переваги, недоліки та візуальні аспекти обох режимів. Обґрунтовано важливість органічного моделювання в контексті дизайну та інженерії. Результати дослідження дозволяють зробити висновки щодо ефективності зазначених інструментів для моделювання складної геометрії в сучасному виробничому середовищі.

Ключові слова: тривимірне моделювання, полігональна сітка, органічні форми, Soft Selection, Proportional Editing, Blender, 3ds Max.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR COMPLEX SHAPES DEPENDENT POLY MODELING IN BLENDER AND AUTODESK 3DS MAX

Ilya Verner[1], Elisabeth Anpilohova[2], Maria Sakhonko[3]
[1]Lecturer, Department of Engineering and Generative Design, e-mail: ill3@ukr.net
[2,3]Student
[1,2,3]Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. This paper presents a comparative analysis of dependent polygonal modeling tools in two leading 3D graphics software environments — Blender and Autodesk 3ds Max. It examines the specific features of using the Soft Selection mode in 3ds Max and the Proportional Editing mode in Blender when shaping complex organic forms. Practical examples of both approaches are provided, particularly in the modeling of objects with smooth topology, such as the hull of an ancient boat. The advantages, disadvantages, and visual aspects of each mode are described in detail. The importance of organic modeling in the context of design and engineering is substantiated. The findings of the study support conclusions regarding the effectiveness of these tools for modeling complex geometry in modern production environments.

Keywords: 3D modeling, polygonal mesh, organic forms, Soft Selection, Proportional Editing, Blender, 3ds Max.

Вступ. У сфері комп'ютерної тривимірної графіки спостерігається домінування низки програмних пакетів, серед яких особливе місце посідають Autodesk 3ds Max та Blender [1, 2]. Популярність зазначених інструментів серед фахівців різного профілю – від інженерів та архітекторів до розробників ігор та спеціалістів з візуальних ефектів – є результатом дії комплексу взаємопов'язаних факторів, що потребують наукового аналізу.

Autodesk 3ds Max, як комерційний програмний продукт, набув значної популярності завдяки своїй розвиненій функціональності та інтегрованій екосистемі. Програма характеризується широким спектром інструментів для моделювання (полігональне, NURBS, сплайнове), текстурування (підтримка PBR-матеріалів, UV-розгортка), анімації (ключові кадри, IK/FK-рігінг), візуальних ефектів (базові системи частинок та динаміки) та рендерингу (інтеграція з Arnold, підтримка сторонніх рушіїв). Значну роль у його популярності відіграє також розвинена система плагінів, що розширює базову функціональність, та інтеграція з іншими продуктами Autodesk, забезпечуючи оптимізований робочий процес у межах корпоративної екосистеми. Статус 3ds Max як індустріального стандарту у багатьох галузях сприяє його вибору професіоналами, орієнтованими на комерційні проєкти та співпрацю в усталених виробничих ланцюгах.

На противагу комерційній моделі, Blender є програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом та безкоштовною ліцензією, що є визначальним фактором його зростаючої популярності. Відсутність фінансових бар'єрів забезпечує широку доступність інструменту для користувачів різного рівня підготовки та фінансових можливостей. Незважаючи на некомерційний характер, Blender демонструє комплексну функціональність, включаючи інструменти для моделювання (скульптинг, процедурне моделювання), текстурування (нодове редагування матеріалів, UV-розгортка), анімації (повноцінний рігінг та скіннінг), симуляції (фізика, рідини, частинки), візуальних ефектів (композитинг на основі нодів) та редагування відео. Ключову роль у розвитку та популяризації Blender відіграє активна міжнародна спільнота розробників та користувачів, що забезпечує постійне вдосконалення програмного забезпечення, створення великої кількості навчальних матеріалів та оперативну технічну підтримку. Гнучкість інтерфейсу та можливість кастомізації також є важливими факторами, що сприяють адаптації Blender до індивідуальних робочих процесів.

Порівняльний аналіз факторів популярності [3] свідчить про те, що 3ds Max зберігає лідерські позиції у сегменті комерційної розробки завдяки своїй усталеній репутації, інтеграції в індустріальні стандарти та розвиненій

екосистемі. Натомість, Blender демонструє стрімке зростання популярності, обумовлене його безкоштовністю, потужною функціональністю, підтримкою активної спільноти та гнучкістю.

Метою наданої роботи є проаналізувати режими залежного редагування у полігональному моделюванні, виявити області їх застосування та порівняти можливості найбільш потужних графічних редакторів Blender і 3Ds Max.

Матеріал і результат досліджень. У сфері комп'ютерного проєктування та цифрового дизайну органічне моделювання посідає провідне місце як з точки зору естетичних вимог, так і з позицій функціональності. Під терміном *органічне моделювання* розуміють процес створення тривимірних об'єктів із плавними, нерегулярними, криволінійними поверхнями, які імітують форми, притаманні живим організмам або природному середовищу. Такі форми не піддаються точному геометричному опису за допомогою стандартних примітивів або регулярної топології, що зумовлює необхідність застосування спеціалізованих інструментів та методів, зокрема пропорційного редагування та режиму м'якого виділення.

Застосування органічного моделювання є актуальним у низці галузей. У промисловому дизайні воно дозволяє створювати ергономічні форми для пристроїв, меблів, засобів пересування тощо, де критичним є поєднання функціональності, естетики та комфорту користувача. У біомедичній інженерії органічне моделювання використовується для побудови імплантатів, ортопедичних виробів та хірургічних симуляцій, де точне відтворення анатомічних форм є обов'язковою вимогою. У архітектурі йдеться про формування складних оболонкових конструкцій, біонічних фасадів і нетипових об'ємно-просторових рішень, що вимагають нетрадиційних підходів до моделювання.

Окрім прикладних переваг, органічне моделювання є фундаментальним для реалізації концептуального проєктування — процесу, що передбачає пошук ідеї через форму, а не лише через технічні параметри. Плавність, безперервність і взаємна залежність частин форми створюють додаткові можливості для реалізації творчого задуму з урахуванням матеріальних, конструктивних і виробничих обмежень.

У контексті цифрового виробництва та адитивних технологій (3D-друку) органічне моделювання дозволяє формувати геометрії, які недоступні для традиційних методів обробки матеріалів. Це відкриває шлях до оптимізації маси конструкцій, підвищення біомеханічної сумісності, покращення аеродинамічних та гідродинамічних характеристик.

Одним із найпотужніших інструментів для створення високодеталізо-

ваних тривимірних об'єктів є програмне середовище Autodesk 3ds Max. Завдяки гнучкому інтерфейсу, розвиненому набору інструментів і підтримці сучасних методів полігонального моделювання, 3DS Max дозволяє розробляти складні органічні та технічні форми з високим рівнем точності.

У 3Ds Max є інструментарій, який дозволяє розробку та плавне редагування вершин, ребер або граней без створення жорстких переходів [4]. Ми розглянемо один з елементів інструментарію – це режим м'якого виділення (Soft Selection). Замість того, щоб змінювати тільки вибрані елементи, Soft Selection дозволяє впливати і на сусідні елементи, що дає змогу моделювати природні вигини, нерівності або викривлення.

Інструмент налаштовується у відповідній вкладці Editable Poly або Editable Mesh, де користувач може вказати радіус впливу, криву падіння сили впливу (Falloff) та інші параметри (рис.1). Цей метод особливо ефективний під час створення обличь, м'язових форм, тканин та інших органічних структур. На прикладі продемонстровано використання режиму при обиранні одного полігона за центром площині розділеної на 50 осередків за шириною і довжиною. Для регулюванні форми використовуються мініатюра кривої на командній панелі. Форму кривої можливо змінювати параметрами Pinch та Bubble, які відповідно дозволяють задавати форму кривої на їх верхній точці та форму розповсюдження по поверхні знизу.

Таким чином користувач додатку під час моделювання може самотужки визначити будь-яку форму для потреб моделювання. На панелі існують додаткові інструменти для гнучкого обирання елементів за допомоги пензля та його налаштування. Із недоліків слід вказати що передбачити точно яку форму прийме об'єкт можна лише емпіричним шляхом. Також неможливо змінювати вплив інструментарію під час процесу моделювання.

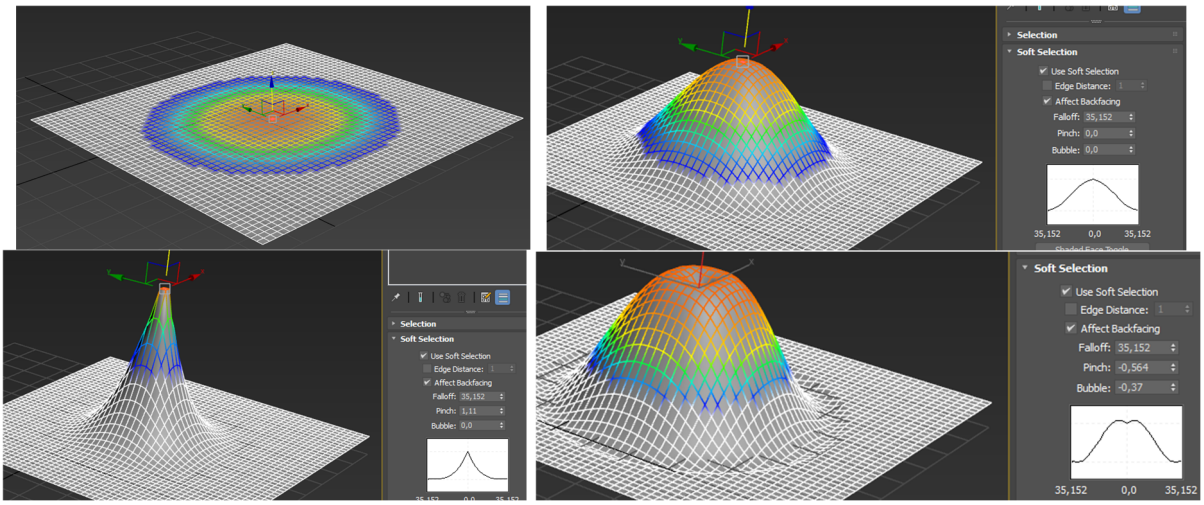


Рис.1. – Використання режиму м'якого виділення

На моделі вплив відображається різними кольорами. Так яскраво-червоний позначає вибрані елементи (максимальний вплив). Оранжевий → Жовтий → Зелений → Блакитний — позначають зону зменшення впливу, де елементи також будуть деформовані, але слабше. Сірий колір - це частини геометрії за межами впливу (залишаються незмінними).

Розглянемо на практиці приклад утворення форми під час моделювання стародавнього човна. За основу береться куб, змінюється його довжина та додається певна кількість полігонів за горизонталлю та вертикаллю (рис. 2). Наступним кроком можна обрати наприклад режим редагування вершин, обрати усі ніжні вершини та застосувати режим м’якого виділення. Після чого слід налаштувати розповсюдження та форму кривої і стиснути інструментом масштабування. Так само обрати вершини на торці та стиснути для утворення носової частини.

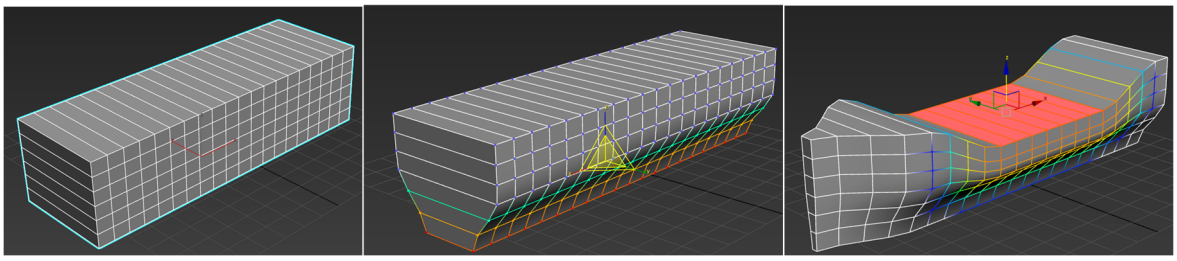


Рис.2. – Приклад утворення форми човна

Для порівняльного аналізу розглянемо аналогічну методику моделювання у середовищі Blender [5]. Одним із ключових інструментів у Blender для створення таких форм є пропорційне редагування (Proportional Editing Mode), що дозволяє модифікувати геометрію об'єкта плавно та передбачувано. Пропорційне редагування дає змогу впливати на точки (вершини), ребра або грані не лише вибраного елементу, але й на його сусідів, залежно від визначеного радіусу дії. Радіус впливу прі праці в режимі можлива як задавати перед початком редагування, так і під час самого процесу, завдяки колеса миші. Це одна з переваг наданого режиму у Blender перед 3DS Max. Натомість задати форму викривлень вільно не вийде, тому що існують лише передбачені у налаштуваннях варіанти кривих викривлення (рис.3).

На практиці розглянемо можливості використання режиму за відповідними формами кривих (рис.4). На зображенні продемонстровано площина, що розбита на полігони по ширині та довжині. У режимі редагування полігонів обрано один полігон. Обираючи із наданих форм кривих послідовно були перелічені усі, командою пересування полігона догори отримана різна форма. Радіус дії на усіх застосованих варіантах не змінювався.

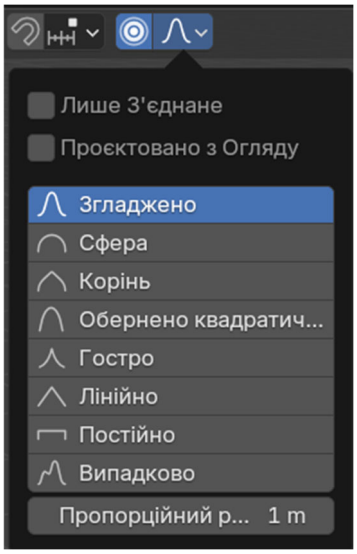


Рис.3. – Налаштування режиму

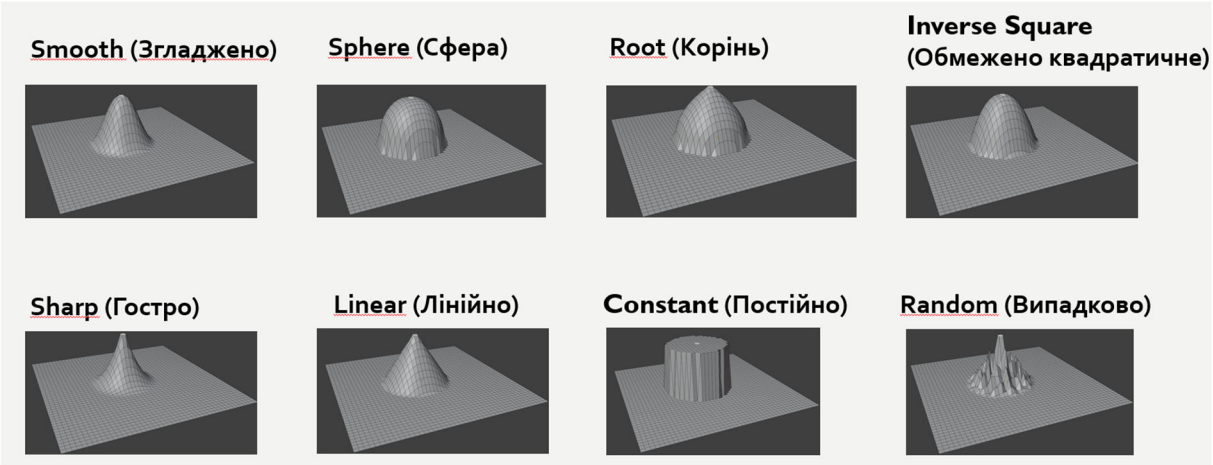


Рис.4. – Використання пропорційного редагування

Для порівняння практичного досвіду розглянемо процес утворення форми для стародавнього човна у Blender. За основу теж виберемо куб, форму якого витягнемо за горизонталлю. Після чого наріжемо геометрію за довжиною та висотою. В режими редагування вершин, виділимо усі ніжні та з активним режимом пропорційного редагування стиснімо їх командою масштабування. Під час дії команди на екрані буде відображатися коло, яке вказує на радіус впливу. Для змінення радіусу впливу використовуємо колесо миші (рис.5). Після утворення нижньої частини необхідно виділити торцеві вершини (або полігони) та стиснути їх командою масштабування для утворення передньої частини човна.

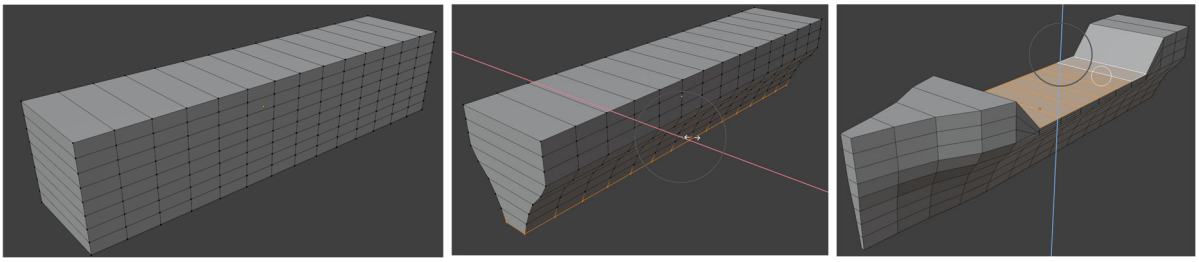


Рис.5. – Приклад утворення форми човна

Висновки. На основі теоретичного аналізу та практичної апробації методів залежного моделювання у Blender та Autodesk 3ds Max, встановлено, що обидва інструменти дозволяють ефективно формувати складні органічні поверхні за допомогою різних механізмів плавного впливу на геометрію. Soft Selection у 3ds Max надає розширені можливості щодо налаштування кривої впливу, тоді як Proportional Editing у Blender демонструє більшу гнучкість під час взаємодії, зокрема через зміну радіусу дії безпосередньо в процесі моделювання. В обох випадках забезпечується поступовий вплив на навколишні елементи сітки, що дозволяє досягати природності форм і уникати різких переходів.

Практичні приклади (моделювання човна) підтверджують високий рівень придатності зазначених підходів до проектування предметів із плавною геометрією. Водночас встановлено, що у 3ds Max користувач має вищу точність контролю над формою, тоді як у Blender — швидкість і динамічність редагування.

З огляду на актуальність органічного моделювання для інженерії, промислового дизайну, візуалізації та комп'ютерної анімації, подальші дослідження доцільно спрямовувати на удосконалення алгоритмів гібридного редагування, що поєднує переваги обох середовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Blender — Home [Електронний ресурс] // blender.org. – URL: https://www.blender.org/ (дата звернення: 05.04.2025).

2. 3ds Max Features | Modeling, Rendering & Animation Software [Електронний ресурс] // Autodesk. – URL: https://www.autodesk.com/products/3ds-max/features (дата звернення: 05.04.2025).

3. Hendriyani Y., Amrizal V. A. The Comparison Between 3D Studio Max and Blender Based on Software Qualities. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1387. P. 012030. URL: https://doi.org/10.1088/1742-6596/1387/1/012030 (date of access: 04.04.2025).

4. Kelly Murdock Autodesk 3ds Max 2025 Basics Guide. SDC Publications, 2024. 900 p.

5. Alistair Hawkewood Blender 4.3 For Beginners: The Complete Guide to 3D Modeling, Animation, Rendering, and Game Development for Artists, Designers, and Developers. Kindle, 2025. 320 p.

УДК 004.421

ПРО ЗАДАЧУ ПОБУДОВИ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

А.А. Косолапов[1], О.В. Глушков[2]
[1]професор кафедри електронних обчислювальних машин, д.т.н., e-mail: kosolapof@i.ua
[2]аспірант кафедри електронних обчислювальних машин, e-mail: regfin.mail@gmail.com
[1,2]Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), Дніпро, Україна

Анотація. У статті сформульовано задачу оптимізації структури інформаційних комунікацій у складних системах управління та запропоновано евристичний підхід до побудови мінімального остового графа з урахуванням обмежень на інформаційні потоки. Наведено покроковий макроалгоритм формування інфокомунікаційної структури з мінімальним зростанням інформаційного навантаження. Описано приклад побудови оптимізованої інфо-структури для підприємства, що дозволяє значно зменшити довжину комунікаційних ліній і мінімізувати кількість непродуктивних інформаційних каналів.

Ключові слова: евристичний алгоритм, кібер-фізичні системи, системи управління.

ON THE TASK OF BUILDING A RATIONAL STRUCTURE OF INFOCOMMUNICATION IN MANAGEMENT SYSTEMS

A.A. Kosolapov[1], O.V. Hlushkov[2]
[1]Professor of the Department of Electronic Computing Machines, Dr. Sci. (Technical Sciences), Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine, e-mail: kosolapof@i.ua
[2]PhD student of the Department of Electronic Computing Machines, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine, e-mail: regfin.mail@gmail.com

Abstract. This article formulates the problem of optimizing the structure of information communications in complex control systems and proposes a heuristic approach for constructing a minimum spanning graph under constraints related to information flows. A step-by-step macro-algorithm is provided for developing an infocommunication structure with minimal growth in data load. An applied example is presented for an enterprise, demonstrating the reduction of total communication line length and elimination of inefficient information channels.

Keywords: heuristic algorithm, cyber-physical systems, control systems.

Вступ. Процес розвитку прикладних комп'ютерних систем описано в монографії [1]. Системний аналіз процесу комп'ютеризації показав, що в даний час мова йде про створення соціо-кібер-фізичних систем (СКФС).

Вони характеризуються зростаючою структурною складністю інформаційних процесів взаємодії підсистем. Для таких систем можна розглядати два рівні структурної оптимізації: транспортний рівень комунікацій на підприємстві та інформаційний рівень процесів функціонування систем. Для першого класу структур відомі методи побудови мінімальних остових дерев за критерієм мінімізації сумарної довжини комунікацій [2].

Для інформаційних структур актуальною є задача інформаційної логістики, коли необхідно зменшити інформаційну структуру до рівня мінімального остового дерева шляхом видалення та перенаправлення малорозмірних інформаційних потоків по інших коротких зв'язках.

Метою роботи є формалізація задачі побудови раціональної інформаційної структури в складних кібер-фізичних системах управління та розробка евристичного алгоритму оптимізації інфокомунікаційної топології з урахуванням мінімізації непродуктивних зв’язків і збереження функціонального навантаження між підсистемами.

Основний матеріал.

Постановка задачі

У цьому разі задача оптимізації представляється таким чином: для неорієнтованого графа з дуплексними зв'язками:

Маємо вихідний граф $G_0(N, V, S_0, P_0, W_0)$, де V- множина вузлів, S_0 – множина зав’язків у графі $(S_0 \gg V)$, P_0 –множина шляхів у графі $\{p_{ijk}(v_i, v_j)\}$ –це один з можливих шляхів k між вузлами v_i, v_j. Кожен шлях складається з послідовності (ланцюжка) зв’язків $p_{ijk} = s_i, s_{i+1}, \dots, s_j$, складність (довжину) шляху k будемо оцінювати кількістю ланцюгів n у шляху k , $L(p_{ijk}) = n(s_i, s_{i+1}, \dots, s_j,)$. W_0 – сумарний інформаційний потік в початковому графі, або його інформаційна завантаженість, далі «Zi», що рахується як $Zi_0 = W_0 = \sum_{\forall s_i \in S_0} w_{s_i}$.

Таким чином задачу оптимізації інформаційних структур підвищеної складності для СКФС можна сформулювати так:

Знайти оптимальну інформаційну структуру – неорієнтований остовий граф, без непродуктивних зв'язків зі збереженням доступу до всіх вузлів графа і перерозподілом їхніх потоків за іншими короткими маршрутами. При цьому необхідно, щоб збільшення його інформаційної завантаженості було мінімальним (Zi - min)

$$G_{opt}(S_{opt} = V - 1, \qquad \Delta W_{opt} = \Delta Zi = W_0 - W_{opt} \to min)$$

Евристичний метод побудови раціональної структури інфокомунікацій

Розглянемо сутність пропонованого методу у вигляді послідовності кроків макроагоритму.

Крок 1. Підготовка всіх необхідних даних опису вихідного графа $G_0(N, V, S_0, P_0, W_0)$.

Крок 2. Визначаємо показник Zi графа (обчислюємо ΔZi на наступних ітераціях) ;

Крок 3. Формуємо впорядковану послідовність усіх зв'язків $S \gg V$ у порядку зростання їхньої пропускної здатності;

Крок 4. Знаходимо всі шляхи між парами вершин графа v_i, v_j. Упорядковуємо їх за зростанням їхньої довжини, або кількості ланок у ланцюжку шляху $(s_i, s_{i+1}, \ldots, s_j,)$;

Крок 5. Вибираємо елемент на видалення у списку зв'язків. Вибираємо для нього один маршрут в області найкоротших шляхів. Інформаційний потік зв'язку, що видаляється, додаємо до всіх ланок зв'язків в обраному маршруті.

Крок 6. Оновлюємо масиви зв'язків і маршрутів.

Крок 7. Якщо кількість зв'язків S у графі не дорівнює $V - 1$, то переходимо до кроку 2, інакше - крок 8.

Крок 8. Виведення результатів роботи методу: Zi, структура графа, склад потоків у кожному зв'язку кожного маршруту.

Приклад опису графів та їх перетворень

На рисунку 1 подано табличний опис вихідного графа. У прикладі обрано для ілюстрації просту структуру з шести підсистем.

На рисунку 2 - графічне представлення вихідного графа. Для формування оптимальної структури комунікацій на підприємстві побудовано мінімальне остове дерево комунікації (рис. 3). Це передбачувана технічна структура каналів взаємодії між підсистемами.

12	Matrix of channels					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	1	1	1	1
3	1	0	0	1	0	1
4	0	0	0	0	1	0
5	1	0	1	0	0	1
6	0	1	0	1	1	0

	Length of channels (km)					
	1	2	3	4	5	6
1	n	n	n	n	n	9,156
2	n	n	1,351	7,183	6,554	3,482
3	5,906	n	n	5,758	n	7,701
4	n	n	n	n	3,382	n
5	7,110	n	5,092	n	n	2,078
6	n	7,966	n	4,608	1,154	n

Рис. 1. - Табличний опис вихідного графа

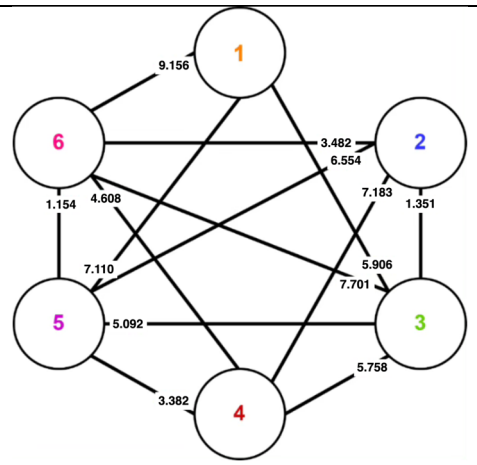


Рис. 2. - Графічне представлення вихідної структури комунікацій.

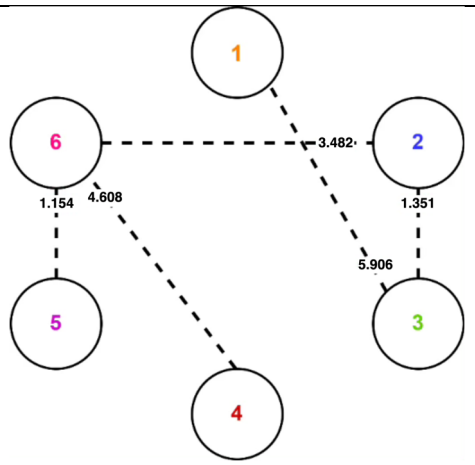


Рис. 3. - Мінімальне остове дерево транспортних комунікацій.

Результат: отримано мінімальне остове дерево комунікацій між підсистемами на підприємстві. Існуюча система (рис. 2) має сумарну довжину всіх каналів ***68.437*** км, у запропонованій схемі (рис. 3) вона складає ***16.501*** км. У підсумку економія кабелю для комунікацій становить ***51.936*** км. Це без урахування інфокомунікацій.

Для початкової структури комунікацій на підприємстві визначено інформаційні потоки в кожному її каналі. Вони описані у відповідній таблиці на рис 4. Її графічне представлення наведено на рис. 5. Результат побудови оптимальної структури інфокомунікацій з використанням описаного алгоритму наведено на рис. 6.

	Flows of information (Mb/s)					
	1	2	3	4	5	6
1	n	n	n	n	n	4,1
2	n	n	9,6	7,0	0,2	4,0
3	6,1	n	n	9,4	n	6,3
4	n	n	n	n	8,8	n
5	8,4	n	2,6	n	n	0,9
6	n	7,4	n	3,7	2,5	n

Рис. 4. - Табличний опис інформаційних потоків у вихідному графі.

У результаті використання зазначеного алгоритму було отримано мінімальне остове дерево графа інфокомунікацій з мінімальним збільшенням інформаційної завантаженості системи. Результатом оптимізації схеми інформаційних потоків між об’єктами є зменшення числа непродуктивних інфоканалів при сумарному навантаження у решти підсистем зросло з *81.3*

Мб/с до *152.9 Мб/с*, тобто на *71.6 Мб/с*.

