

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ВИННИЧЕНКА**

НАУКОВІ ЗАПИСКИ

Серія:

**Проблеми природничо-математичної,
технологічної та професійної освіти**

Випуск 1(7)



Видавничий дім
«Гельветика»
2026

Наукові записки. Серія: Проблеми природничо-математичної, технологічної та професійної освіти.
Випуск 1(7). Кропивницький: Видавничий дім «Гельветика», 2026. 116 с.

РЕДКОЛЕГІЯ:

Сальник Ірина Володимирівна – доктор педагогічних наук, професор, завідувачка кафедри природничих наук і методик їхнього навчання, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, *головний редактор*

Ботузова Юлія Володимирівна – доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри математики та цифрових технологій, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, *заступник головного редактора*

Галета Ярослав Володимирович – доктор педагогічних наук, професор, декан факультету педагогіки, психології та мистецтв, доцент кафедри педагогіки та менеджменту освіти, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка

Кузьменко Ольга Степанівна – доктор педагогічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, Донецький державний університет внутрішніх справ, Національний центр «Мала академія наук України»

Подопригора Наталія Володимирівна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри безпілотних технологій та штучного інтелекту в авіаційних системах, Українська державна льотна академія

Ткачук Андрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики, програмування, штучного інтелекту та технологічної освіти, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка

Трифоновна Олена Михайлівна – доктор педагогічних наук, професор, завідувачка кафедри математики та цифрових технологій, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка

Фурсикова Тетяна Володимирівна – доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та безпечного освітнього середовища, Комунальний заклад «Кіровоградський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти імені Василя Сухомлинського»

Чистякова Людмила Олександрівна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри інформатики, програмування, штучного інтелекту та технологічної освіти, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка

Давидовіч Ніца – доктор наук, професор, завідувач кафедри освіти, завідувач відділу оцінювання якості освіти та академічного навчання, керівник програми підготовки викладачів, Аріельський університет, Ізраїль

Оссовскі Тадеуш – професор, доктор габілітований з хімії, інженер, Гданський університет, Польща

Зажечанська Дорота – доктор філософії, науково-педагогічний працівник, викладач, Гданський університет, Польща

Ухвалено до друку Вченою радою Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка (протокол № 11 від 30 березня 2026 року).

Видання «Наукові записки. Серія: Проблеми природничо-математичної, технологічної та професійної освіти» зареєстровано друкованим медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1396 від 25.04.2024 року (Ідентифікатор медіа R 30-03959).

Суб'єкт у сфері друкованих медіа: Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка (вул. Шевченка, буд. 1, м. Кропивницький, 25006, mails@cuspu.edu.ua, тел. (0522) 32-17-18)

Фахова реєстрація (категорія «Б»): Наказ МОН України № 1543 від 20 грудня 2023 року (додаток 4).
Галузь знань: А Освіта. Спеціальності: А4 Середня освіта (за предметними спеціальностями), А5 Професійна освіта (за спеціалізаціями).

Мови видання: українська, англійська, німецька, французька, італійська, польська, литовська.

Періодичність: 2 рази на рік.

Офіційний сайт видання: journals.cusu.in.ua/index.php/pmtp

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl

ISSN 2786-8702 (Online)

ISSN 2786-8699 (Print)

© Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, 2026
© Оформлення «Видавничий дім «Гельветика», 2026

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1>

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
VOLODYMYR VYNNYCHENKO CENTRAL UKRAINIAN
STATE UNIVERSITY**

RESEARCH BULLETIN

Series:

**Issues of natural sciences, mathematics,
technology and vocational education**

Issue 1(7)



Publishing house
"Helvetica"
2026

Research Bulletin. Series: Issues of natural sciences, mathematics, technology and vocational education.
Issue 1(7). Kropyvnytskyi: Publishing House "Helvetica", 2026. 116 p.

EDITORIAL BOARD:

Salnyk Iryna – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Natural Sciences and Methods of Their Teaching, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, *Editor-in-Chief*

Botuzova Yuliia – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Mathematics and Digital Technologies, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, *Deputy Editor-in-Chief*

Haleta Yaroslav – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Pedagogy, Psychology and Arts, Associate Professor of the Department of Pedagogy and Management of Education, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University

Kuzmenko Olha – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Leading researcher of the Department of Information and Didactic Modeling, Donetsk State University of Internal Affairs, National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine"

Podoprygora Nataliia – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor at the Department of Unmanned Technologies and Artificial Intelligence in Aviation Systems, Ukrainian State Flight Academy

Tkachuk Andriy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Science, Programming, Artificial Intelligence and Technological Education, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University

Tryfonova Olena – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Mathematics and Digital Technologies, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University

Fursykova Tetiana – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information and Communication Technologies and Safe Educational Environment, Municipal Institution "Kirovohrad Regional In-Service Teacher Training Institute named after Vasyl Sukhomlynsky"

Chystiakova Liudmyla – Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Computer Science, Programming, Artificial Intelligence and Technological Education, Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University

Nitza Davidovitch – Professor, Head of Education Department, Head of Quality Assessment and Academic Instruction, Ariel University; Head of the Israeli Forum of Centers for the Promotion of Teaching in Israel, Israel

Tadeusz Ossowski – Prof. dr hab. inż., Faculty of Chemistry, University of Gdańsk, Poland

Dorota Zarzeczanska – doctorate, research and teaching employee, University of Gdańsk, Poland

Recommended for printing by the Academic Council of the Volodymyr Vynnychenko Central
Ukrainian State University (Minutes № 11 dated March 30, 2026).