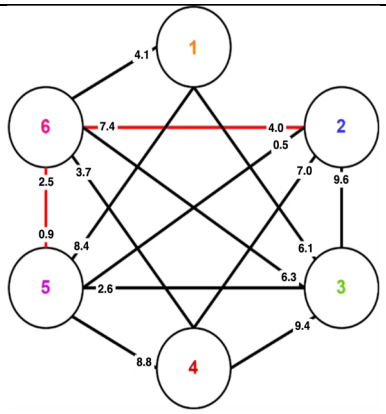


Рис. 5. - Графічне представлення вихідних інфокомунікацій

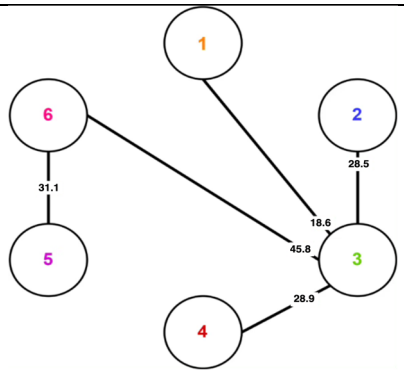


Рис. 6 .- Оптимальна структура інфокомунікацій між підсистемами без урахування транспортної структури (рис. 2, 3).

Висновки. Процес формування транспортної структурі комунікацій та інфокомунікацій часто не збігаються на підприємстві. Необхідно розв'язати задачу отримання узагальненої транспортно-інформаційної структури, однак вона потребує окремого розгляду.

У даній статті обрано найпростіший спосіб вибору альтернативних шляхів для інформаційних потоків за критерієм мінімальної кількості ланок у маршруті, що обирається. Навіть у цьому випадку час розв'язання задачі для складних систем досить великий.

У принципі під час вибору альтернативного шляху необхідно враховувати експлуатаційні характеристики його ланок: граничну пропускну спроможність ланок шляху, показники надійності маршрутів, вартості їхньої експлуатації та інші.

Для розширеної постановки завдання необхідно використовувати методи штучного інтелекту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kosolapov A.A., Yehorov O. Y., Parpalita O.M. Synergy of systems - socio- cyber-physical systems (SCPS) Monographic series «European Science» Book 33. Part 1. In internationalen wissenschaftlich-geometrischen Datenbanken enthalten Included in International scientometric databases MONOGRAPHIE MONOGRAPHScientificWorld-NetAkhatAV Karlsruhe 2024.

2. Христофідес Н. Теорія графів: алгоритмічний підхід / Н. Христофідес ; пер. з англ. — Львів : Світ, 1978. — 432 с.

УДК 631.3; 658.382

ОЦІНКА НЕБЕЗПЕК ТА ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА СИСТЕМ НА ПРИКЛАДІ ТОВ ПП "ЗІП"

О.А. Крюковська
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики, Дніпровський державний технічний університет, Дніпро, Україна, e-mail: olga.krukovska@i.ua

Анотація. У роботі на прикладі діючого промислового підприємства виконана оцінка небезпек та розглянуті професійні ризики при експлуатації теплоенергетичного обладнання. Надана методика процедури ідентифікації небезпек, рекомендації щодо мінімізації професійних ризиків.

Ключові слова: небезпеки, ризики, ідентифікація, обладнання.

ASSESSMENT OF HAZARDS AND OCCUPATIONAL RISKS DURING THE OPERATION OF THERMAL POWER EQUIPMENT AND SYSTEMS: A CASE STUDY OF ZIP LLC

Olga Kriukovska
Ph.D., Associate professor of the Department of Thermal Power Engineering, Dnipro, Ukraine
e-mail: olga.krukovska@i.ua

Abstract. This study presents an assessment of hazards and a review of occupational risks associated with the operation of thermal power equipment, using a functioning industrial enterprise as a case study. The paper provides a methodology for the hazard identification procedure and offers recommendations for minimizing occupational risks.

Keywords: hazards, risks, identification, equipment.

Вступ. В період військової агресії досить актуальними й проблемними питаннями в промисловості України і для цивільного населення є безперервна, надійна та безпечна робота систем електропостачання та теплопостачання, а саме робота енергоблоків теплових електричних станцій, атомних станцій, теплоцентралей промислових підприємств та міст. Безвідмовна та надійна робота цих систем забезпечує нормальну роботу соціально-побутових та промислових підприємств, а також безпеку та комфорт населення.

Теплоенергетика – одна з основних галузей народного господарства, яка відіграє важливу економічну та соціальну роль у глобалізаційному розвитку України. Продукція галузі постійно йде на внутрішній ринок та на експорт у різні країни, забезпечуючи прибуток державі та її розвиток в різних

напрямах. Ця галузь має широкий спектр напрямів, частково або суттєво теплоенергетичні установки використовуються на різних промислових підприємствах інших гілузей промисловості, тому теплоенергетика і відрізняється значними ризиками, серед яких і професійні, що різняться залежно від профілю роботи галузевого підприємства, виробничого устаткування, обладнання, які застосовуються.

Мета роботи полягає в оцінці небезпек та професійних ризиків при експлуатації теплоенергетичного обладнання та систем. Розглянемо роботу підприємства ТОВ "ПП ЗІП", яке розташовано у місті Кам`янське, Дніпропетровської області. Це сучасний високотехнологічний виробник лакофарбових, клейових та хімічних матеріалів широкого спектра застосування в побуті та промисловості з власною філіальною мережею по Україні, відоме не лише на українському ринку, а і за її межами. На підприємстві працює близько 300 осіб.

Матеріал і результат досліджень. Технологічні потужності підприємства дозволяють виробляти більш ніж 60000 тон продукції на рік. Лінії сформовані на основі високопродуктивного обладнання провідних світових виробників машин для лакофарбової промисловості NETZSCH (Німеччина), Profarb (Польща), Oliver&Batlle (Іспанія), Fast&FluidManagement (Нідерланди), Dramont (Італія) [1]. Основними ланками на цьому підприємстві є дільниці виробництва емалей, дільниці розливки та упаковки продукції, упаковки та зберігання готової продукції. Враховуючи специфіку виробництва та значну кількість хімічних речовин, що використовуються в якості сировини при виробництві продукції підприємства, на майже всіх виробничих ділянках встановлені системи вентиляції, які призначені для забезпечення нормальних санітарно-гігієнічних, метеорологічних, пожежновибуховобезпечних умов у виробничих приміщеннях підприємства.

Підрозділи підприємства та персонал, виконуючий роботи з експлуатації, обслуговування та ремонту систем вентиляції під час виконання робіт, особливо при недотриманні інструкції з охорони праці з безпечних методів роботи при експлуатації, обслуговуванні та ремонті вентиляційних установок мають професійні ризики отримання травм (внаслідок недостатньої освітленість робочої зони, поразки електричним струмом, падіння з висоти, дотику до гарячих поверхонь обладнання, несправності інструменту, пристосувань, драбин) та професійних захворювань (внаслідок підвищеної або зниженої температури повітря робочої зони, підвищеної або зниженої рухливості повітря робочої зони, наявності у повітрі робочої зони шкідливих речовин, підвищеної запиленості повітря робочої зони) [2]. Серед загалу робітників підприємства можна виділити професії, які мають найбільшу кількість

небезпек на робочому рівні та високий рівень ризику. До них належать: слюсарі – ремонтники, механіки, вантажники.

Відповідно до Кодексу законів про працю України, забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці покладається на роботодавця, крім випадків укладення між працівником та роботодавцем трудового договору про дистанційну роботу (ст. 153) [3].

Джерелом інформації про умови праці на робочих місцях є ідентифікація шкідливих та небезпечних виробничих факторів, яка проводиться на підприємствах теплоенергетики:

– для виявлення подій та інцидентів, що завдають шкоди здоров'ю та безпеці персоналу, а також для оцінки обсягу та терміновості проведення заходів щодо їх запобігання;

– зниження ризиків до прийнятного та економічно обґрунтованого рівня, а також зниження витрат на виплати компенсацій у зв'язку з частковою чи повною втратою працездатності працівників.

Загальне керівництво процедурою ідентифікації небезпек та оцінки професійних ризиків здійснює керівник системи управління охороною праці підприємства або призначені ним особи із залученням працівників чи його представників.

Підготовчий етап включає: підготовку та видання наказу щодо організації самої процедури; складання, погодження та затвердження графіка проведення робіт з ідентифікації небезпек та оцінки ризиків; інформування працівників про початок роботи; підготовку контрольних листів, анкет, опитувальних листів; підготовку нарад із фахівцями, які спеціалізуються саме в напряму діяльності даного підприємства галузі [4].

Для отримання результатів оцінки професійних ризиків необхідно використовувати [5, 6]:

– розпорядження, видані органами державного нагляду та контролю;

– результати спеціальної оцінки умов праці;

– результати виробничого контролю за станом умов та охорони праці;

– матеріали розслідувань нещасних випадків, професійних захворювань та травм;

– дані щодо надання першої допомоги, використання аптечок першої допомоги у структурних підрозділах;

– звіти про технічне обслуговування обладнання;

– інструкції та рекомендації з експлуатації обладнання;

– протоколи нарад з охорони праці;

– скарги та звернення працівників з приводу наявних факторів небезпеки;

– інші дані, необхідні для ідентифікації небезпек та оцінки професійних ризиків за запитом експерта.

Оцінку професійного ризику проводять для кожної ідентифікованої небезпеки із комбінації ймовірності (частоти) виникнення небезпечної події, а також тяжкості збитків, які завдають небезпеки.

Категорії професійного ризику розрізняють на п'ять рівнів: мінімальний, помірний, середній, значний, неприпустимий. При мінімальному ризику не потрібні спеціальні дії, лише слід постійно контролювати рівень ризику. У разі помірного, середнього або значного рівнів ризику заходи для зменшення ризику необхідні, їх проведення необхідно спланувати та проводити за графіком або в певні строки, або терміново – залежно від виявленого ступеню ризику відповідно. У разі виявлення неприпустимого ризику виконуємих робіт слід негайно призупинити роботи до часу поки рівень ризику не буде знижено шляхом застосування певних заходів.

Результати оцінки професійних ризиків заносяться до карти із зазначенням його категорії. Для ухвалення рішення про розміщення пріоритетів зі спостереження, контролю та управління ризиками на основі критеріїв прийнятності ризику проводять порівняльну оцінку професійних ризиків.

При оцінці існуючих та формуванні нових заходів управління зазвичай рекомендується наступна пріоритетність заходів щодо зниження ризиків: усунення небезпеки/ризику; заміна одного ризику іншим; технічні заходи; використання плакатів та знаків безпеки та/або адміністративних заходів управління ризиками; застосування засобів індивідуального захисту [6].

Провевши процедуру оцінки рівня ризику до зазначених вище професій (слюсарі – ремонтники, механіки, вантажники) на підприємстві ТОВ ПП “ЗІП” можна зробити висновки про те, що дані працівники мають значний, а інколи і неприпустимий рівень ризику при виконанні своїх професійних обов’язків.

Для зменшення рівня ризику працівникам слід дотримуватися вимог безпеки перед початком роботи (перевірити і одягнути спецодяг, взути спецвзуття, а при необхідності засоби індивідуального захисту; отримати завдання від керівника робіт; для експлуатаційного персоналу систему вентиляції включати за 10-20 хвилин до початку роботи, спочатку включаються витяжні системи, а потім – припливні; уважно оглянути робоче місце і робочу зону, прибрати все, що може перешкодити роботі; технічне обслуговування пристроїв та обладнання систем вентиляції слід проводити з урахуванням вимог інструкцій заводів-виробників та технічної документації на системи вентиляції; огляд і технічне обслуговування резервного обладнання проводити безпосередньо перед включенням його в роботу; перевірити

стан захисного покриття обладнання та справність заземлення; у разі виявлення несправності вентиляційної системи необхідно негайно повідомити про це керівника робіт і без його вказівок до роботи не приступати), під час їх виконання (переконатися в достатній освітленості робочого місця, при необхідності використання переносної лампи перевірити наявність на лампі захисної сітки, справність шнуру та ізоляційної трубки, напруга місцевого освітлення повинна бути не більше 42 В, а переносних електролампах - не більше 12 В; для роботи використовувати тільки справні інструменти та пристосування, перевірити справність приставних і розсувних драбин; у виробничих приміщеннях, в яких виділяються шкідливі та горючі речовини, системи вентиляції повинні включатися за 10-20 хвилин до початку роботи; у процесі експлуатації вентиляційне обладнання підлягає негайному відключенню при підвищеній вібрації, появі ударів, стороннього шуму, вогню і диму, підвищення температури корпусу електродвигуна вище встановленої величини за паспортом або температури підшипників вище 70ºС; все вентиляційне обладнання, металеві повітроводи повинні бути заземлені; слід систематично оглядати всі повітроводи і усувати виявлені дефекти, чистити сітки повітроприймальних та повітророзподільних пристроїв не рідше 1 разу на квартал; ремонтні роботи та роботи з реконструкції систем вентиляції на дільниці виробництва емалей, дільниці розливки та упаковки продукції і дільниці розливання розчинників, повинні проводитися тільки після їх чистки при зниженні концентрацій вибухопожежонебезпечних речовин всередині вентиляційного обладнання та в зоні виконання робіт до безпечних рівнів; роботи з ремонту, реконструкції та заміни вентиляційного обладнання повинні проводитися з використанням вантажопідйомних механізмів, при цьому необхідно перевіряти надійність кріплення підйомних механізмів, а також виключити можливість знаходження працюючих під вантажем) та по закінченню робіт (експлуатаційному персоналу - вимкнути вентиляцію спочатку припливну, а потім – витяжну, очистити всмоктуючі парасольки витяжної системи від забруднень і фарби; для ремонтного персоналу - перевірити, чи не залишився всередині обладнання якийсь інструмент або деталі; привести до ладу робоче місце, прибрати сміття та відходи, очистити від бруду і скласти у відведене місце інструмент та пристосування; зняти спецодяг та засоби індивідуального захисту і розмістити їх у відведене місце).

Законодавством України обов’язки вживати заходів для полегшення і оздоровлення умов праці працівників шляхом впровадження сучасних технологій, досягнень науки і техніки, засобів механізації та автоматизації виробництва, вимог ергономіки, кращого досвіду з охорони праці, зниження та усунення запиленості і загазованості повітря у виробничих приміщеннях,

зниження інтенсивності шуму, вібрації, випромінювань покладені на роботодавця. Також роботодавець зобов'язаний вживати заходів для забезпечення безпеки і захисту фізичного та психічного здоров'я працівників, здійснювати профілактику ризиків та напруги на робочому місці, проводити інформаційні, навчальні та організаційні заходи щодо запобігання та протидії мобінгу [3] .

Висновки. На підприємствах України слід максимально застосовувати сучасні підходи і міжнародний досвід щодо управління охороною праці, впроваджувати міжнародний стандарт OHSAS 18001:1999 щодо виявлення і мінімізації рівня професійного ризику, використовувати вже працюючі міжнародні методики і приклади ідентифікації оцінки професійного ризику за робочими місцями й по виробництву в цілому [7].

Зниження професійних ризиків та удосконалення умов і охорони праці сприятимуть збереженню життя та здоров'я працівників, а також скорочення витрат роботодавця на проведення профілактичних запобіжних заходів, виплати лікарняних, компенсації відповідно до діючого законодавства України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лакофарбовий бізнес - Промислове Підприємство "ЗІП". *Промислове Підприємство "ЗІП"*. URL: https://www.zip.ua/lakokraski/ (дата звернення: 11.04.2025).

2. Kumar A., Shrivastava S.M., Jain N.K., Patel P. Identification of occu- pational diseases, health risk, hazard and injuries among the workers engaged in Thermal Power Plant. International Journal of Research in Engineering and Technology. 2015; 04 (01): 149-56.

3. Кодекс законів про працю України. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08#Text

4. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/ В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків.: ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.

5. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Оцінка ризику – основа управління охороною праці. Охорона праці. 2007. № 4. С. 18–19.

6. Лесенко Г.Г. Підготовка документів для оцінки ступеня професійного ризику виробництва. Охорона праці. 2004. № 5. С. 12–36.

7. Гогіташвілі Г.Г., Карчевські Е.Т., Лапін В.М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами. Київ: Знання, 2006. 367 с.

УДК 378.147:004.8

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ВИКЛАДАННІ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

О.М. Клєцков[1], О.Д. Онопрієнко[2]
[1]старший викладач, e-mail: alex.kl87@i.ua
[1]доцент, e-mail: onopriienko.o.d@dsau.dp.ua
[1,2]кафедра вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

Анотація. У роботі досліджено потенціал використання штучного інтелекту (ШІ) для підвищення ефективності викладання технічних дисциплін, зокрема програмування, інженерії та аналізу даних. Розглянуто основні передумови інтеграції ШІ в освітній процес, серед яких — складність навчального матеріалу та потреба в персоналізованому підході до навчання. Виокремлено ключові напрями застосування ШІ: адаптивне навчання, автоматизоване оцінювання, інтерактивні симуляції та підтримка викладачів. Окреслено переваги впровадження ШІ, зокрема покращення навчальних результатів, зменшення навантаження на викладачів і розвиток практичних навичок студентів. Разом із тим проаналізовано виклики, що супроводжують цей процес, — технічні обмеження, етичні аспекти та необхідність підвищення кваліфікації викладачів. Наведено приклади реального застосування ШІ у вищій освіті та на онлайн-платформах, а також описано перспективи подальшого розвитку, зокрема використання технологій AR/VR і підготовку фахівців до вимог Індустрії 4.0. У висновках підкреслено роль ШІ як інструменту трансформації технічної освіти та наголошено на важливості подальших досліджень для забезпечення його ефективного використання.

Ключові слова: штучний інтелект, вища освіта, індустрія 4.0.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING TECHNICAL DISCIPLINES

Oleksandr Kletskov[1], Oleg Onopriienko[2]
[1]Senior Lecturer, e-mail: alex.kl87@i.ua
[2]Associate Professor, e-mail: onopriienko.o.d@dsau.dp.ua
[1,2]Department of Higher Mathematics, Physics and General Engineering Disciplines, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Abstract. This paper explores the potential of artificial intelligence (AI) in enhancing the teaching of technical disciplines such as programming, engineering, and data analysis. It discusses the foundational factors driving AI integration into education, including the complexity of subject matter and the demand for personalized learning experiences. The study outlines major areas where AI can be applied: adaptive learning, automated grading, interactive simulations, and instructional support. It highlights the benefits of AI—such as improved learning outcomes, reduced workload for educators, and the enhancement of students' practical competencies—while also addressing challenges like infrastructure limitations, ethical considerations, and the need for educator training. Real-life examples of AI implementation in higher

education and online platforms are presented, along with an outlook on future developments, including the use of AR/VR technologies and preparing learners for Industry 4.0. The findings underscore the role of AI as a transformative tool in technical education and emphasize the importance of ongoing research to fully leverage its capabilities.

Keywords: artificial intelligence, higher education, industry 4.0.

Вступ. Штучний інтелект (ШІ) став однією з ключових технологій XXI століття, трансформуючи різні сфери людського життя — від медицини й промисловості до повсякденного спілкування та розваг. Його здатність аналізувати величезні обсяги даних, знаходити закономірності та адаптуватися до нових умов відкриває безпрецедентні можливості для інновацій. У цьому контексті освіта, як фундамент підготовки майбутніх поколінь, не може залишатися осторонь цих змін. Особливо це стосується технічних дисциплін, де складність матеріалу, швидкий розвиток технологій і потреба в практичних навичках вимагають нових підходів до навчання.

Технічні дисципліни, такі як програмування, інженерія, робототехніка чи аналіз даних, часто є викликом для студентів через їхню абстрактність, потребу в математичній базі та вмінні застосовувати теорію на практиці. Традиційні методи викладання — лекції, підручники, стандартні лабораторні роботи — не завжди здатні врахувати індивідуальні особливості студентів чи оперативно адаптуватися до стрімкого оновлення знань у цих галузях. Саме тут ШІ може стати потужним інструментом, який не лише полегшує процес навчання, а й робить його більш ефективним і цікавим.

Значення ШІ в освіті вже визнано на глобальному рівні: від інтерактивних платформ, таких як Khan Academy, до інтеграції розумних систем у вищі навчальні заклади. У технічній освіті ШІ може допомагати пояснювати складні концепції, створювати симуляції реальних інженерних задач або навіть оцінювати код, написаний студентами. Це дозволяє не лише підвищити якість підготовки фахівців, а й підготувати їх до роботи в умовах цифрової економіки, де ШІ вже є невід'ємною частиною робочих процесів.

Мета роботи дослідити, як саме штучний інтелект може покращити викладання технічних дисциплін. Ми розглянемо його можливості, переваги, потенційні виклики та реальні приклади використання. У світі, де технології розвиваються швидше, ніж навчальні програми, ШІ може стати мостом між теоретичною освітою та практичними потребами сучасної індустрії. Ця робота покликана не лише висвітлити поточний стан справ, а й окреслити перспективи, які відкриваються перед викладачами та студентами завдяки інтеграції ШІ в навчальний процес.

Матеріал і результат досліджень. Сучасна технічна освіта стикається з

низкою викликів, які ускладнюють підготовку висококваліфікованих фахівців [2]. Одним із головних є складність матеріалу, притаманна технічним дисциплінам. Такі предмети, як програмування, теорія алгоритмів, електротехніка чи машинне навчання, часто вимагають глибокого розуміння абстрактних концепцій, міцної математичної бази та вміння застосовувати знання на практиці [1]. Традиційні методи викладання, такі як лекції чи стандартні підручники, не завжди здатні ефективно донести ці знання до всіх студентів, адже кожен має свій темп навчання, рівень підготовки та стиль сприйняття інформації [2]. Наприклад, студент, який легко засвоює теорію графів, може відчувати труднощі з написанням коду, і навпаки. Ця різноманітність потребує індивідуального підходу, який важко реалізувати в умовах масового навчання [3].

Ще одним викликом є швидке старіння знань у технічних галузях [4]. Технології розвиваються стрімко: те, що було актуальним п'ять років тому, наприклад, у сфері розробки програмного забезпечення чи робототехніки, сьогодні може бути застарілим [7]. Викладачам доводиться постійно оновлювати курси, а студентам — адаптуватися до нових інструментів і підходів ще до завершення навчання. Традиційна освіта часто відстає від цих змін, що створює розрив між академічними знаннями та вимогами ринку праці [7]. У таких умовах штучний інтелект може стати інструментом, який допоможе оперативно адаптувати навчальні програми та зробити їх більш релевантними [4].

Розвиток технологій ШІ також відіграє ключову роль у його впровадженні в освіту [1]. За останні роки системи штучного інтелекту стали значно доступнішими: від хмарних платформ, таких як Google Cloud чи AWS, до відкритих бібліотек, як TensorFlow і PyTorch [6]. Ці інструменти дозволяють не лише великим університетам, а й невеликим навчальним закладам інтегрувати ШІ у свої програми [3]. Крім того, з'явилися спеціалізовані освітні платформи, які використовують ШІ для створення інтерактивних курсів, автоматичного оцінювання чи аналізу прогресу студентів [6]. Така доступність знижує бар'єри для впровадження технологій і робить їх привабливими для викладачів технічних дисциплін [8].

ШІ особливо корисний у тих технічних дисциплінах, де потрібна практична складова або робота з великими обсягами даних [3]. Наприклад, у програмуванні ШІ може допомагати студентам знаходити помилки в коді чи пропонувати оптимальні алгоритми [6]. В інженерії він здатен моделювати фізичні процеси, дозволяючи студентам експериментувати без дорогого обладнання [4]. У робототехніці ШІ може слугувати як тренажер для створення автономних систем, а в аналізі даних — допомагати освоювати методи ма-

шинного навчання на реальних прикладах [1]. Ці дисципліни ідеально підходять для інтеграції ШІ, оскільки самі по собі є частиною технологічного прогресу, який він уособлює [7].

Таким чином, передумови для впровадження ШІ у технічну освіту включають як внутрішні потреби навчального процесу (складність, індивідуалізація, актуальність), так і зовнішні фактори (розвиток технологій, їх доступність) [2]. Ці умови створюють міцну основу для того, щоб штучний інтелект став не просто допоміжним інструментом, а й каталізатором змін у підготовці технічних фахівців [8].

Штучний інтелект відкриває широкий спектр можливостей для вдосконалення викладання технічних дисциплін, роблячи процес навчання більш гнучким, інтерактивним і ефективним [3]. Завдяки своїм унікальним здібностям — обробці великих обсягів даних, адаптації до індивідуальних потреб і автоматизації рутинних завдань — ШІ може трансформувати як роботу викладачів, так і досвід студентів [1]. Ось ключові напрями його використання:

Однією з ключових переваг використання штучного інтелекту в технічній освіті є можливість індивідуалізації навчального процесу. Завдяки здатності ШІ аналізувати динаміку засвоєння знань, система може адаптувати подачу матеріалу до конкретного рівня підготовки кожного студента [3]. Це особливо важливо в галузях, де складність тем варіюється, як-от у програмуванні чи машинному навчанні [2]. Початківцям пропонуються базові пояснення й завдання, тоді як досвідченішим студентам — більш складні виклики, наприклад, оптимізація алгоритмів [4]. Такий підхід дозволяє навчатись у зручному темпі, зменшуючи фрустрацію або нудьгу від одноманітних вправ [3].

Ще одним напрямом є автоматизація оцінювання. У технічних дисциплінах значну частину навчання займає виконання практичних завдань — написання коду, моделювання, аналітика [1]. Ручна перевірка таких робіт займає багато часу, особливо при великій кількості студентів [4]. Автоматизовані системи, засновані на ШІ, здатні не лише оперативно перевірити коректність і ефективність виконаних завдань, а й надати миттєвий зворотний зв’язок [3], що дозволяє студентам вчитися на власних помилках одразу після виконання завдання [6].

Важливою складовою технічної освіти є можливість застосування знань на практиці. Тут ШІ відкриває нові горизонти — створення віртуальних лабораторій та інтерактивних симуляцій [4]. Студенти можуть експериментувати з параметрами інженерних моделей, спостерігати результати змін у режимі онлайн або моделювати поведінку роботів без потреби в фізичному обладнанні [6]. Це не лише знижує витрати на ресурси, а й підвищує зацікавленість до навчання, роблячи його більш наочним та динамічним [1].

Крім підтримки студентів, ШІ надає викладачам корисні інструменти для аналізу успішності, створення навчальних матеріалів і організації освітнього процесу [3]. Наприклад, система може автоматично генерувати задачі з програмування, виходячи з заданих критеріїв, або формувати аналітичні звіти щодо успішності студентів [6]. Це дозволяє вчасно виявляти проблемні зони в навчанні й оперативно на них реагувати [4]. Викладачі, звільнені від рутинної роботи, можуть зосередитися на індивідуальній підтримці студентів і розробці нових методик викладання [8].

Інтеграція штучного інтелекту в технічну освіту приносить низку суттєвих переваг, які впливають як на студентів, так і на викладачів, а також на загальну якість підготовки фахівців [4]. Ці переваги роблять ШІ не просто допоміжним інструментом, а й стратегічним рішенням для модернізації навчального процесу в умовах швидкого технологічного прогресу [3]. Ось основні з них:

• Підвищення ефективності навчання**.** ШІ значно оптимізує процес засвоєння знань, особливо в технічних дисциплінах, де обсяг інформації великий, а її складність може бути бар'єром для студентів [4]. Завдяки персоналізованому підходу ШІ допомагає кожному студенту зосередитися на тих аспектах, які потребують уваги, замість витрачати час на вже освоєний матеріал [3]. Наприклад, у курсі програмування ШІ може запропонувати додаткові вправи зі структур даних студенту, який має труднощі з їх розумінням, одночасно дозволяючи іншому студенту перейти до складніших тем, як-от паралельне програмування [6]. Така адаптивність скорочує час, необхідний для опанування предмета, і підвищує загальну успішність [4]. Крім того, інтерактивні симуляції та миттєвий зворотний зв'язок від ШІ-систем дозволяють студентам швидше переходити від теорії до практики, закріплюючи знання через реальні задачі [3].

• Зменшення навантаження на викладачів

Технічна освіта часто вимагає від викладачів значних зусиль: підготовка матеріалів, перевірка складних завдань, відповіді на численні запитання студентів [4]. ШІ здатен взяти на себе значну частину цих обов'язків, дозволяючи викладачам зосередитися на більш творчих і стратегічних аспектах роботи [3]. Наприклад, автоматичне оцінювання коду чи інженерних проєктів економить години рутинної праці, а генерація навчальних матеріалів — від тестів до прикладів — скорочує час на підготовку до занять [6]. Аналітика, яку надає ШІ, також допомагає викладачам краще розуміти потреби студентів і коригувати курс "на льоту", замість витрачати час на самостійний аналіз даних [8]. Це не лише підвищує продуктивність викладачів, а й знижує ризик професійного вигорання [4].

• Розвиток критичного мислення та практичних навичок у студентів

Технічні дисципліни вимагають не лише знань, а й уміння застосовувати їх у реальних ситуаціях [1]. ШІ сприяє цьому, надаючи студентам інструменти для експериментів і самостійного пошуку рішень [3]. Наприклад, у віртуальних лабораторіях студенти можуть тестувати різні підходи до розв'язання інженерної задачі, аналізуючи, чому один метод працює краще за інший [6]. У програмуванні ШІ може не просто вказати на помилку в коді, а й запропонувати студентам подумати над її причинами, стимулюючи критичне мислення [4]. Такий підхід готує студентів до роботи в реальних проєктах, де важливо не лише знати теорію, а й уміти адаптуватися до непередбачуваних викликів [7]. Крім того, знайомство з ШІ як інструментом навчання готує їх до роботи в індустріях, де ці технології вже є стандартом, наприклад, у розробці програмного забезпечення чи автоматизації виробництва [7].

ШІ не замінює людський фактор в освіті, а підсилює його, створюючи синергію між технологіями та педагогічним досвідом [3]. У технічній освіті, де точність, актуальність і практична спрямованість є критично важливими, ці переваги стають вирішальними для підготовки фахівців, здатних відповідати вимогам сучасного світу [7].

Незважаючи на численні переваги штучного інтелекту в технічній освіті, його впровадження супроводжується низкою викликів і обмежень [5]. Ці аспекти необхідно враховувати, щоб забезпечити ефективне та етичне використання технологій, уникнути потенційних ризиків і зробити ШІ дійсно корисним інструментом [8]. Ось основні з них:

- Технічні обмеження. Для повноцінного використання ШІ в навчанні потрібна розвинена інфраструктура: потужні комп'ютери, стабільний доступ до інтернету, спеціалізоване програмне забезпечення та хмарні сервіси [5]. Не всі навчальні заклади, особливо в менш розвинених регіонах, можуть собі це дозволити [8]. Крім того, ШІ-системи не завжди ідеальні: вони можуть видавати неточні результати через помилки в алгоритмах або недостатню якість даних, на яких їх тренували [1]. У технічних дисциплінах, де точність є критично важливою, такі недоліки можуть призвести до неправильного навчання чи хибних висновків у студентів [5].
- Етичні питання. Використання ШІ в освіті породжує низку етичних дилем [5]. Одним із ключових є конфіденційність даних [8]. Іншим етичним питанням є ризик надмірної залежності від технологій [4]. Якщо студенти звикнуть покладатися на ШІ для розв'язання задач чи пошуку відповідей, це може послабити їхню здатність до самостійного мислення — ключову навичку для технічних фахівців [3].
- Необхідність підготовки викладачів. ШІ не працює сам по собі — його

ефективність залежить від того, наскільки добре викладачі вміють ним користуватися [8]. Багато педагогів, особливо старшого покоління, можуть не мати достатніх знань про ШІ чи відчувати дискомфорт від роботи з новими технологіями [5]. Наприклад, налаштування системи автоматичного оцінювання коду чи інтеграція ШІ-асистента в курс вимагає базового розуміння програмування та роботи з інтерфейсами [6]. Без належного навчання викладачі можуть використовувати ШІ неефективно або взагалі уникати його, що нівелює потенційні переваги [8]. Організація таких тренінгів потребує часу, фінансів і зусиль, що може стати додатковим бар'єром для навчальних закладів [4].

Ці виклики не є непереборними, але потребують системного підходу до вирішення [8]. Технічні обмеження можна подолати через державну підтримку чи партнерство з технологічними компаніями, які надають доступ до своїх платформ [5]. Етичні питання вимагають чітких правил щодо захисту даних і свідомого підходу до використання ШІ, щоб він залишався інструментом підтримки, а не заміною людської ініціативи [4].

Реальні приклади використання штучного інтелекту в технічній освіті демонструють його практичну цінність і потенціал для трансформації навчального процесу [6]. Ці кейси показують, як ШІ вже застосовується в різних контекстах — від університетських аудиторій до онлайн-платформ, — допомагаючи студентам і викладачам досягати кращих результатів [3].

У програмуванні ШІ-асистенти, такі як чат-боти чи інтерактивні платформи, стають незамінними помічниками для студентів [6]. Наприклад, інструменти на кшталт GitHub Copilot чи спеціалізованих ШІ-ботів можуть пояснювати складні концепції, такі як рекурсія чи асинхронне програмування, у доступній формі [4]. Студент може поставити запитання типу "Як працює цикл for у Python?" і отримати не лише теоретичне пояснення, а й приклад коду з коментарями [6]. У Массачусетському технологічному інституті (MIT), наприклад, розробили ШІ-систему, яка допомагає студентам розбиратися з алгоритмами, пропонуючи покрокові роз'яснення та візуалізації [3]. Такі асистенти не лише економлять час викладачів, а й дозволяють студентам отримувати підтримку в будь-який момент, навіть поза аудиторією [6].

Технічні дисципліни, пов'язані з машинним навчанням (ML) і аналізом даних, ідеально підходять для інтеграції ШІ, оскільки студенти можуть одночасно вивчати предмет і використовувати його інструменти [1]. Наприклад, платформа Google Colab, яка широко застосовується в освіті, дозволяє студентам тренувати моделі машинного навчання в хмарі, а ШІ-компоненти допомагають аналізувати результати й оптимізувати код [6]. У Стенфордському університеті курс CS229 ("Машинне навчання") використовує ШІ для автоматичного оцінювання завдань, де студенти створюють власні моделі,

а система перевіряє їхню точність і ефективність [3]. Це дає змогу студентам експериментувати з реальними даними й отримувати практичний досвід, який важко здобути лише через лекції [4].

Онлайн-платформи, такі як Coursera та edX, активно впроваджують ШІ для покращення технічних курсів [6]. Наприклад, на Coursera курс "Deep Learning" від deeplearning.ai використовує ШІ для адаптації складності завдань до рівня студента: якщо користувач швидко розв'язує базові задачі, система пропонує складніші проєкти, як-от створення нейронних мереж [3]. У Технічному університеті Мюнхена (TUM) ШІ застосовується для моделювання інженерних систем: студенти можуть проектувати віртуальні мости чи електричні схеми, а ШІ аналізує їхню стійкість і пропонує покращення [4]. Ще один приклад — платформа Codecademy, де ШІ допомагає студентам-початківцям у програмуванні, автоматично виправляючи синтаксичні помилки та пропонуючи підказки в реальному часі [6].

Ці приклади ілюструють різноманітність підходів до використання ШІ: від підтримки теоретичного навчання до створення практичних тренажерів [6]. Вони також показують, як ШІ може бути адаптований до різних технічних дисциплін — програмування, інженерії, аналізу даних — і масштабований для аудиторій різного розміру, від окремих класів до мільйонів онлайн-учнів [3]. Такі кейси є не лише доказом ефективності ШІ, а й джерелом натхнення для інших навчальних закладів, які прагнуть модернізувати свої програми [8]. Успіх цих ініціатив залежить від правильного поєднання технологій із педагогічними цілями, що робить їх цінним орієнтиром для майбутнього розвитку технічної освіти [6].

Прогнози розвитку технологій, їхня взаємодія з іншими інноваціями та роль у формуванні кадрів для майбутнього вказують на те, що ШІ стане невід'ємною частиною технічної освіти [8]. Ось ключові напрями цього розвитку:

Очікується, що ШІ стане більш "розумним" і автономним завдяки прогресу в таких галузях, як обробка природної мови (NLP) і генеративний інтелект [1]. У майбутньому ШІ-асистенти зможуть не лише відповідати на запитання студентів, а й вести повноцінні діалоги, пояснюючи складні технічні концепції так, ніби це робить досвідчений викладач [3]. Наприклад, у програмуванні ШІ може не просто виправляти код, а й пропонувати альтернативні архітектури програм із поясненням їхніх переваг [6].

Індустрія 4.0 — ера автоматизації, штучного інтелекту та розумних систем — вимагає від технічних фахівців нових компетенцій [7]. ШІ в освіті відіграватиме ключову роль у підготовці студентів до цих викликів, навчаючи їх не лише базових знань, а й уміння працювати з передовими технологіями [8]. Наприклад, у курсах із кібербезпеки ШІ може симулювати кібератаки в

реальному часі, дозволяючи студентам розробляти стратегії захисту [6].

Майбутнє ШІ у технічній освіті обіцяє не лише технологічні вдосконалення, а й зміну самої парадигми навчання [8]. Воно стане більш практичним, інтерактивним і орієнтованим на реальні потреби ринку праці [7]. Однак цей прогрес потребуватиме інвестицій у дослідження, інфраструктуру та підготовку викладачів, щоб уникнути розриву між можливостями технологій і їхнім фактичним застосуванням [8]. У довгостроковій перспективі ШІ може стати каталізатором, який зробить технічну освіту доступнішою, ефективнішою та здатною готувати фахівців, готових до викликів не лише сьогодення, а й майбутнього [7].

Висновки. Штучний інтелект (ШІ) відкриває нові можливості для технічної освіти, роблячи навчання ефективнішим і практичнішим [4]. Ця робота розглянула його використання: від персоналізації та автоматизації до викликів і перспектив [3]. Переваги ШІ — підвищення ефективності навчання, зменшення навантаження на викладачів і розвиток практичних навичок — уже реалізовані в програмуванні та інженерії [6]. Проте технічні обмеження, етичні питання і потреба в підготовці педагогів вимагають збалансованого підходу [5, 8].

Майбутнє ШІ обнадійливе: інтеграція з AR/VR та підготовка до Індустрії 4.0 зроблять освіту інтерактивною і релевантною [7]. ШІ не замінює людський фактор, а підсилює його, готуючи конкурентоспроможних фахівців для технологічного світу [7].

ЛІТЕРАТУРА

1. Russell S. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S. Russell, P. Norvig. – 4th ed. – London : Pearson, 2021. – 1136 p.
2. Zawacki-Richter O. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are we now? / O. Zawacki-Richter, V. I. Marín, M. Bond, F. Gouverneur // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2019. – Vol. 16, Iss. 1. – P. 39–45. – DOI: https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0.
3. Holmes W. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning / W. Holmes, M. Bialik, C. Fadel. – Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019. – 150 p.
4. Luckin R. Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education / R. Luckin, W. Holmes, M. Griffiths, L. B. Forcier. – London: Pearson, 2016. – 131 p.
5. Selwyn N. Education and Technology: Key Issues and Debates / N. Selwyn. – 3rd ed. – London : Bloomsbury Academic, 2022. – 232 p.
6. Popenici S. A. D. Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education / S. A. D. Popenici, S. Kerr // Research and Practice in Technology Enhanced Learning. – 2017. – Vol. 12, Iss. 1. – P. 22–30. – DOI: https://doi.org/10.1186/s41039-017-0062-8.

7. Bughin J. Skill Shift: Automation and the Future of the Workforce / J. Bughin, E. Hazan, S. Lund, P. Dahlström, A. Wiesinger, A. Subramaniam. – New York: McKinsey Global Institute, 2018. – 148 p.

8. Bates T. Can artificial intelligence transform higher education? / T. Bates, C. Cobo, O. Mariño, S. Wheeler // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2020. – Vol. 17, Iss. 1. – P. 42–50. – DOI: https://doi.org/10.1186/s41239-020-00218-x

УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ СЕРВІСІВ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ МУЛЬТИМЕДІА В ПРОЦЕСІ ВИКЛАДАННЯ ІНФОРМАТИКИ ЗА НОВИМ СТАНДАРТОМ ОСВІТИ

А.О. Хорольський[1]

[1]доцент кафедри управління інформаційно-освітніми проектами, Комунальний заклад вищої освіти «Дніпровська академія неперервної освіти» Дніпровської обласної ради, Дніпро, Україна, e-mail: andreykh918@gmail.com

Анотація. У роботі проаналізовано практичні аспекти застосування сервісів на основі штучного інтелекту для підготовки вчителів інформатики, які викладають за стандартом «Нової української школи». Наведено сервіси та інструменти, які можуть бути застосовані для роботи з мультимедіа.

Ключові слова: штучний інтелект, мультимедіа, ефективність використання, сервіс штучного інтелекту, персональний помічник.

PRACTICAL ASPECTS OF USING AI-BASED SERVICES FOR CREATING AND PROCESSING MULTIMEDIA OBJECTS IN THE TEACHING OF INFORMATICS ACCORDING TO THE NEW EDUCATION STANDARD

Andrii Khorolskyi[1]

[1]Associate professor of the Department of information and educational project management, Dnipro Academy of Continuing Education, Dnipro, Ukraine, e-mail: andreykh918@gmail.com

Abstract. The paper analyzes the practical aspects of using AI-based services for the training of informatics teachers who teach according to the standards of the "New Ukrainian School." The paper presents services and tools that can be used for working with multimedia.

Keywords: artificial intelligence, multimedia, efficiency of use, AI service, personal assistant.

Вступ. Штучний інтелект (ШІ) має великий потенціал вирішувати одні з найбільших викликів в освіті, оновлювати методи навчання, інструментарій

та пришвидшувати прогрес у досягненні Цілі сталого розвитку, яка відповідає за опанування штучним інтелектом та використанням його для навчання (Artificial intelligence in education, UNESCO) [1]. Зокрема, технології ШІ дають змогу адаптувати навчальні матеріали під індивідуальні потреби кожного учня (Using Artificial Intelligence Tools in K-12 Classrooms) [2]. Системи штучного інтелекту також стимулюють підвищення креативності і продуктивності під час навчання (AI Tools for Teachers, Edutopia [3], (Canva's AI in Education Study: Teachers embrace power of AI [4]) і дозволяють автоматизувати рутинні завдання вчителів [5]. Це сприяє ефективнішому навчанню й економії часу для поглибленого пояснення матеріалу.

Варто зазначити, що використання сервісів штучного інтелекту дозволяє персоналізувати навчання та забезпечити адаптивний підхід, підлаштовуючи складність і темп подачі матеріалу під рівень учня. Адаптивні платформи на основі ШІ автоматично регулюють послідовність, темп та підказки в навчальному процесі, що знижує ризик відставання або непотрібного надлишку матеріалу.

Також, інструменти ШІ стимулюють творчий підхід до навчання. За даними опитування, понад половина вчителів відзначають, що використання ШІ породжує інноваційні ідеї та підвищує креативність учнів [6]. Новітній звіт про ефективність використання штучного інтелекту [7] свідчить про те, що понад 80% вчителів вже вбачають за необхідне використовувати штучний інтелект в процесі навчання. Зокрема, 43% вчителів впевнені, що використання сервісів штучного інтелекту значно буде пришвидшувати процес підготовки до занять. Наприклад, учні можуть експериментувати з генерацією зображень або музики, що робить навчальні проєкти захопливішими. Якщо аналізувати модельні програми з інформатики, які відповідають стандарту «Нової української школи», то у 8-9 класах значна увага приділяється роботи з мультимедіа, в частині створення контенту та інтеграції його. Використання сервісів штучного інтелекту (Canva.ai, VistaCreate, Artbreeder, Vidnoz.ai, MyHeritage), а також персональних помічників (наприклад, Gem-ботів) дозволяють оновлювати інструментарій вчителів.

Також, за допомогою штучного інтелекту навчання стає доступнішим для учнів з різними потребами. Автоматичні субтитри, голосові помічники та адаптивні помітки на зображеннях полегшують розуміння матеріалу для слабочуючих, слабозорих та учнів з особливими освітніми потребами. Як наголошує NSF, ШІ сприяє більш рівному, інклюзивному і доступному навчанню [8].

Таким чином, в представленому дослідженні проаналізовано практичні аспекти застосування сервісів штучного інтелекту для створення та опрацювання об'єктів мультимедіа, а також наведено основні програмні засоби,

які можуть бути використані вчителями інформатики, які викладають за новим стандартом освіти.

Мета роботи проаналізувати практичні аспекти застосування сервісів на основі штучного інтелекту для підготовки вчителів інформатики, які викладають за стандартом «Нової української школи».

Матеріал і результат досліджень. Ряд досліджень та звітів свідчать про позитивний вплив ШІ на навчальний процес. Звіт RAND (США, 2024) показав, що вчителі найчастіше використовують ШІ саме для адаптації навчального контенту та створення матеріалів під учнів (Using Artificial Intelligence Tools in K-12 Classrooms). Лідери шкіл зазначали, що бачать у ШІ інструмент для полегшення праці вчителя (Using Artificial Intelligence Tools in K-12 Classrooms). ЮНЕСКО у своїх рекомендаціях підкреслює, що ШІ здатен «вирішувати одні з найбільших викликів в освіті» і сприяти інноваційним методам навчання (Artificial intelligence in education, UNESCO). За даними NSF, використання ШІ робить навчання більш рівним та інклюзивним – воно забезпечує доступ до інноваційних технологій усім учасникам освітнього процесу (AI education and AI in education, NSF - National Science Foundation). Також численні спостереження вказують: учні, які використовують інструменти ШІ (автоматичні тести, симуляції, відеоуроки), демонструють вищу залученість і мотивацію до вивчення матеріалу. Усі ці дані підтверджують: інтеграція ШІ в освіту сприяє покращенню результатів навчання і створенню ефективнішого освітнього середовища (Using Artificial Intelligence Tools in K-12 Classrooms) (AI education and AI in education | NSF - National Science Foundation).

Наразі, практичне застосування сервісів штучного інтелекту в шкільній програми зводиться до роботи з графікою, відео, аудіо, інтерактивними елементами. Варто зупинитись на кожному аспекті окремо:

1) Графіка: AI-інструменти дозволяють автоматично створювати та обробляти зображення. Генеративні моделі (наприклад, Adobe Firefly, DALL·E) можуть за текстовим описом створювати ілюстрації для навчальних проєктів. Ком'ютерний зір допомагає аналізувати учнівські малюнки — як відзначає доповідь Офісу освітніх технологій, ШІ може реагувати на малюнок учня та підсвічувати його складові (Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning (PDF)). Це робить вивчення графічного матеріалу інтерактивнішим і візуально наочнішим.

2) Відео: AI-платформи спрощують створення і вивчення відеоконтенту. Зокрема, Google Classroom може автоматично генерувати запитання за змістом відео, що робить перегляд роликів інтерактивним (Using Artificial Intelligence Tools in K-12 Classrooms). Крім того, сервіси на кшталт Synthesia

чи Pictory дають змогу створювати навчальні відеоролики з текстових сценаріїв або презентацій без складного відеомонтажу. Учні можуть озвучувати власні проєкти за допомогою синтезу голосу або автоматичних субтитрів.

3) Аудіо: ШІ-системи розпізнають і генерують мову. Це дозволяє автоматично перекладати лекції, створювати голосових помічників для опитувань та практики іноземних мов (наприклад, диктувальні програми чи дидактичні ігри зі зворотнім зв'язком). Генератори музики (AIVA, Google Magenta, Soundraw) генерують фонові композиції для учнівських презентацій. Такий аудіосупровід робить проєкти багатшими й залучає додаткові сенсори уваги.

4) Анімація: Завдяки ШІ полегшується створення анімації: існують сервіси, що перетворюють статичні картинки на анімаційні сцени або надають готові анімовані персонажі. Учні можуть швидко анімувати оповідання чи ілюстрації до власних історій. Алгоритми глибинного навчання навіть можуть прогнозувати рух об'єктів чи обличь, спрощуючи процес анімації.

5) Інтерактивні елементи: Чат-боти й віртуальні асистенти на основі ШІ забезпечують активну взаємодію. Наприклад, платформа Curipod за лічені хвилини генерує повноцінний інтерактивний урок за темою: у ньому учні бачать текст, зображення та беруть участь у опитуваннях або словесних хмарах (AI Tools for Teachers, Edutopia). Аналогічно, Quizizz створює персоналізовані вікторини, адаптуючи складність питань до рівня учня (AI Tools for Teachers, Edutopia). Таким чином уроці з мультимедіа стають динамічними та орієнтованими на учня.

Наразі, автором сформовані рекомендації, щодо застосування сервісів на основі штучного інтелекту для роботи з мультимедіа. При роботі з графікою та створенням стокових зображень може бути застосовано сервіс Deep Dream Generator (рис. 1).

Сервіс дозволяє створювати набори зображень у відповідності до запиту. Отримані зображення можуть бути використані для генерації обкладинок YouTube-відео.

Також, можуть бути застосовані сервіси Artbreeder (рис. 2) та Supermem.ai (рис. 3) для генерації зображень за запитами.

Завдяки наведеним (рис. 2-3) сервісам можна створювати набори зображень, які в подальшому будуть використані для створення відео. Робота з графікою та відео є основними активностями під час вивчення блок «мультимедіа».

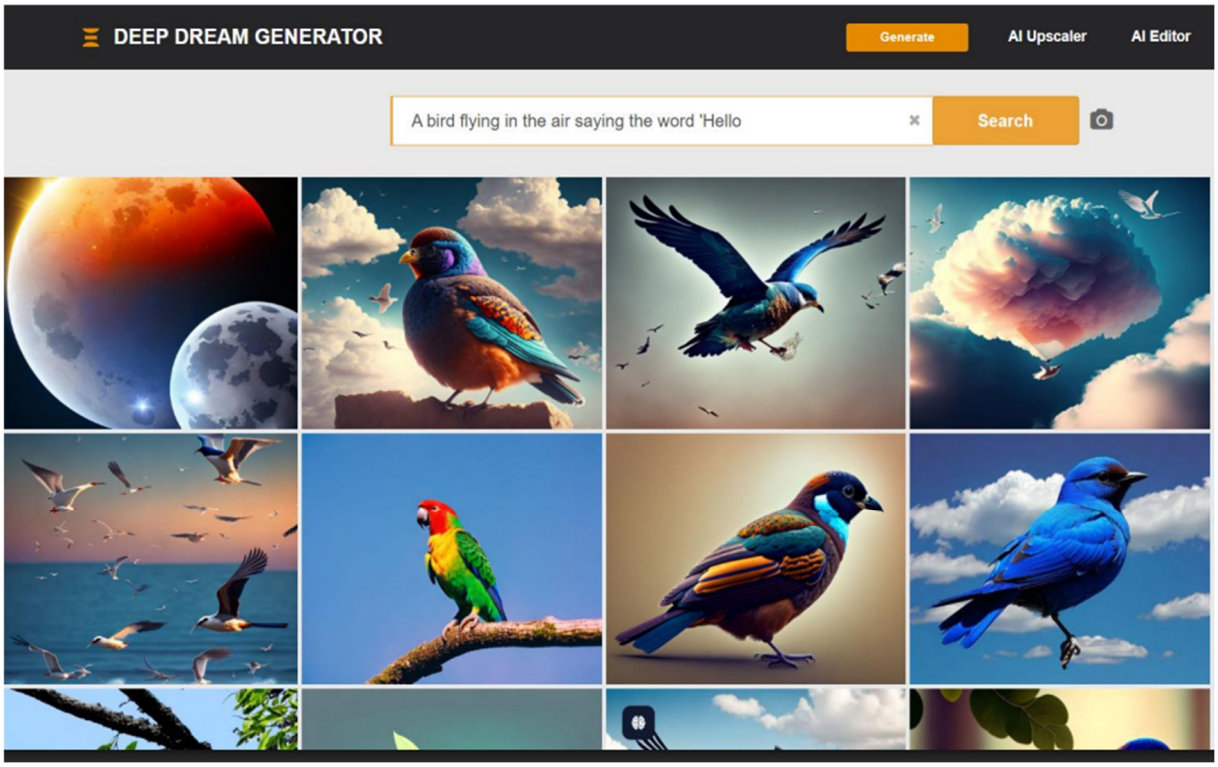


Рис. 1. – Робоче вікно сервісу на основі штучного інтелекту для створення зображень Deep Dream Generator

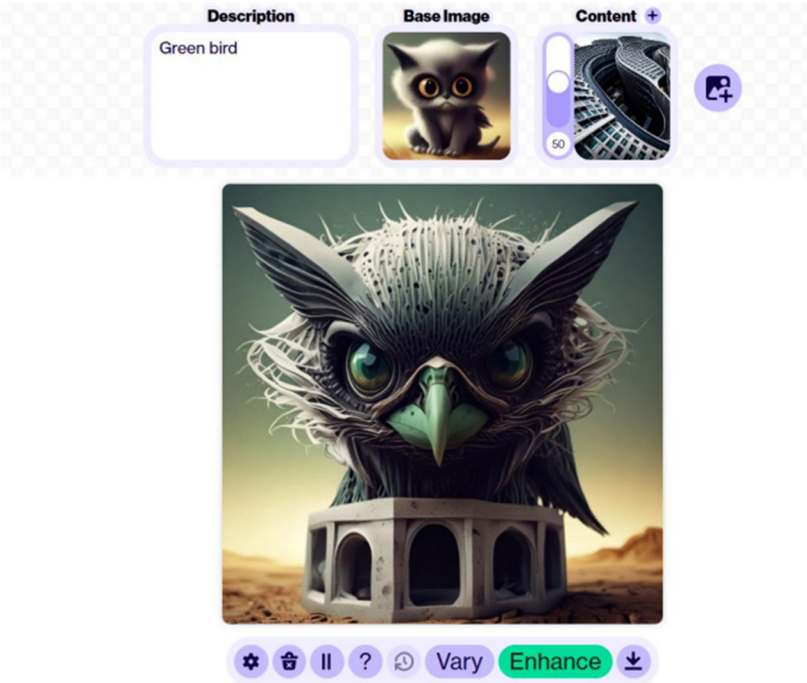


Рис. 2. – Сервіс Artbreeder для генерації зображень

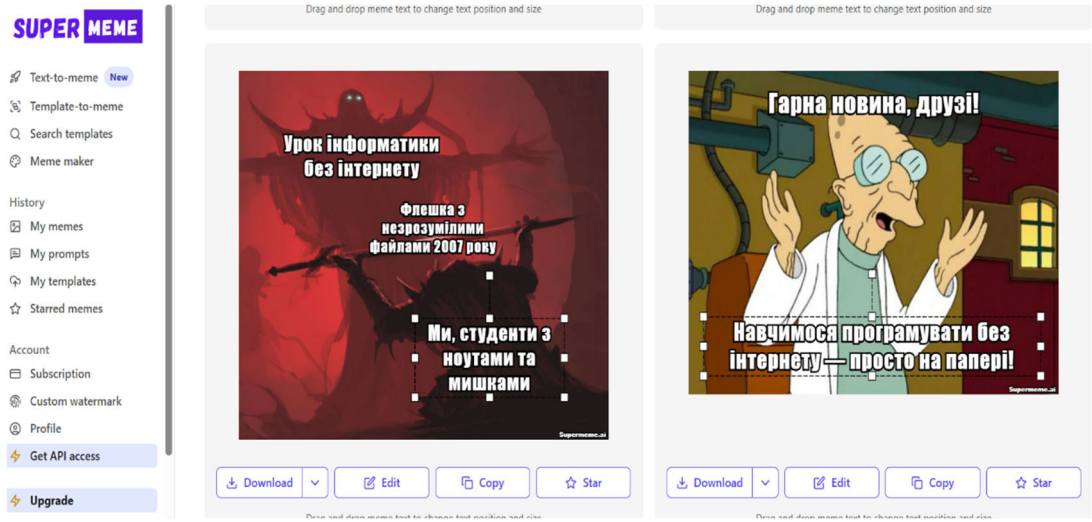


Рис. 3. – Робоче вікно сервісу Supermem.ai для генерації мемів

Основою для створення відео за допомогою штучного інтелекту є формування правильних промптів. Для вірного формування промптів можна використати сервіси на основі штучного інтелекту. Один із основних VideoGPT by VEED. Сервіс є персональним помічником. За допомогою цього сервісу пишеться правильна інструкція та створюються сцени в VEED. Час створення відео не перевищує двох хвилин (рис. 4).

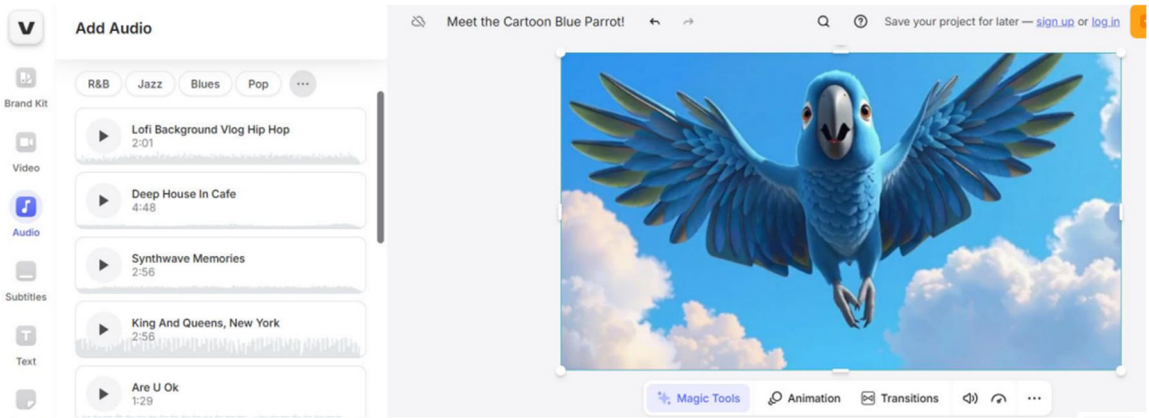


Рис. 4. – Робоче вікно програми VEED для створення відео на основі запитів штучного інтелекту

До переваг сервісу слід віднести наявність озвучки відео українською мовою, а також можливість записати власний голос.