Research Bulletin. Series: Issues of natural sciences, mathematics, technology and vocational education
is registered as Print media entity: Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine:
Decision No. 1396 as of 25.04.2024 (Media ID: R 30-03959).

Media entity: Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University (1 st. Shevchenka, Kropyvnytskyi, 25006,
mails@cuspu.edu.ua, tel. (0522) 32-17-18)

Professional registration (category «B»): Decree of MES No. 1543 (Annex 4) dated December 20, 2023.

Subject area: A Education. Specialty: A4 – Secondary education (with subject specializations);

A5 – Vocational education (with specialization).

Languages: Ukrainian, English, German, French, Italian, Polish, and Lithuanian.

Periodicity: 2 times a year.

Official web-site: journals.cusu.in.ua/index.php/pmtp

Articles are checked for plagiarism using the software StrikePlagiarism.com developed
by the Polish company Plagiat.pl

ISSN 2786-8702 (Online)

ISSN 2786-8699 (Print)

© Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, 2026
© Design "Publishing House "Helvetica", 2026

ЗМІСТ

БАРАНИЮК О. Ф., СОМЕНКО Д. В. ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ СИМУЛЯТОРІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....	7
ГЕРАСИМОВА К. В. ЗМІШАНЕ НАВЧАННЯ І ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ В ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ.....	18
GOLUB T. P., KOVALENKO O. O. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGLISH LANGUAGE TEACHING AT TECHNICAL UNIVERSITIES: INTERNATIONAL PERSPECTIVE... 	24
ДОНЕЦЬ Н. В. STEM-КЛАСТЕР ЯК ФОРМА ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА У ПРОФІЛЬНОМУ НАВЧАННІ ФІЗИКИ АКАДЕМІЧНОГО РІВНЯ.....	33
ІВАНИЦЬКИЙ О. І., КОЗИЧ І. В. ФОРМУВАННЯ М'ЯКИХ НАВИЧОК (SOFT SKILLS) У МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ А4 «СЕРЕДНЯ ОСВІТА» В ПРОЦЕСІ БАКАЛАВРСЬКОЇ ПІДГОТОВКИ.....	40
КЛЄОПА І. А., ТЮТЮННИК О. І., КОВАЛЬЧУК М. Б. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОЦІНОК ІМОВІРНОСТЕЙ КОЛІЗІЙ У ХЕШ-ФУНКЦІЯХ ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ІТ-ФАХІВЦІВ.....	48
КОЗИРОД О. Г., ШОВКОВА-АЛЬОХІНА А. О. КРЕАТИВНИЙ РОЗВИТОК ОСОБИСТОСТІ СТУДЕНТА В УМОВАХ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН ДИЗАЙНЕРСЬКОГО СПРЯМУВАННЯ.....	56
МАКЛАКОВ К. О. ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ТЕХНОЛОГІЙ ДО ДІЯЛЬНОСТІ В МІЖШКІЛЬНИХ РЕСУРСНИХ ЦЕНТРАХ.....	65
МИРОНЕНКО О. В., ПАРАЩУК С. Д., ІЗВАЛОВ О. В. ІНТЕГРАЦІЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН У ПРАКТИЧНУ ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК: МЕТОДОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ.....	72
САДОВИЙ М. І., ТРИФОНОВА О. М., КОЛЕСНИК Ю. М., ПОБІЯХА С. О. ІНТЕГРАЦІЯ ФІЗИЧНИХ ОСНОВ РОБОТОТЕХНІКИ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ І ДОСЛІДНИЦЬКОЇ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ.....	82
ТКАЧУК А. І. ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТА ОБРОБКИ НОВІТНІХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНТЕКСТІ ПЕРЕХОДУ ДО INDUSTRY 5.0.....	91
ТОМАЩУК О. П., САМУСЕНКО П. Ф., ПІДГОРНА Т. В., ЛЕЩИНСЬКИЙ О. Л. ФОРМУВАННЯ ПОНЯТТЯ ГРАНИЦІ ФУНКЦІЇ У СТУДЕНТІВ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ.....	103