Також можна використати безкоштовний аналог CapCut.

Достатньо потужним інструментом є MyHeritage (рис. 5).

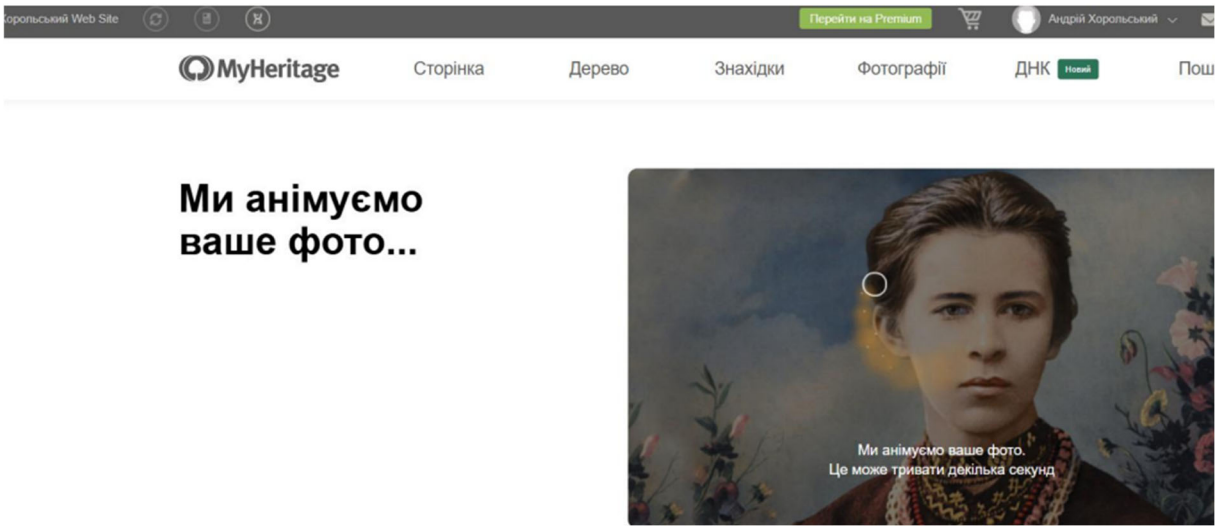


Рис. 5. – ШІ помічник для анімації зображень

За допомогою наведеного сервісу можна анімувати зображення. Це в подальшому дозволяє створювати тематичні відео (наприклад, класики української літератури).

Також, варто зазначити на доцільності застосування Gem-ботів, які можна створити в Gemini. Завдяки Gem-ботам можна одразу сформувати інструкції та в подальшому створювати серію фото чи відео.

На рис. 6 показано процес створення Gem-боту.

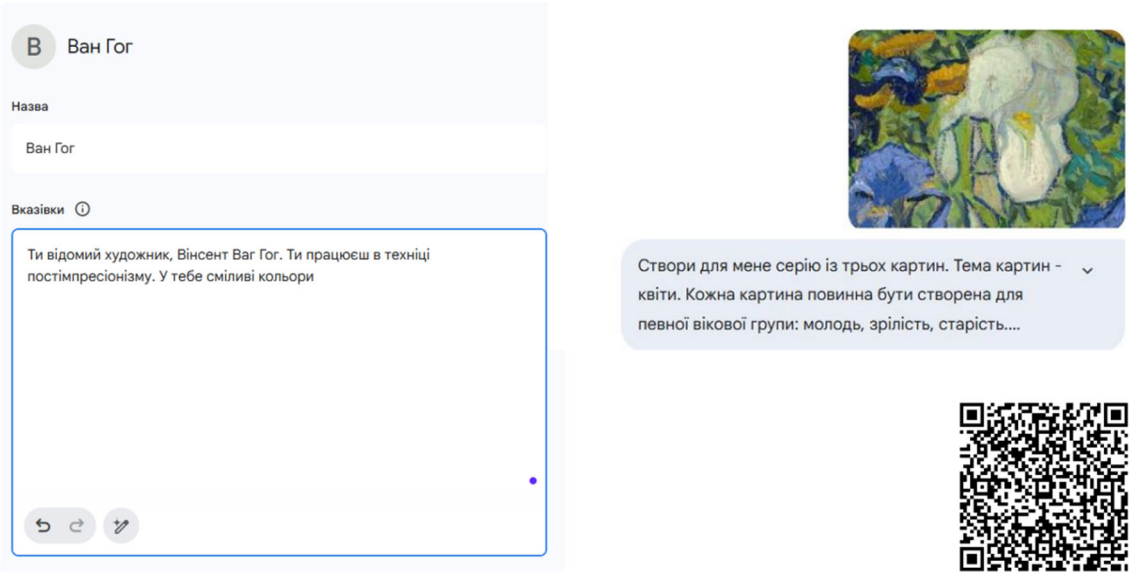


Рис. 6. – Процес створення Gem-боту

В результаті створення спеціалізованих помічників відпадає потреба в постійному формуванні інструкцій.

Таким чином, в наведеній роботі описано прикладні аспекти застосу-

вання сервісів штучного інтелекту для роботи з мультимедіа, а також наведено рекомендації з використання.

Наведені результати дослідження та рекомендації послугували основою розробки YouTube-каналу «Щоденник науковця» на якому розміщено всі рекомендації та відео-інструкції.

Висновки. В наведеній роботі було проаналізовано практичні аспекти застосування сервісів на основі штучного інтелекту в процесі викладання інформатики за новим стандартом освіти. Визначено, що впровадження в навчальні програми сервісів штучного інтелекту є основою для досягнення Цілей сталого розвитку та оновлення методичного інструментарію. Використання сервісів штучного інтелекту (Canva.ai, VistaCreate, Artbreeder, Vidnoz.ai, MyHeritage), а також персональних помічників (наприклад, Gem-ботів) дозволяють оновлювати інструментарій вчителів.

Також, за допомогою штучного інтелекту навчання стає доступнішим для учнів з різними потребами. Автоматичні субтитри, голосові помічники та адаптивні помітки на зображеннях полегшують розуміння матеріалу для слабочуючих, слабозорих та учнів з особливими освітніми потребами.

ЛІТЕРАТУРА

1. UNESCO. (2021). AI and Education: Guidance for Policy-makers. Retrieved from: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709

2. Holmes, W., Persson, J., Chounta, I. A., Wasson, B., & Dimitrova, V. (2022). *Artificial intelligence and education: A critical view through the lens of human rights, democracy and the rule of law*. Council of Europe.

3. Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education–where are the educators?. *International journal of educational technology in higher education*, *16*(1), 1-27.

4. European Commission. (2020). *Artificial Intelligence and Education: Shaping the Future of Learning in Europe*. Retrieved from: https://ec.europa.eu/info/publications/artificial-intelligence-and-education_en

5. Мар'єнко, М. В., & Коваленко, В. В. (2023). Штучний інтелект та відкрита наука в освіті. Фізико-математична освіта, 1(38), 48-53.

6. Скрипка, Г. (2024). Штучний інтелект в освіті: удосконалення програм підвищення кваліфікації педагогів. Інформаційні технології і засоби навчання, 3(101), 227-238.

7. Celik, I., Dindar, M., Muukkonen, H., & Järvelä, S. (2022). The promises and challenges of artificial intelligence for teachers: A systematic review of research. TechTrends, 66(4), 616-630.

8. Burgess, K., & Nanninga, M. (2025). 'Artificial Intelligence (AI) and Indexing: Opportunities and Challenges'. China Society of Indexers 2025 conference, Beijing, April 2025.

УДК 37.01:378.14

РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

В.Г. Шевчук[1], О.К. Литвинчук[2], М.М. Балака[3]
[1]студентка групи ПНК-23, e-mail: shevchuk_vh-2023@knuba.edu.ua
[2]студентка групи ПНК-23, e-mail: lytvynchuk_ok-2023@knuba.edu.ua
[3]доцент кафедри будівельних машин, e-mail: balaka.mm@knuba.edu.ua
[1,2,3]Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

Анотація. У роботі розроблено базу даних для оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти, в якій визначено ключові інформаційні об'єкти та їх зв'язки для формування логічної структури. Запропоновано концептуальну модель бази даних, що забезпечить ефективне зберігання, обробку та аналіз результатів навчання відповідно до сучасних технологій та стандартів.

Ключові слова: база даних, інформаційний об'єкт, сутність, зв'язок, діаграма, концептуальна модель, результат навчання, оцінювання, здобувач вищої освіти.

CONCEPTUAL MODEL DEVELOPMENT OF DATABASE FOR LEARNING RESULTS ASSESSMENT

Viktoriia Shevchuk[1], Oleksandra Lytvynchuk[2], Maksym Balaka[3]
[1]Student of PNK-23 group, e-mail: shevchuk_vh-2023@knuba.edu.ua
[2]Student of PNK-23 group, e-mail: lytvynchuk_ok-2023@knuba.edu.ua
[3]Associate Professor of Construction Machinery Department, e-mail: balaka.mm@knuba.edu.ua
[1,2,3]Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Abstract. The paper presents a database for learning results assessment of higher education students. It identifies key informational entities and their relationships to form a logical structure. The conceptual model of the database is proposed that will ensure efficient storage, processing, and analysis of learning results by modern technologies and standards.

Keywords: database, information object, entity, relationship, diagram, conceptual model, learning result, assessment, higher education student.

Вступ. В основу проєктування бази даних приймаються концептуальні вимоги кінцевих користувачів закладу освіти. Це обумовлено тим, що саме кінцевий користувач у процесі виконання своїх функціональних обов'язків приймає рішення на основі інформації, отриманої в результаті доступу до бази даних. Таким чином, ефективність діяльності закладу освіти безпосередньо залежить від швидкості отримання та якості цієї інформації [1].

Крім того, кінцеві користувачі не лише використовують інформацію,

але й беруть активну участь в її формуванні шляхом введення даних до системи. У зв'язку з цим, під час проєктування бази даних необхідно враховувати зручність інтерфейсу, логічність структури даних, а також забезпечення достовірності введеної інформації [2–5].

Мета роботи полягає у визначенні ключових інформаційних об'єктів та зв'язків між ними для створення логічної структури бази даних оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти, з забезпеченням незалежності даних, відповідності нормалізаційним вимогам та задоволення експлуатаційних потреб системи.

Матеріал і результат досліджень. Інформаційні масиви виступають носіями відомостей, необхідних для розв'язування завдань окремих підсистем, зокрема таких, як оцінювання результатів навчання. Інформаційне забезпечення включає структуровані елементи даних, засоби їх формалізованого опису, програмні інструменти для обробки, а також організаційні принципи створення, зберігання та оновлення інформаційних масивів.

Основною метою розроблення інформаційного забезпечення є досягнення оптимального використання машинних носіїв інформації, організація швидкого, зручного та надійного доступу до даних, а також побудова комплексу методів і засобів, необхідних для формування всіх інформаційних структур, що забезпечують вирішення завдань, які постають перед інформаційною технологією. Реалізація зазначеної мети передбачає створення комфортних умов для користувачів інформаційної системи, з урахуванням необхідності уникнення інформаційного перенасичення.

У сучасних умовах використання програмного та апаратного забезпечення має забезпечувати користувачеві можливість оперативного та інтуїтивно зрозумілого доступу до актуальних даних, що зберігаються в базі даних інформаційної системи. Крім того, користувач повинен мати інструменти для ефективного формування, обробки та аналізу інформаційних структур, відповідно до своїх функціональних потреб [1, 3, 6–9].

Проєктування бази даних повинно ґрунтуватися на концептуальних вимогах кінцевих користувачів, оскільки саме вони здійснюють прийняття рішень, спираючись на отриману інформацію. Оперативність та якість цієї інформації безпосередньо впливають на ефективність діяльності закладу.

При визначенні вимог до бази даних необхідно враховувати аспекти:

– задоволення актуальних інформаційних потреб закладу освіти, де інформація, що отримується з бази даних, повинна відповідати структурі та змісту розв'язуваних задач;

– продуктивність системи, щоб база даних забезпечувала швидкий доступ до необхідних даних відповідно до встановлених вимог;

– задоволення змінюваних вимог користувачів, база даних має бути

гнучкою та адаптованою до нових потреб кінцевих користувачів;

– коректність даних, що вводяться в базу;

– доступ до інформації в базі даних має бути обмежений лише для певних користувачів, щоб забезпечити конфіденційність та безпеку даних.

З огляду на вищевказане, розглянемо етапи проєктування бази даних (рис. 1), що спрямовані на забезпечення необхідної незалежності даних і виконання експлуатаційних потреб системи (побажань користувачів).

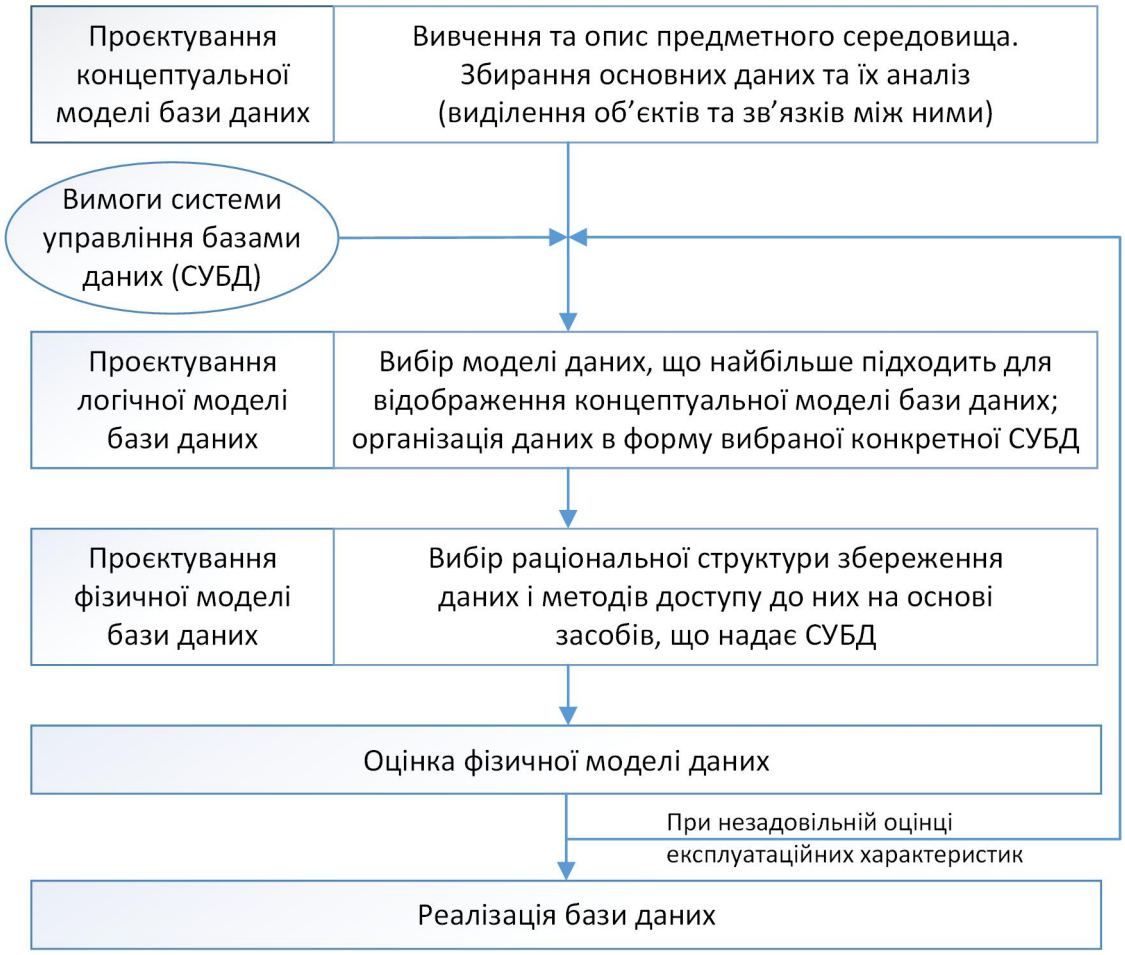


Рис. 1. – Проєктування бази даних

Разом з тим, концептуальна модель – це логічне уявлення предметної області, яке фокусується на об'єктах (сутностях), їх властивостях (атрибутах) і взаємозв'язках між ними [3, 4]. Головна мета концептуальної моделі – описати зміст інформації, яку потрібно зберігати, без врахування технічних аспектів зберігання чи реалізації.

Часто для побудови концептуальної моделі використовують ER-моделі (Entity-Relationship Diagram). Це графічне представлення структури даних, яке демонструє сутності, їх атрибути та взаємозв'язки між ними, що дозволяє наочно описати логіку предметної області ще до початку фізичного проєктування бази даних.

Сутності (Entities) відображаються у вигляді прямокутників. Це об'єкти предметної області, інформація про які підлягає зберіганню (наприклад, студент, курс, оцінка). Зв'язки (Relationships) зображуються ромбами і показують асоціації між сутностями (наприклад, студент складає іспит).

Типи зв'язків: один до одного (1:1) – один об'єкт сутності відповідає одному об'єкту іншої сутності; один до багатьох (1:N) – один об'єкт сутності може бути пов'язаний з кількома об'єктами іншої сутності; багато до багатьох (M:N) – об'єкти обох сутностей можуть бути пов'язані з кількома об'єктами один одного. Всі типи зв'язків мають аналог у реляційній моделі, де сутності відповідають таблицям, атрибути – стовпцям таблиць.

Зв'язки реалізуються через зовнішні ключі або додаткові таблиці-зв'язки (особливо для зв'язків M:N).

Враховуючи, що модель «сутність – зв'язок» дуже близька за своєю структурою до реляційної моделі даних, поширеною при реалізації сучасних інформаційних систем, то вона є оптимальним вибором для побудови концептуальної моделі для оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти. До того ж, ця модель була запропонована Пітером Ченом у 1976 році і з того часу стала класикою в сфері моделювання баз даних.

На етапі розробки концептуальної моделі бази даних потрібно визначити інформаційні об'єкти та зв'язки поміж ними. Концептуальна модель визначає структуру предметної області не тільки з точки зору користувачів системи, але й інформаційного споживання самої предметної області. Отже, інформаційний об'єкт визначається сукупністю логічно взаємозв'язаних атрибутів, які характеризують певну суть предметної області. Для побудови концептуальної моделі бази даних використаємо засіб моделювання – діаграму Чена. Визначимо основні об'єкти, потрібні для побудови діаграми – це сутності, їх властивості та взаємозв'язки між сутностями.

Детально проаналізувавши всі вимоги до розробки бази даних для оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти в умовах модульної системи навчання [4–6], виділимо основні сутності (табл. 1).

Детально опишемо кожну з сутностей, визначимо основні властивості.

1. Факультет – сукупність інформації про факультет закладу вищої освіти, що містить назву факультету, його код, прізвище та ім'я декана факультету. На факультеті реалізуються освітні програми за спеціальностями.

2. Програма – сукупність інформації про освітню програму, що ви-значає рівень здобуття вищої освіти, назву програми і шифр спеціальності, характеристику і опис компетентностей, програмних результатів навчання, в межах спеціальності містяться декілька груп здобувачів освіти [1, 10].

3. Група – сукупність інформації про академічну групу, а саме її код, назву, кількість здобувачів освіти, прізвище та ім'я старости групи.

Таблиця 1. – Сутності та їх ідентифікатори

Назва сутності	Ідентифікатор сутності
Факультет	Fakultet
Програма	Prohrama
Група	Grupa
Здобувач	Zdobuvach
Курс	Kurs
Модуль	Modul
Тема	Tema
Кафедра	Kafedra
Викладач	Vykladach
Оцінка	Otsinka

4. Здобувач – сукупність інформації про студента закладу вищої освіти, а саме номер його індивідуального плана чи залікової книжки, прізвище та ім'я (по батькові) здобувача освіти, рік народження, рік вступу на освітню програму, контактний номер телефону та адресу проживання.

5. Курс – сукупність інформації про освітню компоненту, її назву, кількість годин, що виділенні на її вивчення за навчальним планом, семестр, в якому викладається дана компонента та вид підсумкового контролю.

6. Модуль – сукупність інформації про модуль в певній освітній компоненті (курсі), зокрема його номер, кількість годин, виділених на вивчення, семестр в якому вивчається цей модуль та поточний контроль.

7. Тема – сукупність інформації про навчальні теми, а саме назву, номер, кількість годин та короткі характеристики теми.

8. Кафедра – сукупність інформації про кафедру, зокрема код, назву кафедри, кількість науково-педагогічних працівників (викладачів), прізвище, ім'я завідувача кафедри.

9. Викладач – сукупність інформації про викладачів, що здійснюють освітній процес в закладі вищої освіти, а саме про табельний номер кожного викладача, його прізвище, ім'я (по батькові), посаду, науковий ступінь та вчене звання за наявності, рейтинг викладача та інші відомості.

10. Оцінка – сукупність інформації про оцінку, яку виставляє викладач для перевірки результатів навчання здобувачів освіти, а саме про назву оцінки, оскільки при різних видах контролю виставляється своя оцінка, критерії за якими здійснено виставлення даної оцінки та безпосередньо бал, що визначає оцінку з числової та розрахункової характеристики. При цьому кожна оцінка відповідає своєму контролю знань та буде виставлена конкретному здобувачу за його роботу під час та після навчання у закладі вищої освіти

[11–14]. До одного рейтингу може входити багато оцінок.

Після визначення сутностей встановлюємо взаємозв'язки між ними, які відображено в табл. 2.

Таблиця 2. – Зв'язки між сутностями

№ п/п	Сутності	Тип зв'язку	Опис зв'язку
1	Факультет/Програма	1:N	На факультеті реалізується декілька освітніх програм
2	Факультет/Кафедра	1:N	На факультеті є декілька кафедр
3	Кафедра/Викладач	1:N	На кафедрі працюють викладачі
4	Викладач/Курс	M:N	Кожен викладач веде декілька курсів, однак одну освітню компоненту можуть вести кілька викладачів
5	Викладач/Здобувач	M:N	Викладач навчає багато студентів, водночас один студент навчається у кількох викладачів
6	Викладач/Оцінка	M:N	Викладач може виставити багато оцінок студентам, разом з тим, одну оцінку можуть виставити декілька викладачів, тобто реалізується метод експертного оцінювання [15]
7	Курс/Оцінка	1:N	З однієї освітньої компоненти можна поставити декілька оцінок при підсумковому контролі
8	Програма/Курс	1:N	В кожній програмі є декілька обов'язкових освітніх компонент
9	Здобувач/Оцінка	1:1	За один контроль знань виставляється лише одна оцінка
10	Програма/Група	1:N	До однієї спеціальності може входити кілька груп студентів
11	Група/Здобувач	1:N	В одній групі навчається багато студентів (здобувачів вищої освіти)
12	Здобувач/Курс	M:N	Здобувач вивчає багато освітніх компонент, але й одну компоненту (курс) вивчають багато студентів
13	Курс/Модуль	1:N	Курс містить кілька модулів
14	Модуль/Тема	1:N	Модуль поділяється на окремі теми

На основі вищерозглянутих даних пропонуємо концептуальну модель

бази даних, в якій зазначаються назви об'єктів, тобто сутності бази даних для оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти, назви атрибутів (властивості сутностей) та зв'язки між ними. При цьому засоби формалізованого опису даних необхідно використовувати для ідентифікації даних в інформаційних масивах та організації ефективного доступу до них. До цих засобів відносяться системи класифікації та кодування елементів даних, а також інформаційні мови, призначені для опису запитів до масиву даних і відповідей на такі запити [2, 5]. Однак практичні питання розробки програмного комплексу оцінювання потребують окремого розгляду.

Висновки. У результаті проведеного дослідження запроєктовано базу даних, функціональне призначення якої полягає в забезпеченні зберігання, обробки та аналітичного опрацювання результатів навчання здобувачів вищої освіти. В процесі розроблення здійснено ідентифікацію основних інформаційних об'єктів предметної області, до яких віднесено здобувачів освіти, освітні компоненти, форми контролю, результати оцінювання, викладачів тощо. Встановлення взаємозв'язків між цими об'єктами дозволило сформувати цілісну логічну структуру бази даних, яка адекватно відображає реальні процеси освітньої діяльності.

З використанням засобів концептуального моделювання побудовано модель даних, що відповідає вимогам сучасних інформаційних технологій і стандартів у сфері вищої освіти. Запропоноване рішення забезпечує цілісність та узгодженість збереженої інформації, підтримує ефективне управління освітніми процесами, а також створює підґрунтя для подальшої автоматизації та вдосконалення процедур оцінювання результатів навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Делембовський М. М., Балака М. М., Пристайло М. О., Дьяченко О. С. Розробка та впровадження сучасних методів організації освітнього процесу у закладах вищої освіти. *MoodleMoot Ukraine 2023. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle:* матеріали 11-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (26–27 трав. 2023 р.). К.: КНУБА, ІІТЗН НАПН України, 2023. URL: https://2023.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=9 (дата звернення: 10.04.2025).

2. Бондарук Б. Ю., Науменко С. В., Балака М. М. Аналіз методів і моделей оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти. *Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України:* матеріали VII Міжнар. конф. (14 листоп. 2024 р.). К.: Ліра-К, 2025. С. 54–58.

3. Міщук Д. О., Міщук Є. О., Балака М. М. Міждисциплінарна освіта – запорука до сталого розвитку суспільства. *MoodleMoot Ukraine 2024. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle:* матеріали 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (31 трав. 2024 р.). К.: НАПН України, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2024. URL: https://2024.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=13 (дата звернення: 10.04.2025).

4. Паламарчук О. М., Балака М. М. Структурний аналіз модульної системи навчання.

Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. (21–22 трав. 2015 р.). Дніпропетровськ: НГУ, 2015. С. 378–388.

5. Почка К. І., Пристайло М. О., Балака М. М. Формування вимог до системи контролю та оцінювання програмних результатів навчання. *Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України:* матеріали VII Міжнар. конф. (14 листоп. 2024 р.). К.: Ліра-К, 2025. С. 364–366.

6. Міщук Д. О., Балака М. М., Рашківський В. П. Використання інформаційно-комунікаційних технологій для розвитку дистанційного навчання. *Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України:* матеріали VII Міжнар. конф. (14 листоп. 2024 р.). К.: Ліра-К, 2025. С. 280–283.

7. Міщук Д. О., Балака М. М., Рашківський В. П. Досвід дистанційного навчання студентів CAD-системам. *MoodleMoot Ukraine 2020. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle:* матеріали 8-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (22–23 трав. 2020 р.). К.: КНУБА, ІІТЗН НАПН України, 2020. URL: https://2020.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=25 (дата звернення: 10.04.2025).

8. Пелевін Л. Є., Балака М. М., Аржаєв Г. О. Мехатронні системи гідропневмоавтоматики. К.: Аграр Медіа Груп, 2014. 192 с.

9. Балака М. М., Делембовський М. М., Дьяченко О. С. Розроблення структурно-функціональної схеми оцінювання результатів навчання студентів. *Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України:* матеріали VII Міжнар. конф. (14 листоп. 2024 р.). К.: Ліра-К, 2025. С. 27–31.

10. Пристайло М. О., Балака М. М., Делембовський М. М. Особливості розробки та вдосконалення освітніх програм в галузі знань G «Інженерія, виробництво та будівництво». *Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України:* матеріали VII Міжнар. конф. (14 листоп. 2024 р.). К.: Ліра-К, 2025. С. 377–378.

11. Паламарчук О. М., Балака М. М. Тестові технології навчання і контролю знань у системі Moodle. *MoodleMoot Ukraine 2015. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle:* матеріали 3-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (21–22 трав. 2015 р.). К.: КНУБА, ІІТЗН НАПН України, 2015. URL: https://2015.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=97 (дата звернення: 10.04.2025).

12. Паламарчук О. М., Балака М. М. Визначення рейтингу студентів в умовах модульної системи навчання. *Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту:* матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. (26–27 трав. 2016 р.). Дніпропетровськ: НГУ, 2016. С. 466–474.

13. Пристайло М. О., Балака М. М., Щербина Т. Ф. Технічні засоби навчання. К.: КНУБА, 2020. 108 с.

14. Балака М. М., Пристайло М. О., Міщук Д. О. Передумови створення автоматизованих систем оцінювання знань здобувачів освіти. *Актуальні проблеми освітнього процесу в контексті європейського вибору України:* матеріали VI Міжнар. конф. (16 листоп. 2023 р.). К.: Компринт, 2024. С. 39–43.

15. Паламарчук О. М., Педоряка М. В., Балака М. М. Метод експертного оцінювання знань при нечіткій інформації. Розвиток інформаційно-ресурсного забезпечення освіти і науки в гірничо-металургійній галузі і транспорті: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. (27–28 верес. 2014 р.). Дніпропетровськ: НГУ, 2014. С. 376–384.

УДК 378+631.5

ІНТЕРАКТИВНІ ОНЛАЙН-ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАННІ АГРОІНЖЕНЕРІВ: ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ MOODLE

С.А. Нужна
к.е.н., доцент, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна, E-mail: nuzhna.s.a@dsau.dp.ua

Анотація. У роботі досліджено можливості та ефективність використання інтерактивних онлайн-технологій, зокрема платформи Moodle, у процесі підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальностями агроінженерного профілю. Розглянуто вплив впровадження таких інноваційних методів навчання, як віртуальні лабораторні роботи, симуляції, онлайн-практикуми та форуми, на формування ключових професійних компетентностей майбутніх фахівців. Особливу увагу приділено аналізу розвитку технічної компетентності, що передбачає вміння працювати з сучасним обладнанням та технологіями; аналітичної компетентності, необхідної для аналізу даних та прийняття обґрунтованих рішень; комунікативної компетентності, що забезпечує ефективну взаємодію з колегами та клієнтами; та цифрової компетентності, критичної для успішного застосування цифрових інструментів у професійній діяльності. Результати дослідження підтверджують значний позитивний вплив використання Moodle та інтерактивних онлайн-технологій на якість підготовки агроінженерів, підвищення їх конкурентоспроможності на ринку праці та готовності до успішної професійної діяльності в умовах цифрової трансформації аграрного бізнесу.

Ключові слова: *інтерактивні онлайн-технології, платформа Moodle, агроінженерія, професійні компетентності, дистанційне навчання.*

INTERACTIVE ONLINE TECHNOLOGIES IN TRAINING AGRICULTURAL ENGINEERS: EXPERIENCE OF USING THE MOODLE PLATFORM

Svitlana Nuzhna
PhD in Economics, Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, Dnipro State Agrarian and Economic University, E-mail: nuzhna.s.a@dsau.dp.ua

Abstract. The paper explores the possibilities and effectiveness of using interactive online technologies, in particular the Moodle platform, in the process of training higher education applicants in agricultural engineering specialties. The impact of implementing such innovative teaching methods as virtual laboratory work, simulations, online workshops and forums on the formation of key professional competencies of future specialists is examined. Particular attention is paid to the analysis of the development of technical competence, which involves the ability to work with modern equipment and technologies; analytical competence, necessary for data analysis and making informed decisions; communicative competence, which ensures effective interaction with colleagues and clients; and digital competence, critical for the successful use of digital tools in professional activities. The results of the study confirm the significant positive impact of using Moodle and interactive online technologies on

the quality of training of agricultural engineers, increasing their competitiveness in the labor market and readiness for successful professional activity in the conditions of digital transformation of agricultural business.

Keywords: interactive online technologies, Moodle platform, agricultural engineering, professional competencies, distance learning.

Вступ. Сучасний світ, позначений стрімким розвитком цифрових технологій, висуває нові вимоги до системи освіти, особливо в галузі агроінженерії. Ця сфера, що поєднує в собі інженерні знання та аграрні технології, відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки та сталого розвитку аграрного бізнесу. В умовах швидкої технологічної еволюції, коли традиційні методи навчання часто не встигають за темпами змін, інтерактивні онлайн-технології стають не просто доповненням, а необхідною складовою освітнього процесу.

Платформа Moodle, як потужний інструмент для організації дистанційного навчання, відкриває широкі можливості для ефективної підготовки агроінженерів, здатних працювати з сучасним обладнанням, впроваджувати інноваційні технології та вирішувати складні інженерні завдання в аграрному секторі. Її функціонал дозволяє створювати інтерактивні навчальні курси, включаючи віртуальні лабораторії, симулятори та онлайн-практикуми, які максимально наближені до реальних виробничих умов. Це сприяє розвитку практичних навичок та вмінь, необхідних для роботи з сучасними агротехнологіями. Крім того, Moodle забезпечує ефективну комунікацію між викладачами та здобувачами, а також можливість організації групової роботи та обміну досвідом. Використання цієї платформи дозволяє адаптувати навчальні програми до динамічних змін в агропромисловому комплексі та готувати фахівців, здатних успішно працювати в умовах цифрової трансформації аграрного бізнесу.

Крім того, платформа Moodle дозволяє адаптувати навчальний процес до індивідуальних потреб здобувачів, враховуючи їх рівень знань та темп навчання; надає інструменти для ефективного оцінювання знань здобувачів та надання їм зворотного зв'язку, що сприяє покращенню результатів навчання; інтегрувати в навчальні курси різноманітні онлайн-ресурси, такі як відеолекції, статті, бази даних та інші матеріали; дозволяє організовувати онлайн-форуми, чати та інші інструменти для спілкування та обміну досвідом. А головне те, що використання Moodle сприяє розвитку цифрової грамотності здобувачів, що є необхідною компетентністю для сучасних агроінженерів.

Мета роботи полягає в оцінці впливу використання інтерактивних он-

лайн-технологій та платформи Moodle на формування ключових професійних компетентностей здобувачів-агроінженерів, таких як: технічна компетентність (вміння працювати з сучасним обладнанням), аналітична компетентність (здатність аналізувати дані та приймати рішення), комунікативна компетентність (вміння ефективно спілкуватися з колегами та клієнтами) та цифрова компетентність (вміння використовувати цифрові інструменти та технології).

Матеріал і результат досліджень. Війна в Україні стала важким випробуванням для системи вищої освіти, поставивши під загрозу її основні функції: забезпечення доступу до знань, підготовку фахівців та підтримку наукового потенціалу країни. В умовах постійних евакуацій, тривоги та обмежень традиційні форми навчання виявилися нежиттєздатними. Вищі навчальні заклади були змушені швидко адаптуватися до нових реалій, шукати шляхи збереження та продовження навчального процесу.

Ключовим інструментом забезпечення безперервності освіти стало дистанційне навчання [1]. Це дозволяло здобувачам і викладачам продовжувати навчання і працювати незалежно від місця їх перебування. Перехід на дистанційний формат виявив ряд проблем, пов'язаних з організацією освітнього процесу, забезпеченням якості освіти та підтримкою психологічного стану учасників освітнього процесу. Проте, незважаючи на важливість дистанційного навчання, його ефективність значною мірою залежить від інструментів, які використовують викладачі для організації освітнього процесу. Простої передачі матеріалів не завжди достатньо для забезпечення якісної освіти, особливо в умовах стресу та невизначеності. Тому, крім доступу до знань, необхідно створити сприятливе середовище для спілкування та підтримки [2].

Використання онлайн-інструментів для організації спілкування та підтримки дозволяє створити безпечний та комфортний простір для студентів та викладачів, які переживають стрес, пов'язаний з війною. У цьому контексті особливого значення набули такі платформи дистанційного навчання, як Moodle, Microsoft Teams, Google Classroom та інші. Вони стали не просто інструментами для передачі знань, а й платформами для організації спілкування, підтримки та співпраці. Використання платформ дозволило вишам не лише зберегти навчальний процес, а й відкрити нові можливості для розвитку дистанційного навчання.

Окрім платформ дистанційного навчання, значну увагу слід приділити таким онлайн-інструментам, як: Zoom та Google Meet, які використовуються для відеоконференцій та онлайн-спілкування; Google Docs, Sheets, Slides, Canva та LearningApps, які використовуються для співпраці та створення вмісту; Mentimeter і Padlet корисні для організації інтерактивних занять; Google

Drive і Dropbox зручні для зберігання та обміну файлами. Ці онлайн-інструменти можна інтегрувати з платформами дистанційного навчання або використовувати окремо для підтримки різних аспектів дистанційного навчання. Тому вони стали невід'ємною частиною навчального процесу у воєнний час, надаючи можливість не лише передавати знання, а й підтримувати спілкування між учасниками навчального процесу [3].

Сьогодні Zoom є одним з найпопулярніших інструментів для організації відеоконференцій та онлайн-спілкування, що активно використовується в освітньому процесі, зокрема в підготовці агроінженерів. Цей сервіс не лише дозволяє проводити онлайн-лекції, семінари, групові дискусії та індивідуальні консультації, але й ефективно інтегрується з платформою Moodle, розширюючи її функціональні можливості. Висока якість відео та аудіо забезпечує комфортне спілкування та сприяє кращому сприйняттю навчального матеріалу. Функція спільного доступу до екрана є особливо цінною для демонстрації технологічних процесів, роботи з інженерним програмним забезпеченням, аналізу схем та креслень, що є важливим аспектом навчання агроінженерів. Викладачі можуть наочно демонструвати роботу сільськогосподарської техніки через віртуальні симуляції або програмне забезпечення для проектування, а здобувачі – презентувати свої розрахунки та проекти.

Використання розділових кімнат у Zoom є ефективним для організації практичних занять у малих групах, де студенти можуть спільно розв'язувати інженерні задачі, обговорювати конкретні агротехнічні кейси або працювати над проектами під керівництвом викладача. Функція запису лекцій дозволяє студентам повертатися до складних тем для повторного опрацювання, що особливо важливо при вивченні технічних дисциплін.

Вбудований чат забезпечує оперативний обмін повідомленнями, посиланнями на додаткові ресурси та швидке вирішення організаційних питань. Гнучкість Zoom, завдяки його доступності на різних платформах, дозволяє студентам та викладачам брати участь у навчальному процесі з будь-якого пристрою та місця, що є важливим фактором для забезпечення безперервності навчання, особливо в умовах дистанційного формату.

Серед розмаїття платформ та онлайн-інструментів, що використовуються для дистанційного навчання, на окрему увагу заслуговує Moodle. Платформа Moodle має низку переваг, які роблять її ефективним інструментом для організації дистанційного навчання. Перш за все, це її відкритий вихідний код, який дозволяє адаптувати платформу до конкретних потреб навчального закладу та забезпечує постійне оновлення та розвиток. Moodle надає широкий набір інструментів для створення курсів, організації спілкування, оцінювання знань і управління процесом навчання. Гнучкість і масштабованість платформи дозволяють використовувати її як для невеликих груп, так і

для великих навчальних закладів. Moodle підтримує різні види навчальних матеріалів, включаючи текст, відео, аудіо, інтерактивні елементи, що робить навчання більш різноманітним і цікавим. Крім того, платформа забезпечує безпеку даних і конфіденційність інформації, що є важливим аспектом у дистанційному навчанні.

Інтеграція Zoom з Moodle може включати вбудовування посилань на онлайн-зустрічі безпосередньо в курси, автоматичне створення записів та надання доступу до них через платформу, що робить процес навчання більш організованим та зручним для всіх учасників.

У системі Moodle дисципліна (курс) складається з ряду структурних елементів, які дозволяють ефективно та зручно організувати процес навчання (рис. 1). Ці структурні елементи дозволяють викладачеві створити повноцінний і ефективний онлайн-курс, який відповідає потребам здобувачів-агроінженерів. Розглянемо більш детально налаштування основних елементів платформи.

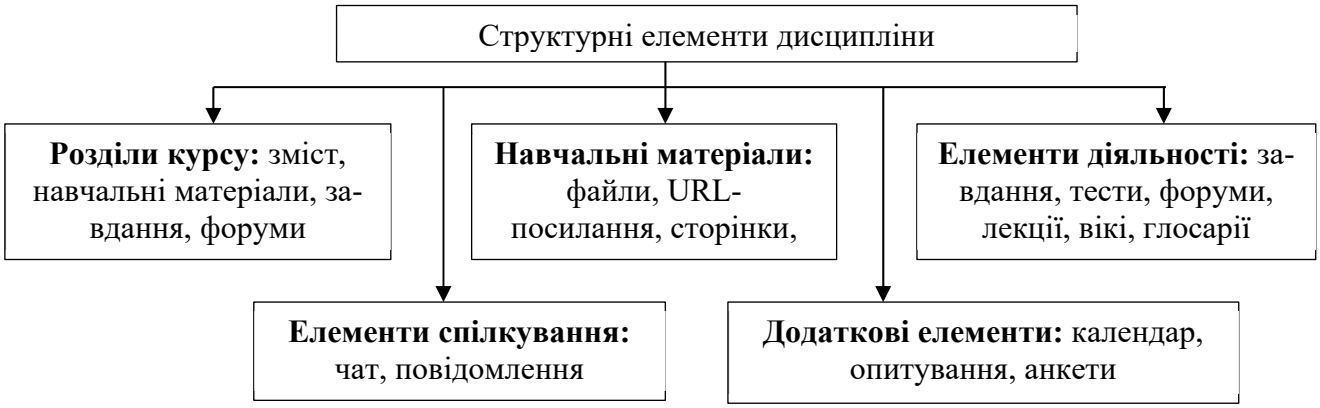


Рис. 1. – Структурні елементи дисципліни (курсу) в системі Moodle

При створенні лекції в Moodle викладач має можливість гнучко налаштовувати різноманітні параметри, що безпосередньо впливають на структуру, зміст та рівень доступності навчального матеріалу для здобувачів освіти. До ключових параметрів лекції належать не лише її назва та короткий опис, що допомагає здобувачам орієнтуватися в курсі, але й детальні налаштування зовнішнього вигляду, що забезпечують зручність сприйняття інформації (рис. 2). Важливими є також параметри доступності, які визначають часові рамки відкриття та закриття лекції, а також умови її проходження, включаючи можливість перегляду, навігацію між сторінками та обмеження за часом. Крім того, Moodle надає широкі можливості для збагачення контенту лекції за допомогою вставки гіперпосилань на зовнішні ресурси, різноманітних графічних об'єктів, ілюстрацій та мультимедійних елементів, таких як відео- та аудіофайли. Це дозволяє зробити лекційний матеріал більш

наочним, інтерактивним та таким, що краще запам'ятовується, що є особливо важливим при вивченні технічних дисциплін в агроінженерії.

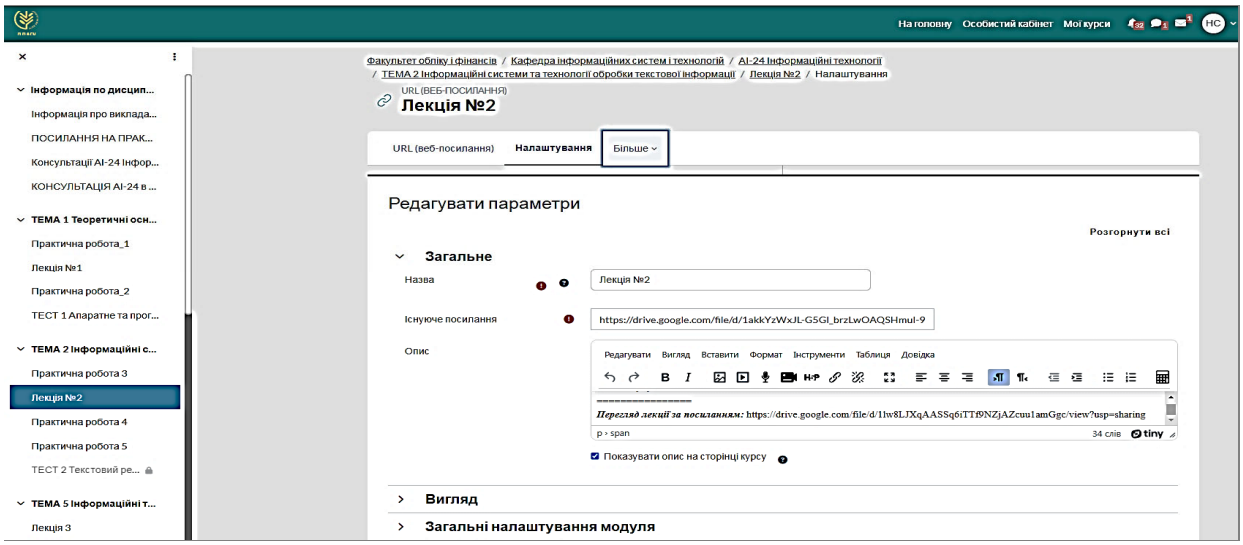


Рис. 2. – Режим налаштування лекції в Moodle

Формування практичних завдань у Moodle також передбачає можливість задання широкого спектру параметрів, які детально визначають їх умови виконання, чіткі вимоги до результатів та різноманітні варіанти оцінювання. Окрім обов'язкових елементів, таких як назва завдання, розгорнутий опис із зазначенням мети та очікуваних результатів, викладач може додавати необхідні додаткові файли-інструкції, методичні рекомендації або приклади виконання. Система дозволяє обирати різні типи подання відповідей від студентів – завантаження файлів різних форматів, введення тексту онлайн, посилання на зовнішні ресурси тощо, а також встановлювати максимальний розмір файлів для завантаження. Спосіб оцінювання може варіюватися від простого виставлення балів до використання складних рубрик оцінювання. Важливими є також параметри умовної доступності, що дозволяють відкривати завдання за певних умов (наприклад, після проходження попередньої теми), встановлення чіткого терміну своєчасної подачі роботи або завдань, а також визначення штрафних санкцій за несвоєчасне виконання та інші специфічні параметри, що забезпечують прозорість та об'єктивність процесу оцінювання. (рис. 3).

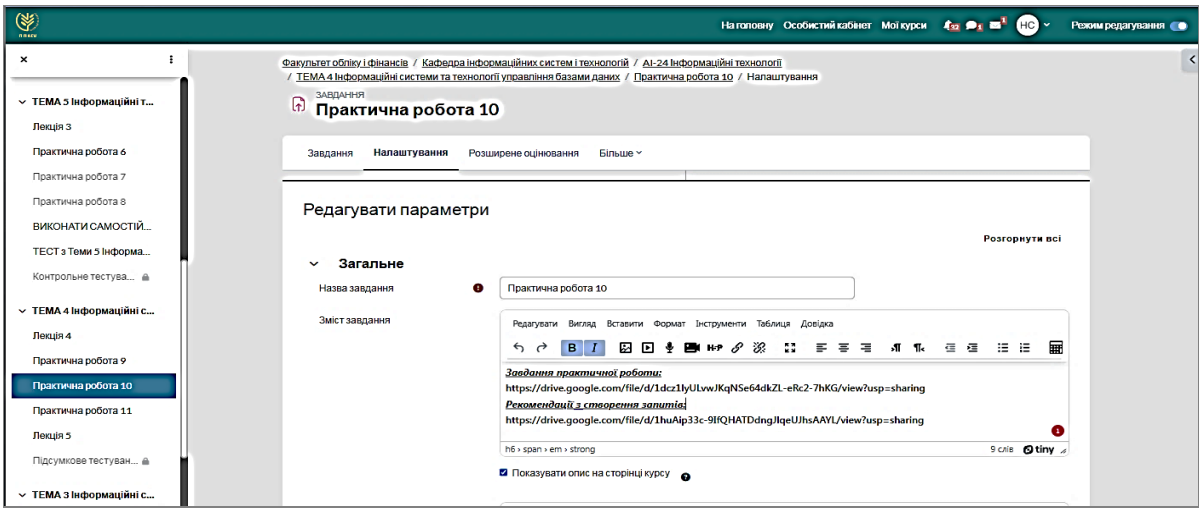


Рис. 3. – Налаштування параметрів практичної роботи в системі Moodle

Кожна навчальна тема або цілий курс, розроблений у системі Moodle, має потужний інструментарій для створення різноманітних тестових завдань, які викладач може ефективно використовувати для об'єктивної оцінки рівня знань здобувачів освіти. Moodle пропонує широкий спектр типів тестових запитань, кожен з яких має свої особливості та переваги для перевірки різних аспектів навчання. Наприклад, запитання типу множинний вибір з однією або кількома правильними відповідями дозволяють швидко оцінити розуміння ключових понять та фактів. Запитання на коротку відповідь або числову відповідь вимагають від здобувачів точного формулювання знань або виконання конкретних розрахунків. Запитання на *відповідність* ефективні для перевірки вміння встановлювати зв'язки між різними елементами.

Більш складні типи запитань, такі як *есе*, дають можливість оцінити глибину розуміння теми, вміння логічно мислити та викладати свої думки. *Вкладені відповіді* (Cloze) дозволяють створювати інтерактивні завдання з пропусками, які здобувач повинен заповнити, демонструючи розуміння контексту. Запитання типу **перетягування** можуть використовуватися для перевірки знань про класифікацію, послідовність або розташування елементів. *Обчислювальні запитання* є незамінними для технічних дисциплін, зокрема в агроінженерії, оскільки дозволяють генерувати випадкові числові значення для кожної спроби студента, забезпечуючи унікальність завдання та перевіряючи не лише знання формул, але й вміння їх застосовувати. Нарешті, тип запитання **опис** використовується для надання інструкцій або додаткової інформації до тесту. Різноманіття доступних типів запитань дозволяє викладачу створювати комплексні та об'єктивні тести, які всебічно відображають рівень засвоєння матеріалу здобувачами та сприяють їхньому навчальному прогресу, надаючи цінний зворотний зв'язок як здобувачам, так

і викладачу (рис. 4).

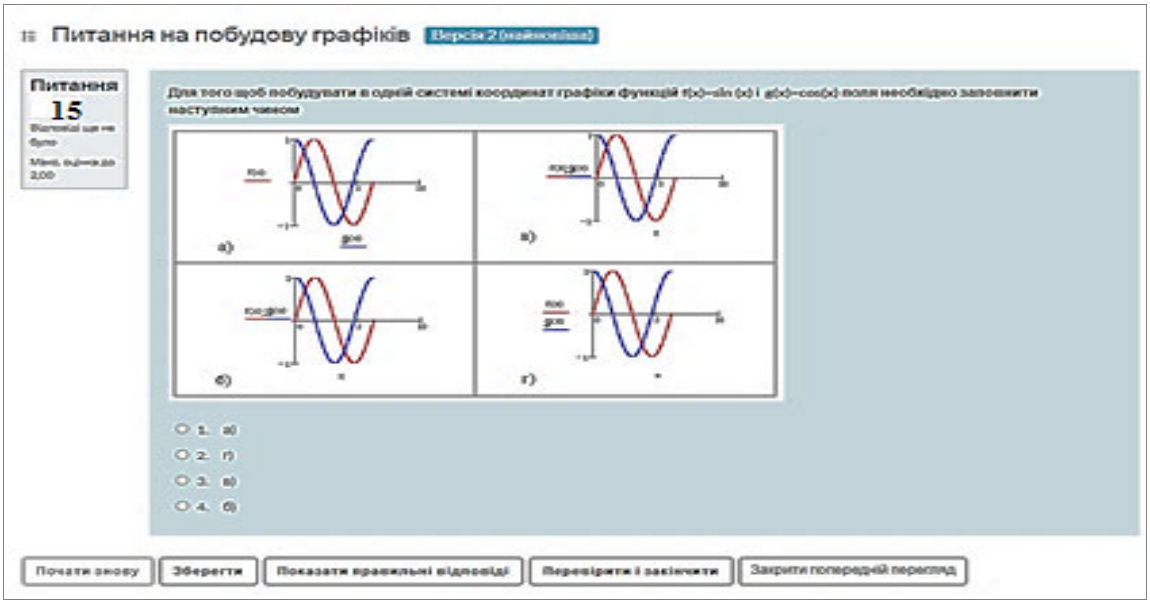


Рис. 4. – Одне з питань тестів в режимі перегляду системи Moodle

Інтеграція Moodle для підтримки безперервності навчального процесу також зумовлена тим, що крім лекційних занять, практичних і тестових аспектів, система Moodle може: організовувати форуми для обговорення освітніх питань, обміну ідеями та спілкування між студентами та викладачами; створювати глосарії для збору та визначення ключових термінів курсу; використовувати вікі для спільної роботи над документами та проектами; проводити опитування для збору відгуків учнів; організовувати семінари та вебінари; надати можливість завантажувати та обмінюватися файлами; створювати бази даних для зберігання та обміну інформацією; налаштувати календар подій для планування навчального процесу; організувати чати для спілкування в реальному часі; створювати навчальні журнали та блоги.

Таким чином, використання платформи Moodle з різними онлайн-інструментами дозволив не лише зберегти доступ до знань, а й створити ефективне та гнучке освітнє середовище. Використання інструментів для відеоконференцій, співпраці, створення контенту та організації інтерактивних занять значно розширило можливості дистанційного навчання. Moodle, як централізована платформа, забезпечила структуру та організацію навчального процесу, а зовнішні засоби додали інтерактивності, гнучкості та можливостей для спілкування. Така інтеграція дозволила викладачам адаптуватися до мінливих умов, забезпечуючи якісну освіту незалежно від місця перебування здобувачів.

Висновки. Практичний досвід підтвердила ефективність викорис-

тання інтерактивних онлайн-технологій та платформи Moodle для формування ключових професійних компетентностей здобувачів-агроінженерів. Впровадження інтерактивних методів навчання сприяє не лише засвоєнню теоретичного матеріалу, але й розвитку практичних навичок, необхідних для роботи в сучасному агропромисловому комплексі. Результати дослідження показують, що використання Moodle дозволяє ефективно розвивати такі компетентності, як технічна, аналітична, комунікативна та цифрова. Це, своєю чергою, підвищує конкурентоспроможність випускників на ринку праці та сприяє їх успішній професійній діяльності.

Результати проведеного дослідження підтверджують значний вплив використання інтерактивних онлайн-технологій та платформи Moodle на формування ключових професійних компетентностей здобувачів-агроінженерів. Впровадження інтерактивних методів навчання, таких як віртуальні лабораторні роботи, симуляції, онлайн-практикуми та форуми, сприяє розвитку технічної компетентності, дозволяючи здобувачам освоювати сучасне обладнання та технології в умовах, максимально наближених до реальних.

Аналітична компетентність також суттєво покращується завдяки використанню Moodle, оскільки здобувачі отримують доступ до великих обсягів даних, які необхідно аналізувати для прийняття обґрунтованих рішень. Онлайн-інструменти дозволяють візуалізувати дані, створювати діаграми та графіки, що сприяє розвитку навичок аналізу та інтерпретації інформації.

Комунікативна компетентність розвивається через активну участь у форумах, групових проектах та онлайн-дискусіях, що дозволяє здобувачам ефективно обмінюватися думками, аргументувати свою позицію та працювати в команді. Цифрова компетентність, необхідна для роботи в сучасному агропромисловому комплексі, формується через використання різноманітних онлайн-інструментів та платформ, що дозволяє здобувачам освоювати цифрові технології та застосовувати їх у своїй професійній діяльності.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації навчального процесу в агроінженерних спеціальностях, а також для розробки нових методик та інструментів онлайн-навчання. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення впливу використання Moodle на формування інших професійних компетентностей, а також на розробку рекомендацій щодо його використання в різних формах навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карімов І. К., Карімов Г. І., Нужна С. А. Традиційні і нетрадиційні методи в бізнес-освіті. Економічний вісник Дніпровського державного технічного університету. 2022. № 2(5). С. 16–24. DOI: https://doi.org/10.31319/2709-2879. 2022iss2(5).270421pp16-24

2. Нужна С. А., Гранкіна Т. О. Методичні засади поточного контролю знань засобами інформаційних технологій. Гуманітарний вісник: Вища освіта України у контексті інтеграції до європейського освітнього простору. К.: Гнозис, 2012. Вип. II (35). С. 518–526.

3. Nuzhna S. Innovative experimental activities in the education system of Ukraine in the conditions of war. European Humanities Studies: State and Society, 2022. №2, P. 115–129.

УДК 378.014.3:004 : 37.091.3

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ У ВИЩІЙ ОСВІТІ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ

Н.В. Руденко[1], Н.Д. Волкова[2]

[1]кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, e-mail: n.rudenko@khai.edu

[2]кандидат технічних наук, професор, директор аерокосмічного ліцею на базі національного аерокосмічного університету «ХАІ», juli_mal@ukr.net

[1,2]Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

Анотація. У роботі розглядаються ключові зміни у вищій освіті, зумовлені глобалізацією, технологічним розвитком та новими вимогами до викладача. Увага акцентується на важливості інноваційного підходу в освітньому процесі, розвитку критичного мислення, дослідницьких навичок та наставництва. Підкреслюється необхідність інтеграції цифрових технологій і європейського досвіду у підготовці сучасного фахівця.

Ключові слова: викладач, інновації, критичне мислення, наставництво, вища освіта, цифрові технології.

INNOVATIVE APPROACHES TO HIGHER EDUCATION IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION AND GLOBAL CHALLENGES

N.V. Rudenko[1], N.D. Volkova[2]

[1]PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics, Machine Science and Robotic Systems, e-mail: n.rudenko@khai.edu

[2]PhD in Engineering, Professor, Director of the Aerospace Lyceum at the National Aerospace University “KhAI”, e-mail: juli_mal@ukr.net

[1,2]National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine

Abstract. This paper discusses the key transformations in higher education driven by globalization, technological advancement, and evolving demands placed on educators. The focus is placed on the importance of innovative approaches in the educational process, the development of critical thinking, research skills, and mentorship. The paper highlights the necessity of integrating digital technologies and European experience into the training of modern specialists.

Keywords: educator, innovation, critical thinking, mentorship, higher education, digital technologies.

Вступ. У сучасному світі вища освіта зазнає значних змін, зумовлених технологічним прогресом, глобалізацією та реформами в освітніх системах. Викладач університету вже не є єдиним джерелом знань, а перетворюється на наставника, модератора навчального процесу та дослідника. Важливим аспектом є врахування європейського досвіду в організації викладання та ролі викладача в сучасному університеті.

У розумінні суті інноваційних процесів в освіті лежать дві найважливіші проблеми педагогіки – проблема вивчення, узагальнення та поширення передового педагогічного досвіду та проблема впровадження досягнень психолого-педагогічної науки в практику [1]. Все це підкреслює важливість управлінської діяльності по створенню, освоєнню і використанню педагогічних нововведень. Головною метою інноваційних технологій освіти є підготовка людини до життя в постійно мінливому світі [2].

Але як до цього прийти, коли найчастіше викладачеві не важливо, що саме думає студент з того чи іншого питання, а важливо лише те наскільки точно він відтворив його слова або текст параграфа підручника. Такий стан справ перестав влаштовувати всіх: державу, яка усвідомила необхідність оновлення освіти на всіх рівнях; суспільство, яке прийшло до висновку, що людина, котра є носієм застарілої інформації та не володіє ефективними стратегіями мислення, не здатна бути творцем, розвивати навколишню дійсність і бути компетентним фахівцем своєї справи.

Кожна людина народжується з інноваторським мисленням. Це всередині нас. Кожен – інноватор. Особливо це важливо для працівників освіти. Лідер в освіті – це той, хто творить, будує майбутнє.

В наш час акценти зміщуються у напрямку вміння критично мислити, самостійно добувати інформацію, критично її оцінювати і раціонально використовувати. Зараз необхідно переходити від старих «індустріальних» програм до інноваційних з урахуванням економіки інформаційного суспільства. Уміння знаходити нестандартні рішення, бути допитливим – необхідні риси для кожного. Самоосвіта, творчий підхід, комунікативність, критичне мислення, допитливість – життєво необхідні якості для кожного викладача у сучасному вищому навчальному закладі.

Мета роботи полягає у дослідженні основних змін у сфері вищої освіти, зумовлених глобалізаційними процесами, технологічним розвитком та трансформацією ролі викладача, а також у визначенні напрямів удосконалення освітнього процесу шляхом впровадження інноваційних підходів, розвитку критичного мислення, дослідницьких навичок і цифрових технологій.

Матеріал і результат досліджень. Сучасний викладач виконує кілька ключових ролей: педагогічна функція, науково-дослідницька діяльність, наставництво та супровід, інтеграція цифрових технологій.

Педагогічна функція. Педагог – це ключова фігура в освітньому процесі, від якої залежить ефективність навчання та виховання учнів. Педагог є суб'єктом педагогічної діяльності, що означає, що він виступає як активна сторона, яка впливає на учнів та сприяє їхньому особистісному інтелектуальному розвитку.

Педагог відповідає за передачу знань та навичок учням. Він повинен бути компетентним у своєму предметному галузі та вміти ефективно передавати цю інформацію. Сучасний викладач має комбінувати різні методи навчання, орієнтуючись на потреби студентів, особливості дисципліни та використовуючи новітні освітні технології. Цифровізація освіти вимагає від викладачів постійно навчатись.

Розвиток інформаційних технологій суттєво змінив освітній процес у вищих навчальних закладах. Сучасні університети активно впроваджують цифрові рішення, які покращують доступність знань, роблять навчання більш інтерактивним і персоналізованим. Наприклад, застосування онлайн-платформ та систем управління навчанням, використання віртуальної та доповненої реальності, технології штучного інтелекту, використання інтелектуальних тьюторів, гейміфікація, окрім цього, сучасні університети впроваджують хмарні технології, інструменти для управління завданнями, технології Інтернету речей.

Сучасні вимоги ставлять нові завдання: вміння бачити зв'язок сучасності з майбутнім, готовність до вирішення проблем, вміння працювати в команді, досконало володіти інноваційними технологіями, одержувати нові знання, шукати нові ідеї та рішення тобто володіти критичним мисленням.

Відправним пунктом критичного мислення є інформація. В основі критичного мислення Едварда де Боно [3] лежить ідея паралельного мислення, яке полягає в тому, що різні підходи і точки зору не протидіють один одному, а співпрацюють і пропонуються для реалізації. Запропонований автором метод «шість капелюшків мислення» полягає в різних підходах до розгляду і оцінки своєї діяльності, діяльності колег і взагалі привчає бачити один і той же предмет з різних позицій. В результаті такого багатогранного підходу складається нова характеристика предмету, ідеї, події і може бути прийняте саме раціональне рішення для реалізації. Крім того той, що навчається, має свою думку, обмінюється думкою з іншими, ділиться враженнями.

Критичне мислення учнів розвивається під час опрацювання інформації, раціонального вибору діяльності, оцінки ситуації. Цей метод дозволяє

розглянути тему уроку з любої точки зору, використовувати широкий спектр мислення [4].

Критичне мислення формується поступово, і є результатом щоденної роботи учня та учителя. Завдяки критичному мисленню процес пізнання на кожному уроці стає свідомим, міжпредметним, результативним. Сучасному педагогу необхідно працюють над розвитком почуття особистої відповідальності, самостійності, почуття дружби і взаємодопомоги, які в сукупності здатні підготувати студентів до активної індивідуальної діяльності і до ефективної роботи в колективі.

Науково-дослідницька діяльність. За визначенням науково-дослідницька діяльність – це один з видів діяльності педагога, спрямований на пізнання й перетворення педагогічної реальності на основі досягнень педагогічної науки та застосування наукових методів; результатом цієї діяльності є отримання нового педагогічного знання та досвіду й розвиток методологічної культури педагогадослідника.

Важливим компонентом професійної діяльності викладачів є науково-дослідна діяльність, яка спрямовує їх творчий пошук на розробку нових теоретичних концепцій, ефективних методик і освітніх технологій тощо. Впровадження результатів науково-дослідної діяльності викладачів у практику вищого навчального закладу дозволяє піднімати рівень професійної підготовки майбутніх фахівців на якісно новий рівень. Як відомо, в сучасних умовах функціонування вищої школи викладачі мають значні можливості для проведення науково-дослідної роботи. Але для її грамотного проведення педагог повинен засвоїти необхідні для цього знання й вміння. Так, він має чітко усвідомити сутність і специфіку такої роботи, засвоїти вимоги до її організації, методи проведення педагогічних досліджень і т.ін.

Навчально-дослідницька діяльність викладача з одного боку передбачається як одна зі складових професійної компетентності, а з другого боку як однин зі шляхів її формування. Професійна компетентність включає: ціннісно-орієнтовану; загальнокультурну; комунікативну; інформаційно-технологічну компетентність; компетентність соціальної взаємодії та особистого саморозвитку, а також когнітивну компетентність як комплексну компетентність, що забезпечує процес самостійної навчально-пізнавальної та дослідницької діяльності викладача. Остання передбачає вміння ефективно планувати, організовувати свою освітню діяльність, володіти способами аналізу й рефлексії своєї діяльності по освоєнню знань на основі вимог відповідної функціональної грамотності, що дозволить викладачу розуміти наукову картину світу та мати навички пошуководослідницької діяльності.

Сьогодні в нових соціально-економічних умовах спостерігається стрімкий розвиток інтересу керівників та педагогічних працівників до проведення

наукових досліджень та експериментальної роботи в своїх навчальних закладах. З одного боку, це явище говорить про усвідомлення педагогічними колективами навчальних закладів необхідності докорінних перетворень в освіті. З іншого боку, – про усвідомлення ними своєї відповідальності за ці перетворення і необхідності підвищення свого науково-педагогічного рівня.

За сучасними вимогами у сфері освіти при проведенні атестації викладачам рекомендовано представити портфоліо, одним з розділів якого може бути науково-дослідницька, методична діяльність викладача. А тому викладачам варто звернути увагу на перелік методичних матеріалів, що поміщаються в цей розділ, і які свідчать про професіоналізм педагога. До їх складу відносяться серед інших наступні матеріали: проведення наукових досліджень; написання рукописів кандидатської або докторської дисертації, підготовка творчого звіту, доповідей, статей. Йдеться передусім про розвиток викладача як творчої особистості, про перемикання його з споживчого типу на самостійний пошук методичних рішень, про перетворення викладача в розробника і автора інноваційних методик та засобів навчання, які дозволяють їх реалізувати.

Наставництво та супровід. Підтримка студентів — це важливий компонент сучасного університету, що дозволяє студентам реалізовувати свій потенціал і досягати успіху!

Наставництво — це слово, яке набуло великого значення в останні роки. Ставлення, яке описує концепцію, відомо через взаємини майстра та учня. Останній тренується під керівництвом досвідченого наставника. Це є популярною схемою, яка використовувалася ще у стародавньому Римі чи Греції! Його мета — озброїти студента компетенціями або теоретичними знаннями. Воно служить для навчання навичкам вченого до такої міри, що він може досягти рівня магістра у певній галузі. Важливим є досвід учителя, який він передає учневі, використовуючи методи та інструменти, пристосовані до потреб людини.

Істотними є знання, якими володіє наставник. Вони складуть теорію — все, що можна читати, вивчати, переглядати або слухати. Це можливість дізнатися про галузь та її аспекти, які необхідні для виконання роботи на конкретній посаді.

По-друге, наставництво дозволяє набути навичок, які можна сприймати як практичні ресурси. Це будуть різні типи вправ, завдань та проєктів, які дозволять ознайомитися з роботою з технічної, комунікаційної або управлінської точки зору. Основна мета для студента стати незалежним, щоб він міг взяти на себе обов'язки вчителя.

Головне у вихованні – не навчити виконувати правила і дотримуватися вимог, а навчити молодих людей на рівні підсвідомості усвідомлювати важливість духовних і моральних життєвих цінностей, свої дії та вчинки.

Робота куратора – одна з найголовніших складових організації якісного проходження навчально-виховного процесу у вищому навчальному закладі. Кураторство – це найбільш творча і кропітка ділянка роботи педагога. У процесі роботи куратора виникає безліч запитань, на які потрібно давати відповідь якнайшвидше, тому що за кожним з них доля вихованця. Чому такий здібний студент став погано навчатися? Чому на заняття приходить не в настрої? Чому не підтримує дружні стосунки з одногрупниками?

Результатом діяльності куратора є набуття молодою людиною соціального досвіду поведінки, формування національної самосвідомості, ціннісних орієнтацій і розвиток індивідуальних якостей особистості.

На куратора покладається відповідальне завдання бути першим порадником і наставником студентів. Через його світосприйняття і вчинки "переломлюється" бачення студентами дійсності. Саме від нього багато в чому залежить, яка атмосфера пануватиме в групі, які стосунки складуться між студентами, як буде формуватися їхнє особистісне ставлення до обраної професії, до навчального закладу, до країни в цілому. Посада куратора передбачає дуже відповідальну та ретельну роботу, від якої залежить виховання окремого студента і всієї групи, а значить і досягнення навчального закладу в цілому.

Куратор покликаний надавати допомогу в організації режиму студента; з'ясовувати проблеми, пов'язані з побутовими умовами; координувати участь студентів у різноманітних видах діяльності; активізувати діяльність студентського самоврядування. Важливо також формувати у студентів відповідальне ставлення до виконання своїх навчальних і громадських обов'язків, розвивати навички самоосвіти, самоорганізації, самодисципліни, самоконтролю і самовиховання.

У своїй діяльності куратор досягає бажаних наслідків за умови, якщо займає стосовно майбутніх спеціалістів позицію старшого колеги, володіє необхідним стилем спілкування зі своїми вихованцями, який допомагає йому переконувати, а не карати, радити, а не диктувати, уважно вислуховувати студентів, підтримувати і пропагувати цінне, що є в їхніх пропозиціях, тактовно застерігати від можливих помилок, виявляючи турботу про формування у них позитивних якостей і подолання недоліків.

Куратор повинен розбиратися в структурі існуючих відносин в групі, ні в якому разі не ігноруючи феномену неформального спілкування. У своїй роботі зі студентами він може залучати лідерів неформальних груп, спиратися на них, активно співпрацювати з ними.

Куратор групи повинен знати і вміти визначити міру психологічного статусу кожного студента. Мистецтво куратора полягає не тільки в умінні спілкуватися з кожним студентом, це ще мистецтво співпраці з лідерами, використання їхнього впливу на колектив з метою його згуртування, створення в ньому здорової, творчої атмосфери. При цьому слід мати на увазі, що в групі, як правило, співдіють два типи лідерів: емоціональний та інструментальний.

У сучасному університеті роль викладача виходить далеко за межі традиційного викладання. Він не лише передає знання, а й виступає наставником і координатором розвитку студентів, допомагаючи їм у навчанні, професійному становленні та особистісному зростанні.

Кар'єрний супровід є невід'ємною частиною викладацької діяльності, оскільки університет не лише надає теоретичні знання, а й готує студентів до реальних умов ринку праці. Участь викладача у розвитку професійних навичок студентів, залучення їх до проєктів, стажувань і співпраці з компаніями сприяє підвищенню їх конкурентоспроможності.

Крім того, емоційна та психологічна підтримка відіграє важливу роль у забезпеченні комфортного освітнього процесу. Викладач допомагає студентам долати труднощі, підтримує їхню мотивацію та створює середовище, сприятливе для навчання та саморозвитку.

Таким чином, у сучасному університеті викладач виконує багатогранну роль: він є не тільки педагогом, а й наставником, мотиватором, консультантом і провідником у професійне майбутнє студентів. Саме такий підхід сприяє формуванню висококваліфікованих фахівців, які не лише володіють необхідними знаннями, а й мають практичні навички, впевненість у собі та чітке розуміння своїх професійних перспектив.

Інтеграція цифрових технологій. Світ навколо нас стрімко розвивається, і освіта не є винятком. З появою цифрових технологій ландшафт навчання трансформується, відкриваючи нові можливості як для учнів, так і для викладачів.

У сучасному цифровому соціумі, перевантаженому інформацією, традиційний та централізований навчальний процес не задовольняє потреби студентів, які прагнуть визначати мету особистого навчання та конструювати власний освітній простір. Багатовимірність сучасної системи освіти передбачає не лише передачу знань, а й способів практичної пізнавальної діяльності, творчій досвід, ціннісні орієнтації особистості з фокусом на професійну самореалізацію. Інформаційні технології, як засіб активізації самостійного автономного навчання, пропонують необмежені можливості для реалізації прагнень студентів до саморозвитку та самовдосконалення. Поєднання процесів глобалізації та інформатизації освіти сприяють створенню єдиного

освітнього простору, в якому відбувається синергетика традиційного навчання з інформаційними технологіями. Результатом такого поєднання є виникнення сталої системи безперервної випереджальної освіти, основною цінністю якої є індивідуальні потреби та можливості особистості.

Студенти сьогодення народжені в епоху цифрових технологій і викладачам необхідно прикладати зусиль для того, щоб будувати справжні партнерські суб'єкт-суб'єктні взаємовідносини в умовах діджиталізації освітнього процесу. Загальновідомим фактом є те, що у навчальному процесі технології відіграють життєво важливу роль і мають багатоцільове призначення, оскільки студенти отримують доступ до автентичної інформації, створюють спільноти для розв'язання проблемних завдань, розробки міжнародних проєктів та наукового пошуку. Це надзвичайно корисний, захоплюючий та інтерактивний інструмент з необмеженим дидактичним потенціалом як для викладачів, так і для студентів. Ефективність інтегрування цифрових освітніх технологій навчання обґрунтовується варіативністю контекстуальних та когнітивних факторів, які забезпечують студентові свободу вибору та відповідність індивідуальним потребам.

У цьому контексті, однією з найважливіших компетентностей, яку потрібно формувати у студентів, є вміння оцінювати якість інформаційного контенту та ресурсу, отримувати доступ до ресурсів, самостійно створювати якісний цифровий контент, аналізувати інформаційні повідомлення. Для цього необхідний ретельно спланований та продуманий план організаційно-дидактичних дій з боку викладача, що передбачає розробку адекватних та методологічно виважених навчальних стратегій, форм та методів, навчальних матеріалів, моделей співпраці, що в сучасних реаліях постає проблемою для викладачів.

Впровадження новітніх технологій змінює освітній ландшафт в Україні. Від інтерактивних дошок і платформ електронного навчання до програм віртуальної реальності та доповненої реальності, ці інструменти революціонізують спосіб навчання студентів і викладання вчителів.

Порівняння ролі викладача в Україні та європейських країнах. Роль викладача у сучасному вищому навчальному закладі значно змінилася порівняно з традиційною моделлю, що існувала десятиліттями. Сьогодні викладач виконує не лише функцію передавача знань, а й стає наставником, консультантом, мотиватором та координатором професійного розвитку студентів. Його завдання виходять за межі аудиторної діяльності, охоплюючи індивідуальну підтримку студентів, розвиток їхніх дослідницьких навичок та сприяння працевлаштуванню. Особливо помітні ці зміни у європейських країнах, де освітні процеси вже тривалий час орієнтовані на студентоцентричний підхід, тоді як в Україні вони ще перебувають на етапі трансформації.

В Україні роль викладача все ще значною мірою базується на традиційній лекційній моделі навчання, хоча поступово впроваджуються інтерактивні методи. Викладання часто має монологічний характер, а студенти виконують завдання в межах заздалегідь визначеної програми. У європейських університетах викладачі більше орієнтовані на дослідницьку діяльність, а навчальний процес побудований на активній взаємодії студентів, проєктному навчанні та міждисциплінарних підходах. Головний акцент робиться на тому, щоб навчити студентів самостійно шукати інформацію, аналізувати її та застосовувати на практиці.

Однією з основних відмінностей є методи викладання. У європейських вищих навчальних закладах широко використовуються інтерактивні підходи, такі як problem-based learning (навчання на основі розв'язання проблем), кейс-методи, групові дискусії та індивідуальні дослідницькі проєкти. В Україні ж і досі зберігається перевага лекційних занять, хоча останнім часом дедалі більше викладачів впроваджують сучасні методики навчання.

Також спостерігається значна різниця в підходах до оцінювання знань. У європейських університетах більше уваги приділяється поточному контролю, самостійній роботі студентів, рефлексії та зворотному зв'язку. Викладачі не лише виставляють оцінки, а й аналізують успіхи студентів, надаючи їм детальні рекомендації щодо вдосконалення навичок та знань. В Україні оцінювання часто базується на підсумкових іспитах та заліках, що не завжди стимулює студентів до постійної самоосвіти та активного навчання протягом семестру.

Ще однією важливою складовою ролі викладача є його наукова діяльність. У європейських країнах викладачі активно залучені до міжнародних наукових проєктів, працюють у міждисциплінарних командах та мають широкі можливості для отримання грантів на проведення досліджень. Це дозволяє інтегрувати науку у навчальний процес, роблячи його більш актуальним та прикладним. В Україні викладачі також займаються науковою діяльністю, проте через фінансові обмеження та бюрократичні складнощі їхня участь у міжнародних проєктах є менш активною.

Крім того, в європейських університетах спостерігається більша гнучкість навчальних програм. Студенти мають можливість формувати власну освітню траєкторію, обираючи курси відповідно до своїх інтересів та кар'єрних планів. Викладачі також мають більше свободи у виборі методів навчання та оцінювання, що дозволяє їм адаптувати курси до сучасних вимог ринку праці. В Україні ж навчальні програми часто є жорстко регламентованими, що обмежує як студентів, так і викладачів у виборі навчальних стратегій.

Таким чином, роль викладача у сучасному університеті як в Україні, так і в Європі значно розширилася. Він не лише навчає, а й сприяє розвитку студентів як особистостей та майбутніх професіоналів. У європейських країнах ця трансформація відбулася раніше, і освітня система орієнтована на активне залучення студентів до навчального процесу, розвиток їхньої самостійності та критичного мислення. В Україні ж цей процес ще триває, і хоча позитивні зміни помітні, викладачі часто стикаються з певними труднощами, пов'язаними з реформами у сфері вищої освіти. Впровадження студент-центричного підходу, розширення можливостей для наукової діяльності та підвищення гнучкості навчальних програм є тими напрямами, які можуть сприяти розвитку вищої освіти в Україні та зробити її більш конкурентоспроможною на міжнародному рівні.

Висновки. Сучасний викладач – це не лише носій знань, а й наставник, дослідник, модератор освітнього процесу.

У сучасному світі вища освіта переживає значні трансформації, викликані прогресом технологій, глобалізацією та реформами в освітніх системах. Викладачі університетів більше не обмежуються лише роллю джерела знань, а стають наставниками, модераторами та дослідниками навчального процесу. Це підкреслює важливість впровадження європейського досвіду в організацію викладання та визначення ролі викладача в сучасних університетах.

Ключовими проблемами інновацій в освіті є інтеграція передових педагогічних практик і наукових досягнень у навчальний процес. Це дозволяє створити ефективні методи навчання, які враховують швидко змінювану реальність сучасного світу. Однак, для досягнення цієї мети, необхідно подолати традиційні підходи, де викладач зосереджується лише на правильності відтворення інформації студентами. Сучасні вимоги освітньої системи акцентують увагу на розвитку критичного мислення, самостійного здобуття знань та здатності до нестандартного мислення.

Завданням сучасного викладача є не тільки передача знань, але й розвиток у студентів здатності критично оцінювати інформацію та застосовувати її в реальних умовах. Для цього викладач повинен володіти різноманітними педагогічними методами, використовувати цифрові технології та інтерактивні методи навчання, адаптуючи їх до індивідуальних потреб студентів.

Науково-дослідницька діяльність також є важливою складовою роботи викладача. Вона сприяє розвитку нових педагогічних концепцій та методик, що підвищує рівень навчання в університетах. Впровадження результатів наукових досліджень у практику дозволяє не тільки підвищити кваліфікацію викладачів, але й покращити якість підготовки студентів.

Наставництво й підтримка студентів відіграють важливу роль у розвитку їхніх професійних навичок та особистісного зростання. Викладач має допомагати студентам не тільки у навчанні, а й у визначенні їхніх кар'єрних орієнтирів. Це включає в себе як практичне навчання, так і надання консультацій та підтримки, що дозволяє студентам адаптуватися до умов ринку праці.

Таким чином, роль викладача сьогодні полягає в комплексному підході до навчання, наукової роботи та розвитку студентів, що включає наставництво, підтримку кар'єрного росту та впровадження інноваційних методів навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Педагогічна логістика як метод оптимізації навчального процесу / Волкова Н.Д., Руденко Н.В. / XXXI International conference "NEW LEADING TECHNOLOGIES IN MACHININ BUILDING". Iron Port, 3 – 8 September 2021/ Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»/ – 2021. – В. 31 – С. 40.
URL: https://khai.edu/assets/documents/3205/CHAI_Proceedings_NLTinMB_2021.pdf
2. Створенню єдиного освітнього простору, що враховує шкільну й вищу освіту в галузі інженерії / Руденко Н.В., Волкова Н.Д. / XXXI International conference "NEW LEADING TECHNOLOGIES IN MACHININ BUILDING". Iron Port, 3 – 8 September 2021/ Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»/ – 2021. – В. 31 – С. 43.
URL: https://khai.edu/assets/documents/3205/CHAI_Proceedings_NLTinMB_2021.pdf
3. Волкова Н.Д., Руденко Н.В. Стратегії інноваційного навчання. Розвиток нових компітенції серед вчителів // Директор школи. – К.: Шкільний світ № 15-16 (783-784), серпень 2018. – 95 с. – С.15-25.
4. Волкова Н.Д., Руденко Н.В. Критичне мислення як метод розвитку творчих можливостей учнів // Директор школи. – К.: Шкільний світ № 15-16 (783-784), серпень 2017. – 105 с. – С.32-34.

УДК 004.738.5:378

ФОРМУВАННЯ ЄДИНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ НАЦІОНАЛЬНОГО АЕРОКОСМІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ: ВИКЛИКИ, РІШЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

О.С. Носиков[1], О.О. Ситнік[2]
[1]аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення, e-mail: o.nosykov@khai.edu
[2] аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення, e-mail: o.sytnik@khai.edu
[1,2]Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

Анотація. У статті розглянуто досвід інформатизації освітнього процесу у вищих навчальних закладах на прикладі Національного аерокосмічного університету. Визначено

переваги та недоліки чинної системи управління. Запропоновано концепцію Єдиної освітньої платформи, що передбачає централізоване управління освітніми даними, інтеграцію підсистем та автоматизацію диспетчеризації занять, що дозволяє знизити навантаження на персонал і підвищити ефективність управління навчальним процесом.

Ключові слова: інформатизація, управління навчальним процесом, освітня платформа, диспетчеризація, розклад занять.

ESTABLISHING A UNIFIED INFORMATION ENVIRONMENT AT THE NATIONAL AEROSPACE UNIVERSITY: CHALLENGES, SOLUTIONS, AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES

Oleksandr Nosykov[1], Oleh Sytnyk[2]

[1] PhD student, Department of Software Engineering, e-mail: o.nosykov@khai.edu, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine

[2] PhD student, Department of Software Engineering, e-mail: o.sytnik@khai.edu, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine

Abstract. The article examines the experience of digitalizing the educational process in Ukrainian universities using National Aerospace University as a case study. The advantages and limitations of the current academic management system are discussed. A concept of a Unified Educational Platform is proposed, enabling centralized data governance, subsystem integration, and automation of class scheduling, which reduces administrative workload and enhances the effectiveness of academic process management.

Keywords: informatization, educational process management, unified platform, scheduling, timetable.

Вступ. На даний час створення, розгортання та підтримка функціонування систем комплексного управління діяльністю вищих навчальних закладів є сталим загальносвітовим трендом [1]. Системи такого типу розробляються та впроваджуються і в провідних університетах України [2]. Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» являє собою типовий вітчизняний навчальний заклад вищого рівню акредитації, в якому свого часу була створена система управління навчальним процесом, що надало змогу накопичити практичний досвід її експлуатації, та виявити низку проблем, що перешкоджають досягненню належної ефективності процесу управління. До безумовних переваг цієї системи слід віднести вдалий вибір програмної платформи реалізації - Microsoft .NET 9 (Blazor Server), що забезпечило:

1. Низькі витрати на підтримку, оскільки дана платформа є доволі поширеною на ринку програмних послуг у 2025 році, і , як наслідок, забезпечує порівняно низькі пороговий рівень входу та рівень оплати праці спеціалістів молодшої ланки.

2. Можливість безперервної підтримки системи при зміні складу команди розробників, що забезпечується за рахунок підтримки рівню якості програмного коду більш досвідченими спеціалістами з команди та чітко організованого процесу оформлення супровідної документації.

3. Низькі витрати на інфраструктуру – рішення на даній платформі можливо розміщувати як на локальній інфраструктурі ВНЗ, без обмежень по операційній системі серверу (кросплатформеність), так і на провідних хмарних сервісах на вигідних умовах без значних змін програмного коду.

4. Мінімальні витрати на комплексний програмний продукт – веб-застосунок, розроблений на основі даної технології, коректно працює на ПК, ноутбуках, планшетах, смартфонах з усіма актуальними операційними системами. При цьому відсутність розділення продукту окремо на клієнтську та серверну частини значно зменшує часові витрати на ефективну підтримку.

Ще однією, доволі суттєвою перевагою є можливість реалізації «принципу нових задач», тобто організації поступової роботи над задачами (в рамках програмного комплексу на основні окремих систем, що мають стандартизований обмін даними) та зниження видатків за рахунок невеликого розміру робочої групи спеціалістів[3,4].

Мета роботи — обґрунтувати концепцію створення Єдиної освітньої платформи (ЄОП) Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» шляхом модернізації чинної системи управління навчальним процесом, з метою формування єдиного інформаційного простору, підвищення ефективності диспетчеризації занять та зниження навантаження на персонал закладу через автоматизацію й інтеграцію основних освітніх підсистем.

Структура системи управління навчальним процесом у Національному аерокосмічному університеті

Наразі, система управління навчальним процесом у Національному аерокосмічному університеті складається з набору таких функціональних підсистем:

- розроблення освітнього контенту та управління ним;
- створення персоніфікованого робочого простору для користувачів із різними правами та завданнями (викладачів, здобувачів вищої освіти, слухачів та інших учасників освітнього процесу):
- управління освітнім процесом;
- управління процесами забезпечення освітнього процесу.

За своєю структурою, система управління навчальним процесом у Харківському авіаційному інституті, є багаторівневою ієрархією, що відповідає типовій адміністративній структурі (у частині організації та проведення нав-

чального процесу) вищого навчального закладу четвертого рівня акредитації.

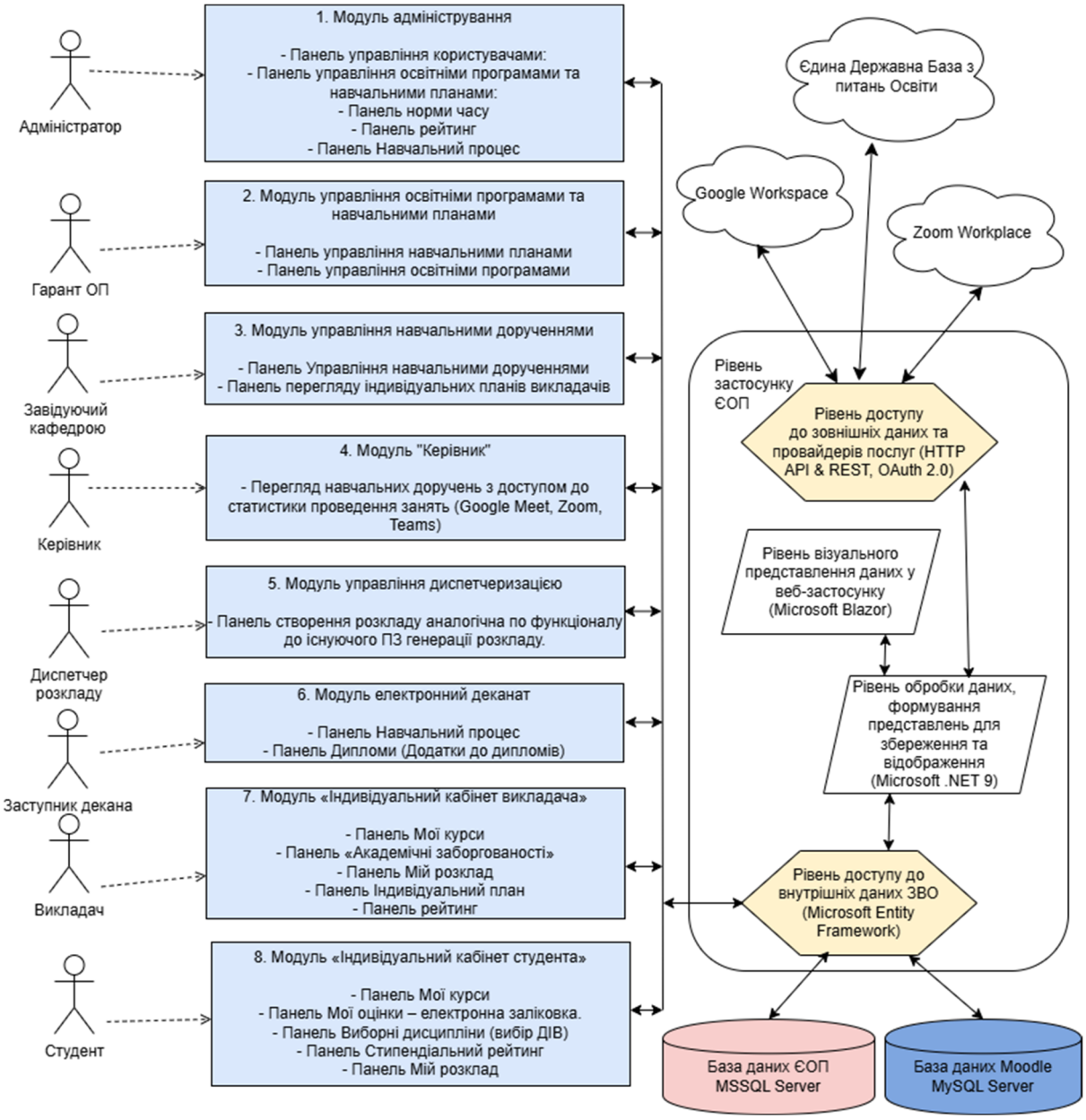


Рис 1. – «Узагальнена структура системи управління навчальним процесом У Національному аерокосмічному університеті»

Кожна функціональна підсистема із тих, що зазначені вище, являє собою сукупність типових блоків формування рішень, для реалізації яких були розроблені спеціалізовані програмні засоби:

1. Особистий кабінет студента, у якому розміщені індивідуальний розклад занять, електронні залікові відомості, стипендіальний рейтинг, інформація щодо вибору дисциплін, засоби реалізації опитувань).

2. Особистий кабінетвикладача (індивідуальний розклад лекційних, лабораторних та практичних занять, а також консультацій, електронні відомості, індивідуальні відомості успішності, індивідуальний план викладача, електронні силабуси дисциплін що викладаються).

3. Підсистема управління навчальними дорученнями по кафедрі.

4. Підсистема «Електронний деканат». (управління електронними відомостями, індивідуальним відомостями успішності, друк дипломів, додатків до дипломів, тощо).

5. Підсистема «Інформаційно-аналітичний відділ» - управління навчальними планами освітніх програм (управління освітніми програмами, навчальними планами, формування навчальних доручень по окремих кафедрах, розрахунок навчального навантаження на викладацький корпус).

6. Система диспетчеризації (створення та координування розкладу занять у межах університету).

7. Окремим компонентом системи є модуль дистанційного навчання Ментор, який розроблено на базі системи дистанційного навчання MOODLE.

Разом з тим, існуюча версія системи управління навчальним процесом, має ряд недоліків, що суттєво впливають на її ефективність. Наявність таких недоліків, зокрема, обумовлена фактичною відсутністю єдиного інформаційного простору у межах навчального закладу.

Концепція створення Єдиної освітньої платформи Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут». У доповіді представлена концепція створення Єдиної освітньої платформи (ЄОП) Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», шляхом модернізації існуючої системи, із розгортанням повноцінного інформаційного простору у межах ЗВО. Реалізація такої платформи безпосередньо у вигляді інформаційно-аналітичної системи потребує вирішення низки проблем організаційно-технічного характеру.

Насамперед, необхідно забезпечення належного рівню конфіденційності та безпеки даних, оскільки ЄОП має безпосередній зв'язок із гіпермедійним середовищем. По-друге, необхідно забезпечити доступність розкладу навчальних занять викладачів, студентів, студентських групна відповідній сторінці сайту education.khai.edu для неавторизованих осіб.

Крім зазначених вище, на ефективність функціонування ЄОП мають суттєвий вплив ряд таких чинників: коректність роботи веб-систем; можливі помилки у роботі сайта khai.edu, спричинені технічно застарілим програмним забезпеченням; ситуативні помилки відображення розкладу навчальних занять на education.khai.edu, внаслідок некоректного введення даних; некоректна робота pilot.khai.edu на деяких мобільних пристроях; обмежені можливості розміщення підсистеми khai.edu та підсистеми диспетчеризації

(далі – «Штурман»), що зумовлені їх технічною реалізацією; надмірні часові витрати персоналу у роботі з даними; обмін даними між підсистемами «Штурман», education.khai.edu, pilot.khai.edu у вигляді файлів Excel із внесенням даних користувачами без контролю достовірності; відсутність єдиного управління даними учасників навчального процесу в процесі функціонування підсистем «Штурман», education.khai.edu, pilot.khai.edu, mentor.khai.edu; недостатній рівень автоматизації процесів диспетчеризації навчальних занять. Мінімізація впливу останнього із зазначених чинників вимагає проведення наукового дослідження з метою підвищення ефективності управління навчальним процесом у ЗВО за рахунок створення технології інтеграції програмних засобів планування та диспетчеризації занять із інформаційним середовищем ЗВО, на основі запропонованих моделей та методів обробки даних про наявні ресурси та існуючі просторово-часові обмеження. Етапами такого дослідження є:

аналіз особливостей існуючих систем управління навчальним процесом вітчизняних і зарубіжних ЗВО, та програмно-методичного забезпечення, на якому вони побудовані;

виявлення проблемних моментів у реалізації процесів створення й підтримування єдиного інформаційного простору в умовах проведення навчання у різних формах, зокрема дистанційній;

розроблення комплексної моделі планування та диспетчеризації занять у ЗВО, яка б адекватно відображала гомогенність інформаційного простору у межах усього закладу, а саме при плануванні й диспетчеризації занять, та загалом, при управлінні навчальним процесом;

розроблення методу подання часових залежностей поміж бізнес-процесами, що мають місце при плануванні та диспетчеризації занять у ЗВО, який надавав би змогу виявляти відхилення, що можуть виникнути при реалізації навчального процесу, та оцінювати критичність цих відхилень для забезпечення належного рівня його якості;

створення технологічного базису, а на його основі – прототипу програмного комплексу для планування та диспетчеризації занять у ЗВО, з урахуванням сукупності найбільш значущих факторів.

У ході дослідження передбачається застосування: системного аналізу – для формалізації процесів, що пов’язані із плануванням та диспетчеризацією занять у ЗВО; теорії графів – для створення мережевої моделі управління навчальним процесом у ЗВО; теорії часових тверджень - для адекватного представлення часових залежностей, що мають місце при плануванні та диспетчеризації занять у ЗВО; методів математичної статистики – для обробки результатів емпіричних досліджень; експертології – для експертного

оцінювання альтернативних результатів планування та диспетчеризації занять у ЗВО.

Висновки. Таким чином, концепція удосконалення існуючої у Національному аерокосмічному університеті «Харківській авіаційний інститут» інформаційно-аналітичної системи управління навчальним процесом і доведення її до рівня ЄОП базується на підтримуванні єдиного інформаційного простору, централізованій структурі даних, застосуванні низки алгоритмів оптимізації та інтеграції системи з іншими сервісами, що дозволить значно покращити якість процесу диспетчеризації навчальних занять, зокрема, за рахунок зменшення часових витрат співробітників і адміністрації ЗВО, та підвищити ефективність освітнього процесу в цілому. Подальші дослідження передбачають розроблення дослідного прототипу такої системи, та його тестування в реальних умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kovalchuk, V. "Optimization methods in university scheduling." Journal of Higher Education Management, 2022.
2. Smith, J. "Artificial intelligence in education: Challenges and opportunities." AI & Education Journal, 2021.
3. Bezpalko O.V., Klishevych N.A., Liakh T.L., Pavliuk R.O. Criteria and indicators of university education quality: The results of expert interview / O.V. Bezpalko, N.A. Klishevych, T.L. Liakh, R.O. Pavliuk // The New Educational Review. – 2016. – Vol. 46, No. 4. – P. 61–71. – Режим доступу: https://doi.org/10.15804/tner.2016.46.4.05 (дата звернення: 21.04.2025).
4. Udouj G., Grover K., Belcher G., Kacirek K. An investigation of perceptions of programme quality support of adult basic education programmes / G. Udouj, K. Grover, G. Belcher, K. Kacirek // Evaluation and Program Planning. – 2017. – Vol. 61. – P. 106–112. – Режим доступу: (дата звернення: 21.04.2025).

УДК 378.147.091.31 – 059.2:001

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАУКОВОГО ГУРТКА ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

А.В. Вакуленко
студентка групи ХТ-1-21, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна, e-mail: avakulenko07@gmail.com

Анотація. В роботі розглянуто яким чином технічні наукові гуртки значно покращують навчання студентів завдяки практичним проєктам і наставництву викладачів. Показано що вони сприяють дослідницьким навичкам, інноваціям та професійному розвитку позанавчальною роботою. Гуртки надають практичний досвід і необхідні навички для майбутньої технічної кар'єри.

Ключові слова: наукові гуртки, технічні спеціальності, залучення студентів, проєктне навчання, менторство, дослідницькі навички, інновації, позанавчальна діяльність, інженерна освіта, розвиток навичок.

FEATURES OF FUNCTIONING OF A SCIENTIFIC STUDENT CLUB FOR TECHNICAL SPECIALTIES

A.V. Vakulenko
Student of group HT-1-21, Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine, e-mail: avakulenko07@gmail.com

Abstract. Technical scientific clubs significantly enhance student learning through hands-on projects and faculty mentorship. They promote research skills, innovation, and professional development through extracurricular activities. These clubs provide practical experience and essential competencies for future technical careers.

Keywords: scientific clubs, technical specialties, student engagement, project-based learning, mentorship, research skills, innovation, extracurricular activities, engineering education, skill development.

Вступ. Швидкий розвиток науки і техніки вимагає постійного пошуку знань та інновацій, особливо в технічних дисциплінах. Університети, як основні інкубатори майбутніх інженерів, науковців і технологів, несуть відповідальність за розвиток не лише теоретичного розуміння, але й практичних дослідницьких навичок і проактивного мислення щодо вирішення проблем. У той час як офіційні навчальні програми забезпечують базові знання, наукові гуртки для студентів технічних спеціальностей пропонують унікальну та безцінну додаткову платформу. Ці добровільні асоціації виходять за рамки структурованого навчального середовища, надаючи студентам можливість

глибше заглибитися в їхні конкретні сфери інтересів, брати участь у самостійних дослідженнях, співпрацювати з однолітками та викладачами та розвивати основні професійні навички, які все більше користуються попитом у конкурентному глобальному середовищі.

Наукові гуртки, за своєю суттю, являють собою мікрокосм ширшої наукової спільноти. Вони забезпечують простір, де студенти можуть досліджувати свою інтелектуальну допитливість, експериментувати з новими ідеями та випробувати ітеративний процес наукового дослідження – від формулювання гіпотез до планування експериментів, аналізу даних і поширення результатів. Ця практична участь особливо важлива в технічних галузях, де теоретичні концепції часто вимагають практичного застосування для зміцнення розуміння та інновацій. Динамічний і часто неофіційний характер цих гуртків забезпечує певний рівень гнучкості та дослідження, який не завжди може бути можливим в рамках обмежень жорсткої академічної програми.

Однак саме існування наукового гуртка не гарантує його ефективності. Успішне функціонування такої організації, особливо в складній сфері технічних спеціальностей, залежить від сукупності факторів, пов'язаних із її структурою, діяльністю, наставництвом, наявністю ресурсів та інтеграцією в більш широку академічну екосистему. Розуміння цих важливих особливостей має першочергове значення для студентів, які прагнуть максимізувати своє навчання та розвиток, для викладачів, які прагнуть виховувати майбутніх дослідників, і для адміністрацій університетів, які прагнуть розвивати яскраве та інноваційне академічне середовище. Ця робота має на меті заглибитися в ці особливі особливості, забезпечуючи всебічний аналіз того, що являє собою процвітаючий і впливовий науковий гурток для студентів, які вивчають технічні дисципліни. Досліджуючи організаційну структуру, типи заходів, які проводяться, роль наставництва, механізми обміну знаннями та ширший вплив на розвиток студентів, ця робота прагне надати цінну інформацію для оптимізації функціонування та підвищення загальної цінності цих важливих позанавчальних платформ.

Мета роботи полягає в тому, щоб комплексно виявити, проаналізувати та синтезувати ключові особливості, які сприяють ефективному та результативному функціонуванню наукових гуртків, спеціально створених для студентів технічних спеціальностей. Це дослідження виходить за рамки поверхневого опису діяльності гуртка, щоб заглибитися в базові механізми, організаційні структури та елементи підтримки, які сприяють живому та продуктивному середовищу для досліджень та інновацій під керівництвом студентів.

Матеріал і результати досліджень. Ідеї, представлені в цьому розділі, виведені на основі багатогранного підходу, що включає огляд літератури

про участь студентів у дослідницькій та позааудиторній діяльності [1, 2], аналіз тематичних досліджень успішних технічних наукових гуртків у різних університетах та узагальнення практичного досвіду, отриманого від консультантів факультету та членів студентів. Такий комплексний підхід дозволяє детально зрозуміти ключові особливості, які сприяють ефективному функціонуванню цих організацій.

1. Організаційна структура та управління:

Ефективні науково-технічні гуртки часто демонструють чітко визначену, але гнучку організаційну структуру. Ключові елементи включають:

- Чіткі ролі лідерства: обрані або призначені керівники студентів (наприклад, президент, віце-президент, секретар, скарбник, керівники проєкту) забезпечують напрямок, керують діяльністю гуртка та служать контактними особами. Ротація керівництва може сприяти ширшій участі та розвитку навичок.
- Визначені критерії членства та залучення: чіткі вказівки для приєднання до гуртка та очікування щодо участі членів мають вирішальне значення. Активне залучення часто заохочується через участь у проєктах, відвідування зустрічей і внески ініціатив в гуртки.
- Регулярні зустрічі та канали зв'язку: послідовні розклади зустрічей і ефективні канали зв'язку (наприклад, списки електронної пошти, платформи соціальних мереж, спеціалізовані онлайн-форуми) гарантують, що учасники будуть поінформовані про заходи, терміни та можливості.
- Прозорі процеси прийняття рішень: чіткі процедури пропозицій, обговорення та прийняття рішень щодо діяльності гуртка, проєктів і розподілу ресурсів сприяють почуттю власності та інклюзивності серед членів.
- Залучення радника факультету (без надмірного контролю): Спеціальний радник факультету забезпечує керівництво, наставництво, доступ до ресурсів та інституційну підтримку. Проте успішні гуртки дають студентам можливість брати на себе лідерство в організації та реалізації своїх ініціатив.

2. Проєктна навчальна та дослідницька діяльність:

Ядро більшості процвітаючих технічних наукових гуртків полягає в їх акценті на практичних проєктах і дослідницьких починаннях [3, 7]. Ключові особливості:

- Ідеї проєктів, орієнтовані на студентів.
- Різноманітність типів проєктів.
- Структуроване управління проєктами: впровадження основних принципів управління проєктами, таких як визначення цілей, встановлення часових рамок, розподіл завдань і відстеження прогресу, дає цінний практичний досвід.

• Доступ до необхідних ресурсів та інфраструктури: уаявність лабораторних приміщень, обладнання, програмного забезпечення та фінансування (навіть якщо воно обмежене) має вирішальне значення для того, щоб студенти могли ефективно виконувати свої проєкти. Підтримка університету в наданні або полегшенні доступу до цих ресурсів є життєво важливою.

• Акцент на процесі інженерного проєктування [7].

• Інтеграція міждисциплінарних підходів.

3. Наставництво та керівництво викладачами:

Роль наставників, зокрема викладачів, відіграє важливу роль в успіху технічних наукових гуртків [4]. Основні аспекти включають:

• Різноманітні можливості наставництва: надання доступу до наставництва з боку викладачів у рамках конкретних дисциплін студентів, а також потенційно від студентів старших курсів, випускників або професіоналів галузі пропонує широкий спектр точок зору та вказівок.

• Регулярна взаємодія та зворотній зв'язок: послідовні зустрічі між студентами та наставниками дозволяють оновлювати прогрес, вирішувати проблеми та надавати конструктивні відгуки щодо методології дослідження та розробки проєктів.

• Рекомендації з дослідницької етики та методології: наставники відіграють вирішальну роль у прищепленні етичних дослідницьких практик і навчанні студентів щодо відповідних методологій для обраних ними проєктів.

• Сприяння зв'язкам і можливостям: наставники можуть використовувати свої мережі, щоб підключити студентів до можливостей дослідження, стажування та потенційних співавторів.

• Розвиток незалежності та критичного мислення.

4. Розвиток навичок і отримання знань:

Технічні наукові гуртки забезпечують сприятливе середовище для розвитку як технічних, так і м'яких навичок [5, 8]. Ключові особливості:

• Поглиблене вивчення технічних концепцій.

• Розвиток практичних інженерних і технічних навичок: практична робота над проєктами дозволяє студентам набути й удосконалити практичні навички в таких сферах, як дизайн, виготовлення, програмування, аналіз даних і експериментування.

• Покращення здатності до вирішення проблем і критичного мислення: студенти постійно стикаються з технічними проблемами під час виконання проєктів, що вимагає від них критичного мислення та розробки творчих рішень [6].

• Удосконалення навичок спілкування та презентації.

• Розвиток навичок командної роботи та співпраці.

• Розвиток навичок управління проєктами та організаційних навичок: керівництво проєктами та участь у них допомагає студентам розвинути основні навички управління проєктами та організаційні навички.

5. Поширення результатів і визнання:

Заохочення студентів ділитися своєю роботою та отримувати визнання є життєво важливим для мотивації та професійного розвитку.

• Можливості для презентацій і демонстрацій.

• Заохочення публікацій у студентських журналах або матеріалах конференцій.

• Участь у змаганнях.

• Внутрішні нагороди та програми визнання.

6. Інтеграція з академічною екосистемою:

Ефективність технічного наукового гуртка часто підвищується завдяки його інтеграції з ширшим академічним середовищем [9, 10]. Ключові особливості:

• Узгодження з навчальною програмою та дослідницькими інтересами.

• Гостьові лекції та семінари викладачів і професіоналів галузі.

• Можливості допомоги в науково-дослідницьких проєктах викладачів.

• Співпраця з іншими студентськими організаціями.

Результати узагальнення досліджень. Аналіз цих особливостей показує, що успішний науково-технічний гурток працює як динамічна екосистема, де сходяться ініціатива студентів, керівництво викладачів, практична участь і можливості для зростання. Найбільш впливовими гуртками є ті, які:

• Дають студентам змогу керувати власним навчанням за допомогою самостійних проєктів.

• Забезпечують послідовне та підтримуюче наставництво з боку досвідчених викладачів.

• Пропонують широкі можливості для практичного застосування теоретичних знань.

• Сприяють спільному та інклюзивному середовищу, де процвітає навчання рівних.

• Активно заохочують розвиток як технічних, так і основних навичок спілкування.

• Забезпечують студентам платформи для обміну своєю роботою та отримання визнання.

• Інтегрують свою діяльність із широким академічним та дослідницьким співтовариством в університеті.

Навпаки, гуртки, які не мають чіткої організації, намагаються надати значущі можливості для проектів, мають обмежену участь викладачів, не

сприяють співпраці або не пропонують шляхів для розвитку навичок і визнання, ймовірно, зазнають нижчого рівня залучення студентів і впливу.

Висновки. Функціонування наукового гуртка студентів технічних спеціальностей – це багатопланова справа, яка потребує пильної уваги до низки взаємопов'язаних особливостей. Як підкреслюється в цьому аналізі, найефективніші гуртки служать яскравими центрами навчання, інновацій і професійного розвитку, виходячи далеко за межі традиційного. Акцент на проєктному навчанні під керівництвом відданих викладачів надає студентам безцінні можливості застосовувати теоретичні знання, розвивати практичні навички та розвивати глибше розуміння обраних ними технічних дисциплін.

Організаційна структура успішного технічного наукового гуртка характеризується чітким керівництвом, активним залученням членів, прозорою комунікацією та автономією студентів у рамках нагляду викладачів. Цей баланс дає студентам можливість брати на себе відповідальність за своє навчання, водночас користуючись досвідом і керівництвом досвідчених дослідників. Крім того, інтеграція діяльності гуртка з ширшою академічною екосистемою, включаючи узгодження з навчальним планом, співпрацю з науковою діяльністю викладачів та залучення професіоналів галузі, підвищує актуальність і вплив ініціатив під керівництвом студентів.

Окрім набуття технічного досвіду, наукові гуртки відіграють вирішальну роль у розвитку основних навичок спілкування, таких як робота в команді, вирішення проблем, критичне мислення та управління проєктами. Можливості для студентів презентувати свою роботу, брати участь в обговореннях і співпрацювати над складними проєктами значно сприяють їх загальному професійному розвитку, готуючи їх до вимог майбутньої кар'єри в технічних сферах, що швидко розвиваються. Поширення результатів досліджень і визнання досягнень студентів також є важливими компонентами процвітаючого наукового гуртка. Заохочення студентів ділитися своїми роботами через презентації, публікації та участь у конкурсах не тільки покращує їхній академічний профіль, але й сприяє почуттю досягнення та мотивує до подальшої участі в дослідженнях та інноваціях.

Підсумовуючи, риси, які визначають ефективне функціонування наукового гуртка для студентів технічних спеціальностей, це: чітка та гнучка організаційна структура, сильний акцент на проєктному навчанні та дослідженнях, цілеспрямоване наставництво з боку викладачів, широкі можливості для розвитку навичок, механізми поширення результатів та визнання, а також інтеграція з ширшим академічним середовищем. Свідомо розвиваючи ці особливості, університети та викладачі можуть перетворити наукові гуртки на потужні каталізатори навчання студентів, інновацій та розвитку

майбутніх лідерів у науці. Визнання величезного потенціалу цих позааудиторних платформ і активна підтримка їх росту та розвитку є вирішальною інвестицією в майбутнє технічної освіти та розвиток суспільства в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Astin, A. W. (1993). What matters in college?: Four critical years revisited. Jossey-Bass Publishers.
2. Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (2000). How people learn: Brain, mind, experience, and school. National Academies Press.
3. Felder, R. M., & Brent, R. (2009). Engineering education: What research says and what it means for classroom practice. Journal of Engineering Education, 98(1), 1-14.
4. Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and the teaching of scientific inquiry: Conclusions from the Interdisciplinary Science Learning Project. Science Education, 91(2), 248-284.
5. KUH, George D., et al. *High-impact educational practices: What they are, who has access to them, and why they matter*. Washington, DC: Association of American Colleges and Universities, 2008.
6. LAVE, Jean; WENGER, Etienne. *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge university press, 1991.
7. NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, et al. *Building capacity for teaching engineering in K-12 education*. National Academies Press, 2020.
8. Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. Journal of Engineering Education, 93(3), 223-231. Shulman, L. S. (2005). Signature pedagogies in the professions. Daedalus, 134(3), 52-59.
9. Smith, K. A., Sheppard, S. D., Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2005). Pedagogies of engagement: Classroom-based practices. Journal of Engineering Education, 94(1), 87-101.

УДК [378.147:331.101.262]:[622]

ПРОФЕСІЙНІ КОМПЕТЕНТНОСТІ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ ОСНОВА ЯКІСНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Т.А.Олійник[1], Л.В.Скляр[2], Н.В.Кушнірук[3]
[1]д-р техн. наук, проф., завідувачка кафедрою, e-mail: taoliynik@knu.edu.ua
[2]канд. техн. наук, доцент, e-mail: lyuda.cuclina@knu.edu.ua
[3]канд. техн. наук, доцент, e-mail: kushniruk-natalia@knu.edu.ua
[1,2,3]кафедра збагачення корисних копалин і хімії, Криворізький національний університет

Анотація. У роботі розглядається роль професійних компетентностей науково-педагогічних працівників як основи якісної підготовки фахівців для гірничо-металургійного комплексу України. Зазначено, що ефективність освітнього процесу залежить від здатно-

сті викладача поєднувати глибокі теоретичні знання з практичними навичками та сучасними педагогічними методиками. Проаналізовано основні поняття «компетенція» і «компетентність», надано огляд нормативного забезпечення, зокрема професійного стандарту викладача закладу вищої освіти, та розглянуто механізми оцінювання й вимірювання рівня професійної компетентності викладачів кафедри «Збагачення корисних копалин і хімії» Криворізького національного університету. Запропоновано алгоритм комплексного оцінювання, що включає самооцінювання, тестування, анкетування студентів і рейтингове оцінювання. Результати дослідження підкреслюють важливість системного підходу до формування і вдосконалення компетентностей НПП як чинника забезпечення конкурентоспроможності випускників.

Ключові слова. професійні компетентності, науково-педагогічні працівники, гірничо-металургійний комплекс, професійний стандарт викладача, інженерна освіта

PROFESSIONAL COMPETENCIES OF ACADEMIC AND TEACHING STAFF AS THE FOUNDATION FOR HIGH-QUALITY TRAINING OF MINING AND METALLURGICAL INDUSTRY SPECIALISTS

Tetiana Oliinyk[1], Liudmila Sklyar[2], Nataliia Kushniruk[3]
[1]Prof., Doctor of Technical Sciences, Department Head, e-mail: taoliynik@knu.edu.ua
[2]Associate Professor PhD in Technical Sciences, e-mail: lyuda.cuclina@knu.edu.ua
[3]Associate Professor, PhD in Technical Sciences, e-mail: kushniruk-natalia@knu.edu.ua
[1,2,3]Department of Mineral Processing and Chemistry, Kryvyi Rih National University, Ukraine

Abstract. The paper examines the role of professional competencies of academic staff as the foundation for high-quality training of specialists for Ukraine's mining and metallurgical sector. It is emphasized that the effectiveness of the educational process depends on the ability of the instructor to combine deep theoretical knowledge with practical skills and modern teaching methodologies. The key concepts of "competence" and "competency" are analyzed, along with a review of the regulatory framework, in particular the professional standard for higher education instructors. The mechanisms for assessing and measuring the level of professional competency of faculty members at the Department of Mineral Processing and Chemistry of Kryvyi Rih National University are considered. A comprehensive evaluation algorithm is proposed, which includes self-assessment, testing, student surveys, and ranking evaluation. The findings highlight the importance of a systematic approach to the development and improvement of academic staff competencies as a factor in ensuring the competitiveness of graduates.

Keywords: *professional competencies, academic staff, mining and metallurgical sector, professional standard for instructors, engineering education*

Вступ. Гірничо-металургійний комплекс (ГМК) традиційно відіграє ключову роль в економіці України. Проте, сучасні виклики, такі як конкуренція, що зростає на світових ринках, необхідність підвищення енергоефективності та екологічної безпеки виробництва, а також стрімка цифровізація промисловості, вимагають впроваджувати нові підходи до підготовки фахівців

для цієї галузі. Застарілі методи навчання часто не встигають за темпами технологічного розвитку, що призводить до дефіциту фахівців, здатних ефективно працювати з сучасним обладнанням та технологіями. Невіддільною складовою цього процесу є професійні компетентності науково-педагогічних працівників (НПП), які здійснюють їх підготовку. У сучасних умовах, викладачі профільних дисциплін повинні володіти не лише глибокими теоретичними знаннями, але й актуальними практичними навичками, а також бути готовими до використання інноваційних педагогічних методів. Недостатній рівень професійних компетентностей викладачів може призвести до невідповідності підготовки випускників потребам сучасного ринку праці та гальмувати впровадження інновацій у галузі. Отже, дослідження змісту та структури професійних компетентностей НПП гірничо-металургійних спеціальностей є ключовим для забезпечення якісної підготовки інженерних кадрів [1,2].

Мета роботи. Метою даного дослідження є ґрунтовне вивчення змісту та структури професійних компетентностей науково-педагогічних працівників, які здійснюють підготовку фахівців для гірничо-металургійного комплексу України, з урахуванням сучасних викликів, інноваційних вимог освітнього середовища та потреб різного роду стейкхолдерів, особливо роботодавців. Особлива увага приділяється аналізу нормативних засад формування професійної компетентності (зокрема, професійному стандарту викладача закладу вищої освіти), а також розробці та впровадженню алгоритмів оцінювання і вимірювання рівня компетентностей викладачів кафедри «Збагачення корисних копалин і хімії» Криворізького національного університету. Досягнення поставленої мети дозволить обґрунтувати ефективні підходи до формування, розвитку та оцінювання професійної компетентності викладача як ключової умови якісної підготовки інженерних кадрів для ГМК.

Матеріал і результат досліджень. Застосування компетентнісного підходу у вищій освіті вимагає детального осмислення трактування термінів «компетенція» та «компетентність».

Основу теоретичного аналізу становлять дослідження Дж. Равена, Н. Хомського, С.Г. Молчанова, С.Г. Вершловського, А.Н. Лейбовіча, А.В. Бараннікова, В.А. Болотова, В.В. Серікова, В.І. Блінова, С.С. Кравцова, І.С. Сергєєва, А.Н. Блеєра, О.Е. Лєбєдєва, які розглядали компетентнісний підхід в освітній сфері. До питання структури й змісту понять «компетенція» та «компетентність» зверталися Н. Бібік, Н. Кузьміна, П. Борисов, О. Овчарук, С. Шишов, В. Краєвський, А. Хуторський та інші [3].

Поняття «компетентний» було вперше введено Н. Хомським для позначення здатності індивіда виконувати певну діяльність. Початково термін «компетенція» використовувався у лінгвістиці, однак згодом став широко

вживаним в освіті, особливо у визначенні рівнів мовної підготовки (Страсбург, 1996). Відповідно, під компетенцією розуміють набір умінь і навичок, а також знань сформованих у процесі навчання за різними рівнями, а компетентність – це інтегративна риса особистості, що демонструє її здатність ефективно діяти в складних професійних умовах.

Зважаючи на вищевикладене, актуальним є не лише уточнення термінології, а й визначення вимог до професійної діяльності викладачів ЗВО. У цьому сенсі орієнтиром виступає професійний стандарт викладача ЗВО (Наказ МОН України №1466 від 16.10.2024), який задає нормативні орієнтири щодо компетенцій, необхідних для якісної реалізації освітньої діяльності. Цей стандарт сприяє встановленню єдиних вимог до професійної підготовки, діяльності та розвитку НПП. Отже, саме професійний стандарт лежить в основі удосконалення механізмів формування професійної компетентності викладача як ключової умови підготовки конкурентоспроможних фахівців, зокрема і для гірничо-металургійної галузі [4].

Професійний стандарт викладача ЗВО визначає єдині критерії до діяльності НПП. У ньому чітко окреслено трудові функції, необхідні знання, уміння та компетенції, що забезпечують якісне проведення освітнього процесу. Це дає можливість уніфікувати вимоги до професії на загальнодержавному рівні та мінімізувати суб’єктивізм під час оцінювання роботи викладача. Завдяки цьому формується чітке бачення образу сучасного викладача ЗВО, що є підґрунтям для вдосконалення системи вищої освіти.

Одне з пріоритетних завдань стандарту – покращення якості освітнього процесу. Документ орієнтує викладача на потреби освітнього середовища і суспільства. Особливо акцентується увага на цифровій компетентності, дослідницькій діяльності та здатності до інновацій. Відповідно, це сприяє запровадженню сучасних підходів до навчання та новітніх педагогічних практик, що, своєю чергою, покращує результативність здобуття знань студентами.

Також професійний стандарт покликаний гармонізувати зміст вищої освіти з вимогами ринку праці. Він дозволяє адаптувати зміст навчальних програм відповідно до актуальних знань і практичних умінь. Для викладача це означає необхідність орієнтуватися в сучасних галузевих тенденціях і активно взаємодіяти з виробничим сектором. Це забезпечує тісний зв’язок між теоретичною підготовкою і практичними навичками, сприяючи конкурентоспроможності випускників. Професійний стандарт також є засобом професійного розвитку викладача. Завдяки чітко виписаним вимогам працівник має змогу оцінити власний рівень і вибудувати траєкторію професійного зростання. Це включає стажування, підвищення кваліфікації, участь у

конференціях та інші форми активності. Отже, стандарт спонукає до безперервного вдосконалення і сприяє формуванню інноваційної освітянської спільноти. Суттєвою функцією стандарту є створення об'єктивного підґрунтя для атестації та сертифікації НПП. Його положення можуть застосовуватися при конкурсному відборі, оцінці відповідності кадрів займаним посадам та запровадженні системи мотивації. Це гарантує прозорість і справедливість у кадровій політиці освітньої галузі. Окрім цього, підвищується престиж викладацької професії. У цілому, професійний стандарт виконує стратегічну роль у розвитку національної системи вищої освіти [4].

Для аналізу відповідності НПП кафедри ЗККіХ Криворізького національного університету було розроблено алгоритм оцінювання та вимірювання рівня компетентності викладача, поданий на рис. 1.

Рис. 1. - Алгоритм оцінювання та вимірювання компетентності викладача кафедри «Збагачення корисних копалин і хімії» КНУ

Професійні компетенції викладача визначаються посадовою інструкцією, яка структуровано описує функції, обов'язки, права та зону відповідальності щодо освітньої, виховної роботи й стимулювання студентів до навчання. Особливості викладацької діяльності ускладнюють формування абсолютно об'єктивних критеріїв ефективності. Проте для ефективного управління будь-якою діяльністю необхідно мати формалізовані кількісні показники [5].

Комплексне оцінювання професійної компетентності на кафедрі здійснюється через чотири методи:

– самооцінювання — результати подаються у вигляді щорічного звіту викладача;

– тестування;

– анкетування здобувачів;

– оцінювання діяльності НПП та кафедри вцілому.

Варто зазначити, що «оцінювання» є ширшим за поняття «вимірювання». Оцінювання може бути як якісним, так і кількісним. Власне вимірювання відбувається при кількісному оцінюванні. Чотири основні методи оцінювання включають:

– об'єктивне (методики, затверджені в КНУ);

– суб'єктивне (оцінювання експертами: зав.кафедри, декан, керівник НМВ);

– змішане (поєднання стандартизованих методик з оцінкою експерта);

– експертне (збір колективної думки щодо педагогічних якостей).

Розглянемо докладніше, як ці методи застосовуються. Самооцінювання здійснюється через щорічний звіт, де зазначаються показники участі у науково-методичній роботі кафедри, факультету, у навчальному процесі, профорієнтаційній роботі та інших заходах, що направлені на покращення якості підготовки фахівців у сфері гірництва. Під час тестування аналізуються здібності: діагностичні, прогностичні, проєктувальні, організаторські, комунікативні, оцінні, гностичні, емоційно-вольові. Наприклад, серед діагностичних важливими є аналітичні здібності, у прогностичних – передбачення (антиципація), в організаторських – альтруїзм і рефлексія, в оцінних – критичність мислення, у гностичних – глибина мислення, у вольових – витримка та енергійність. Наявність таких якостей слугує основою успішної професійної діяльності викладача.

Анкетування викладачів кафедри показало, що ключовими перешкодами у професійній діяльності є:

– невпевненість – 32%;

– грубість і нетактовність – 24%;

– слабка організація власної діяльності – 12%;

– безініціативність, м'якість, упереджене ставлення – 8%;

– незавершеність у роботі, не уміння захистити інтереси, самовпевненість – 6%;

– формалізм – 3%;

– некомпетентність – 3%.

Ці результати враховуються завідувачем кафедри в рейтинговому оцінюванні. Протягом року оцінюються такі компетентності: прогрес студентів, якість оцінювання, рівень навчально-методичних матеріалів. Оцінювання викладачів супроводжується співбесідою із завідувачем, де виявляються сильні й слабкі сторони, а також резерви для покращення. На основі оцінки формується рейтинг, що враховується при конкурсах на заміщення посад, преміюванні, відрядженнях і заохоченнях.

Висновки. У результаті дослідження окреслено підходи до оцінювання професійної компетентності викладача кафедри ЗККіХ, визначено критерії й інструменти її вимірювання відповідно до компетентнісного підходу у формуванні рейтингу кафедри й оцінюванні ефективності роботи НПП. Аналіз фахової літератури дав змогу конкретизувати поняття «професійна компетентність» як сукупність компетентностей, кожна з яких містить як теоретичну основу (уявлення про об'єкт діяльності), так і практичну готовність до дії.

Показано, що внутрішнє рейтингове оцінювання сприяє формуванню конкурентного середовища, яке мотивує до активності, стимулює ефективність і зменшує вплив некомпетентних учасників. Це сприяє узгодженню управлінських цілей на всіх рівнях ЗВО і зміцнює його конкурентні позиції.

Запроваджена система оцінювання викладачів передбачає не лише врахування участі у науковій діяльності, а й оцінку якості навчання, академічного прогресу студентів, роботи над методичними матеріалами, підвищення кваліфікації, організаційної роботи, профорієнтації та інших форм активності, що спрямовані на покращення якості освіти в КНУ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Керування ризиками в гірничодобувній діяльності : монографія / Г.Г. Півняк, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 288 с.

2. Грищенко С. М. Використання геоінформаційних технологій при підготовці гірничого інженера : монографія / С. М. Грищенко, В. С. Моркун, С. О. Семеріков. – Кривий Ріг : Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2015. – 279 с.

3. Професійно-педагогічна компетентність викладача вищого навчального закладу: навчальний посібник / за ред. І.Л. Холковської. – Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2017. – 144 с.

4. Професійний стандарт "Викладач закладу вищої освіти". Міністерство освіти і науки України. Затверджено наказом від [16 жовтня 2024] № [1466]. URL:

[https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-profesiinoho-standartu-vykladach-zakladu-vyshchoi-osvity1466] (дата звернення: 25.04.2025).

5. Марцева Л.А. Педагогіка і психологія вищої школи: навч. посіб. / Л.А. Марцева. – Електронні дані. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2022. – 150 с.

УДК 159.99:316.6-376:378

РОЗВИТОК ІНКЛЮЗИВНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УНІВЕРСИТЕТУ ЯК МЕХАНІЗМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗБАР'ЄРНОСТІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

О.М. Отич

доктор педагогічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу взаємодії вищої освіти та ринку праці Інституту вищої освіти НАПН України, Київ, Україна, e-mail: ndi-direktor@ukr.net

Анотація. Реалізація права особистості на якісну вищу освіту вимагає забезпечення її безбар'єрності й створення в університеті середовища, «дружнього» для студентів з особливими освітніми потребами. Це уможливлюється на основі розроблення механізмів упровадження інклюзивної освіти у ЗВО, одним з яких є розвиток інклюзивної інфраструктури університету.

Ключові слова: безбар'єрність, вища освіта, інклюзивна інфраструктура, механізми, студенти з особливими освітніми потребами.

DEVELOPMENT OF INCLUSIVE UNIVERSITY INFRASTRUCTURE AS A MECHANISM FOR ENSURING BARRIER-FREE HIGHER EDUCATION

O.M. Otych

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Department of Interaction of Higher Education and the Labor Market of the Institute of Higher Education of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: ndi-direktor@ukr.net

Abstract. Realization of an individual's right to quality higher education requires ensuring its accessibility and creating a "friendly" environment at the university for students with special educational needs. This is made possible on the basis of the development of mechanisms for the implementation of inclusive education in higher education institutions, including the development of the university's inclusive infrastructure.

Keywords: accessibility, higher education, inclusive infrastructure, mechanisms, students with special educational needs.

Вступ. Прагнення України інтегруватися в Європейський простір вищої освіти (ЄПВО) актуалізує необхідність імплементації українськими університетами європейських цінностей, зокрема, пов'язаних із соціальною справедливістю, пріоритетом прав людини, рівністю доступу до вищої освіти як важливим соціальним благом.

Одним зі стратегічних європейських документів, в якому закріплене це право, є European Pillar of Social Rights [6], де викладено вимоги до соціальної інклюзії осіб з особливими потребами (принцип 17 «People with disabilities»).

У контексті цих вимог набуває особливого значення створення інклюзивної інфраструктури вітчизняних університетів, адже саме від її рівня залежать можливості щодо розвитку у цих закладах безбар'єрного освітнього простору.

Ця проблема набуває надзвичайної актуальності у сучасній Україні, де внаслідок воєнних дій значно зросла кількість осіб з особливими освітніми потребами – вимушених переселенців, осіб з інвалідністю, сиріт, постраждалих від насильства, родин з низьким рівнем доходу тощо. Соціальна інклюзія таких осіб в умовах війни та у перспективі – під час післявоєнного відновлення – стає викликом як суспільству загалом, так і вітчизняній вищій освіті зокрема. З огляду на це, важливим завданням педагогіки вищої школи є розроблення механізмів формування інклюзивної інфраструктури університетів та використання її з метою забезпечення безбар'єрності вищої освіти.

Мета роботи полягає у визначенні механізмів формування інклюзивної інфраструктури у закладах вищої освіти з метою забезпечення безбар'єрності її здобуття.

Матеріали і результати дослідження. Згідно із визначенням, вміщеним у Тлумачному словнику української мови, *механізмом* називається внутрішній устрій, замкнена послідовність сполучних ланок, що запускає у дію цілий пристрій чи систему і задає алгоритм змін, які забезпечують самопідтримуваність діяльності та розвитку цього пристрою чи системи [3]. Схематично дію механізму можна зобразити у вигляді тріади: детермінація→ вплив→результат.

У контексті забезпечення безбар'єрності вищої освіти механізми доцільно розглядати як рушії цього процесу, що реалізуються як послідовні впливи на його перебіг та зумовлені цими впливами зміни у його результатах і динаміці. Такі механізми розробляються з урахуванням базових гуманістичних цінностей і європейських стандартів, призначені для забезпе-

чення сучасного рівня інклюзії у вищій освіті й передбачають послідовну реалізацію дій, спрямованих на забезпечення рівного доступу до вищої освіти осіб з особливими потребами.

Прагнення студентів з особливими потребами щодо досягнення безбар'єрного доступу до вищої освіти стимулює керівництво університету до визначення обсягів необхідного інклюзивного забезпечення освітнього процесу. Оскільки будь-яке забезпечення і супровід пов'язується передусім зі створенням відповідної інфраструктури, то основним механізмом забезпечення безбар'єрності вищої освіти є формування в університеті інклюзивної інфраструктури та створення безпечного освітнього середовища [5].

Розгляд формування та розвитку інклюзивної інфраструктури закладу вищої освіти як механізму забезпечення безбар'єрності його освітнього простору передбачає передусім визначення сутності цієї інфраструктури і виявлення її місця й значення у загальній інфраструктурі університету.

Інфраструктура, згідно з визначенням, вміщеним в Енциклопедії сучасної України, становить собою сукупність специфічних форм, методів і процесів, а також різноманітних споруд і комунікацій, що забезпечують загальні умови і нормальне функціонування економічної, соціальної, екологічної та інших галузей життєдіяльності суспільства, його відтворення та розвиток. Ці умови створюються системою техніко-технологічних, організаційних, соціальних, комунікаційних та інших взаємозв'язків усіх елементів інфраструктури [1]. Головною ознакою інфраструктури є її не самостійний, а підтримуючий, обслуговуючий характер.

Виходячи з цього визначення, *інфраструктуру університету* можна розглядати як сукупність навчальних, наукових і науково-виробничих підрозділів та господарських комплексів, що обслуговують основні види діяльності закладу, а також людей, які надають послуги для здійснення необхідних освітніх, наукових, виробничих, фінансово-економічних, організаційних, комунікаційних, обслуговуючих та інших зв'язків між усіма елементами інфраструктури.

Відповідно до основних видів діяльності університету доцільно, на нашу думку, визначити такі складники його інфраструктури, як: науково-освітня інфраструктура, дослідницька інфраструктура, інноваційна інфраструктура (у тому числі цифрова, е-інфраструктура), соціальна інфраструктура, інклюзивна інфраструктура. Причому останню варто, з нашого погляду, розглядати не лише як окремий складник інфраструктури університету, але і як рівень забезпечення відповідності її загалом вимогам інклюзивності та безбар'єрності.

Отже, інклюзивна інфраструктура університету – це інфраструктура, призначена для досягнення здобувачами вищої освіти позитивних соціальних та освітніх результатів й розширення їхніх можливостей повноцінно брати участь в освітній і позанавчальній діяльності та житті університету, максимально реалізуючи свій особистісний і професійний потенціали.

Елементами інклюзивної інфраструктури університету є:

- пандуси (зовнішній та внутрішній), поручні;
- ліфти, підйомники, підйомні маршові платформи;
- спеціально обладнані туалетні кімнати для осіб з інвалідністю;
- ресурсна кімната;
- вхідні двері відповідної ширини для осіб з інвалідністю (маломобільних груп);
- попереджувальні та інформаційні тактильні елементи біля входу в будівлю;
- знаки, піктограми, що надають інформацію особам з особливими освітніми потребами (ООП);
- контрастні рельєфні лінії в пішохідних зонах/рельєфне покриття в зонах підвищеної небезпеки;
- контрастні обмежувальні смуги на сходах;
- звукові сигналізатори, сигнальні лампочки (маячки);
- місця паркування транспортних засобів для осіб з інвалідністю;
- інші пристосування.

Соціальне значення інклюзивної інфраструктури університетів варто, на нашу думку, розглядати у двох площинах: інституційній та загальнодержавній.

На інституційному рівні значення інклюзивної інфраструктури полягає у тому, що вона є основою створення у цих закладах інклюзивного освітнього простору та забезпечення безбар'єрності здобуття вищої освіти за усіма її видами, визначеними у Національній стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року:

- *фізичною* – фізичний доступ, спеціально обладнані місця для осіб з особливими освітніми потребами і маломобільних груп населення;
- *інформаційною* – наявність інформації та матеріалів щодо умов доступності закладу вищої освіти для навчання осіб з особливими освітніми потребами;
- *цифровою* – адаптація цифрових сервісів до вимог осіб з особливими освітніми потребами, поширення дистанційної форми здобуття вищої освіти;

• *суспільною та громадянською* – створення «дружнього до студента» середовища ЗВО, що уможливлює рівну участь осіб з особливими освітніми потребами в усіх формах суспільного життя та громадської активності;

• *освітньою* – забезпечення рівних можливостей та вільного доступу до освіти упродовж життя, здобуття іншої професії, підвищення кваліфікації та опанування додаткових компетентностей;

• *економічною* – надання рівних можливостей та створення умов для працевлаштування й безперешкодного ведення підприємницької діяльності для абсолютно всіх суспільних груп [4].

На загальнодержавному рівні соціальне значення інклюзивної інфраструктури університетів виявляється в її здатності сприяти соціальній та демографічній інтеграції українського суспільства та наближенню його до європейських освітніх і соціальних стандартів.

У державних нормативно-правових документах інклюзивна інфраструктура закладів освіти розглядається як чинник:

- забезпечення рівних, належних і безпечних умов здобуття освіти та організації безпечного освітнього середовища (Концепція безпеки закладів освіти) [2];
- створення безперешкодного середовища для всіх груп населення, забезпечення рівних можливостей кожній людині реалізовувати свої права, отримувати послуги нарівні з іншими шляхом інтегрування фізичної, інформаційної, цифрової, соціальної та громадянської, економічної та освітньої безбар'єрності до всіх сфер державної політики (*Національна стратегія із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року*) [4].

В останньому документі освітня безбар'єрність визначена як один з шести основних напрямів державної політики для забезпечення безперешкодного доступу всіх груп населення до різних сфер життєдіяльності [4].

Безбар'єрність освіти передбачає створення рівних можливостей та забезпечення вільного доступу до освіти упродовж життя, здобуття іншої професії, підвищення кваліфікації та опанування додаткових компетентностей.

Для задоволення освітніх потреб усіх учасників освітнього процесу (в тому числі осіб з особливими освітніми потребами) у Стратегії запропоновано систему заходів, спрямованих на створення інклюзивного освітнього середовища, які повною мірою можуть бути застосовані й у системі вищої освіти, а саме:

- забезпечення закладів освіти умовами та інструментами для адаптації всіх інформаційних матеріалів для осіб з порушеннями зору та слуху;

- запровадження механізму субсидування витрат на забезпечення фізичної, інформаційної та цифрової доступності в освітніх середовищах;
- розвиток та популяризація застосування навчальних матеріалів із використанням спеціальної техніки;
- удосконалення механізмів забезпечення засобами із застосуванням асистивних технологій під час складання вступних та поточних іспитів усіх учасників освітнього процесу;
- популяризація дистанційної форми здобуття освіти та технології дистанційного навчання з урахуванням усіх освітніх особливостей учасників освітнього процесу;
- розроблення інтерактивних довідників щодо освітнього ландшафту закладів вищої освіти;
- створення бібліотечного фонду спеціальної літератури, адаптованої для осіб з порушеннями зору, слуху, ментальними порушеннями;
- забезпечення доступності всієї інфраструктури освітніх середовищ (гуртожитки, центри дозвілля, бібліотеки, архіви, актові зали тощо);
- запровадження та поширення практики забезпечення доступності заходів у позанавчальний час для всіх учасників освітнього процесу;
- створення відповідних умов і привітної атмосфери для взаємодії учасників освітнього процесу й збільшення залученості батьків та опікунів шляхом проведення спільних заходів, тренінгів, семінарів;
- розроблення та включення критеріїв інклюзивності та залучення в сертифікацію провайдерів освітніх послуг;
- забезпечення індивідуалізації освітнього процесу для осіб з особливими освітніми потребами, зокрема шляхом надання їм додаткових послуг [4];
- створення безпечної інфраструктури закладів освіти шляхом:

✓ облаштування існуючих та будівництва нових захисних споруд цивільного захисту закладів освіти із застосуванням проектів повторного використання або за індивідуальними проектними рішеннями з урахуванням вимог доступності для маломобільних груп населення, зокрема осіб з інвалідністю;

✓ облаштування необхідних огорож та здійснення інших інфраструктурних заходів щодо організації безпеки закладів освіти [2].

Реалізація усіх цих заходів сприятиме створенню в університетах інклюзивної інфраструктури, яка уможливить безбар'єрний доступ до вищої освіти здобувачів різних соціальних категорій і створить рівні умови для її

здобуття. А це стане реальним кроком щодо імплементації принципів European Pillar of Social Rights в національну систему вищої освіти та подальшої інтеграції її до ЄПВО на засадах зростання її соціальної спрямованості.

Висновки. Отже, інклюзивна інфраструктура університету є важливою складовою його загальної інфраструктури, яка забезпечує рівність доступу громадян різних соціальних категорій до вищої освіти та її реальну безбар'єрність.

Перспективи розвитку цієї інфраструктури в українських університетах вбачаємо в:

- утворенні системи центрів підтримки студентів/молодіжних центрів на базі закладів вищої освіти, які здійснюватимуть соціальний супровід та психологічну підтримку, консультування й методичний супровід щодо доступності, відповідності та прийнятності освітніх програм для осіб із спеціальними освітніми потребами;
- запровадженні для студентів з особливими освітніми потребами послуг з додаткового навчання і розвитку фінансової та цифрової грамотності, сексуальної та громадянської освіти, техніки орієнтування на місцевості тощо;
- стимулюванні організації та проведенні просвітницьких лекцій для студентів про цінність безбар'єрності і соціального залучення всіх у громаді;
- розробленні критеріїв та запровадженні моніторингу доступності й комфортності інфраструктури закладів вищої освіти, задоволеності учасників освітнього процесу цими послугами;
- створенні та затвердженні стандарту проєктування освітнього середовища для осіб з особливими освітніми потребами.

В умовах війни та повоєнного відновлення головними механізмами формування і розвитку інклюзивної інфраструктури українських університетів має стати встановлення взаємозв'язків між університетською спільнотою та зацікавленими сторонами й започаткування ними спільних проєктів зі створення об'єктів інклюзивної інфраструктури з метою забезпечення рівного доступу до здобуття вищої освіти осіб з особливими освітніми потребами.

З огляду на це перспективи подальших наукових пошуків пов'язуються нами з вивченням європейського досвіду розвитку інклюзивної інфраструктури у закладах вищої освіти та здійсненням його порівняльного аналізу з вітчизняним досвідом формуванням цієї інфраструктури в українських університетах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інфраструктура / О. В. Савченко, В. Й. Ольшевський , І. В. Барановська, О. Н. Тетіор, І. Р. Ковалів, О. Г. Стегній, В. І. Куценко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2011. – Режим доступу : https://esu.com.ua/article-12489

2. *Концепція безпеки закладів освіти*. Розпорядження КМУ від Квітня 7 2023, № 301-р. (2023). Відновлено з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/301-2023-%D1%80#Text

3. Механізм – тлумачення, орфографія, новий правопис. *Тлумачний словник української мови.* URL: https://slovnyk.ua/index.php?swrd=%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%BC

4. Національна стратегія із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року. Розпорядження КМУ від Квітня 14 2021, № 366-р. (2021). Відновлено з URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#Text

5. Отич, О., Оржель, О. Інклюзивна інфраструктура університету як чинник безбар'єрності вищої освіти. *NewInception*, 2024. – Вип. 1-2 (15-16). С. 36–47. https://doi.org/10.58407/NI.24.1-2.3 [Електронний ресурс]. URL: https://newinception.com.ua/index.php/newinception/article/view/135

6. The European Pillar of Social Rights in 20 principles. European Commission. An official website of the European Union. Retrieved from URL: https://ec.europa.eu/social/main.jsp?catId=1606&langId=en

Authors Index

(Last Name / First Name / Middle Name / Page)

Andriushchenko Kyrylo, 32
Anpilohova Elisabeth, 184

Bahuzh Boris, 140
Balaka Maksym, 21, 219
Bohdanov Oleksandr, 13

Cheberyachko Serhiy, 88
Chobotko Ihor, 115

Derbaba Vitalii, 13, 38
Deryugin Oleg, 88
Dovhal Denys, 157

Fedirko Viktoriia, 82
Fedoskin V.O., 59
Fedoskina O.V., 59

Gonchar R.O., 120
Gumen Olena, 152
Gushchin K.S., 38

Harkavenko Dmytro, 140
Harkusha Mykola, 145
Hlushkov O.V., 191
Hrymalo Bohdan, 88
Huzenko Dmytro, 44

Kerekelytsia Nikita, 21
Khodus Mark, 106
Kholodnyak Yurii, 177
Khorolskyi Andrii, 99, 211
Kletskov Oleksandr, 202
Klochko Artur, 162
Korniienko Mariia, 53, 140
Kornilenko Kostiantyn, 69, 77
Kosolapov A.A., 191
Kostikov Alexander, 177
Kovalov Alexandr, 27
Kriukovska Olga, 196
Krivda Vitalii, 69, 77
Kushniruk Nataliia, 259

Lytvynchuk Oleksandra, 219

Malehina A.S., 131
Medvedskyi Kostiantyn, 21
Merikova A.O., 69

Nosykov Oleksandr, 246
Nuzhna Svitlana, 227

Oliinyk Tetiana, 259
Olishevska Valentyna, 77
Onopriienko Oleg, 202
Otych O.M., 266

Palianychka Nadiia, 27
Patsera Serhii, 32
Pivovarov Alexander, 125
Pochuzhevskyi Oleh, 82
Pochuzhevskyi Vitalii, 82
Pustovoi Dmytro, 172

Rott Nataliia, 44
Ruban Vladyslav, 13, 38
Rudenko N.V., 236

Sakhonko Maria, 184
Sazanishvili Zoia, 53
Shevchuk Viktoriia, 219
Sklyar Liudmila, 259
Sytnyk Oleh, 246

Tykholaz Nadiia, 152

Vakulenko A.V., 253
Verner Ilya, 184
Voichyshen Oleksandr, 32
Volkova N.D., 236
Vterkovskyi Mykhailo, 152

Yelisieieva Maryna, 106
Yerisov M.M., 59

Zagurska S.M., 63
Zagursky O.M., 63

Організатори конференції

	Міністерство освіти і науки України 01135, м. Київ, проспект Перемоги, 10 http://www.mon.gov.ua/
	Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» 49600, Україна, м Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19 http://www.nmu.org.ua/
	ВАТ «Інфотех», Autodesk Silver Partner *49000, Україна, м Дніпро, вул. Князя Володимира Великого, 18 б.* http://www.itech.net.ua/
	Alexander Dubcek University in Trencin 91150, Словацька Республіка, Тренчин, вул. Студентів,2 https://tnuni.sk/
	Актюбинський регіональний державний Університет ім. К. Жубанова 030000, Казахстан, м Актобе, пр. А. Молдагуловой, 34 http://arsu.kz/
	Велорській технологічний інститут VIT University, Vellore – 632014, Tamil Nadu, India http://vit.ac.in/
	Громадська організація Освітній центр «Відкрите знання» 49033, Україна, м Дніпро, Гладкова 6, 175 *http://openknowledge.16mb.com/*
	Механіко-машинобудівний факультет Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» http://mmf.nmu.org.ua/
	Лабораторія інформаційних технологій проектування кафедри конструювання, технічної естетики та дизайну http://okmm.nmu.org.ua/
	Міжнародні наукові інтернет-конференції (Організація та підтримка) http://sci-forum.net.ua/

DNIPRO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 1899

CELEBRATING 126 YEARS ANNIVERSARY

NMU ORG UA