CONTENTS

BARANIUK O., SOMENKO D. USAGE OF SOFTWARE SIMULATORS FOR MODELING COMPONENTS OF ROBOTIC SYSTEMS AND THE INTERNET OF THINGS.....	7
HERASYMOVA K. BLENDED LEARNING AND TEACHING OF PHYSICS AT A TECHNICAL UNIVERSITY.....	18
GOLUB T., KOVALENKO O. ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGLISH LANGUAGE TEACHING AT TECHNICAL UNIVERSITIES: INTERNATIONAL PERSPECTIVE...	24
DONETS N. STEM CLUSTER AS A FORM OF EDUCATIONAL ENVIRONMENT ORGANIZATION IN ACADEMIC LEVEL PHYSICS PROFILE EDUCATION.....	33
IVANYTSKYI O., KOZYCH I. FORMATION OF SOFT SKILLS IN FUTURE TEACHERS OF SPECIALTY A4 SECONDARY EDUCATION IN THE PROCESS OF BACHELOR'S TRAINING.....	40
KLIEOPA I., TIUTYUNNIK O., KOVALCHUK M. USING INTEGRAL ESTIMATES OF COLLISION PROBABILITY IN HASH FUNCTIONS DURING THE TRAINING OF FUTURE IT SPECIALISTS.....	48
KOZYROD O., SHOVKOVA-ALOKHINA A. CREATIVE DEVELOPMENT OF THE STUDENT'S PERSONALITY IN THE CONDITIONS OF STUDYING DESIGN DISCIPLINES.....	56
MAKLAKOV K. PEDAGOGICAL CONDITIONS FOR PREPARING FUTURE TECHNOLOGY TEACHERS FOR PROFESSIONAL ACTIVITY IN INTERSCHOOL RESOURCE CENTERS.....	65
MYRONENKO O., PARASHCHUK S., IZVALOV O. INTEGRATION OF FUNDAMENTAL MATHEMATICAL DISCIPLINES INTO THE PRACTICAL TRAINING OF COMPUTER SCIENCE SPECIALISTS: METHODOLOGICAL ASPECT.....	72
SADOVYI M., TRYFONOVA O., KOLESNYK YU., POBIAKHA S. INTEGRATION OF THE PHYSICAL FOUNDATIONS OF ROBOTICS AND DIGITAL TECHNOLOGIES AS A MEANS OF DEVELOPING LEARNERS' DIGITAL AND RESEARCH COMPETENCIES.....	82
TKACHUK A. FEATURES OF STUDYING MODERN TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION AND PROCESSING OF NEWEST CONSTRUCTION MATERIALS IN THE CONTEXT OF THE TRANSITION TO INDUSTRY 5.0.....	91
TOMASHCHUK O., SAMUSENKO P., PIDGORNA T., LESHCHYNSKYI O. FORMATION OF THE CONCEPT OF THE LIMIT OF A FUNCTION AMONG STUDENTS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS.....	103

УДК 519.876.5

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-1>

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ СИМУЛЯТОРІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Баранюк Олександр Філімонович,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри інформаційних та цифрових технологій

Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0003-1151-0092

Соменко Дмитро Вікторович,

кандидат педагогічних наук, доцент,

старший викладач кафедри інформаційних та цифрових технологій

Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0001-6426-1507

Scopus-Author ID: 57212457995

У статті розглядається актуальна проблема підготовки кваліфікованих фахівців у галузях робототехніки та інтернету речей (IoT). Пропонується використання віртуальних лабораторій як ефективного відповіді на сучасні виклики освітнього процесу: високу вартість фізичного обладнання, обмеження доступу до лабораторій, дистанційне навчання. Використання програмних симуляторів дає можливість створити безпечне, інтерактивне й ефективне середовище для формування практичних навичок майбутніх фахівців.

У роботі здійснено аналіз можливостей симуляторів Tinkercad, Wokwi, UnoArduSim, SimulIDE та обґрунтування доцільності їх інтеграції в освітній процес. Відзначається, що вибір конкретного засобу залежить від навчальних завдань. Tinkercad рекомендовано для початківців завдяки простоті та блокуванню програмуванню. Wokwi визначено як кращий засіб для розробки IoT-проектів через підтримку емуляції Wi-Fi-з'єднання. На особливу увагу заслуговує симулятор SimulIDE, який вирізняється зручним редактором схем, великою бібліотекою компонентів, підтримкою широкого спектра мікроконтролерів, можливістю моделювання аналогових і цифрових схем у реальному часі. Симулятор надає потужні вимірювальні інструменти, редактор коду та налагоджувач для покрокового виконання коду.

Практична частина статті містить приклади моделювання датчиків температури, схем керування двигунами та мережевих вузлів, що підтверджує ефективність симуляторів як засобу віртуального прототипування. Автори доходять висновку, що використання симуляторів не лише компенсує відсутність фізичного обладнання, а й стає потужним методичним інструментом, що покращує результати навчання та розвиває навички вирішення проблем у межах STEM-освіти.

Ключові слова: освітня робототехніка, STEM-освіта, віртуальна лабораторія, Інтернет речей (IoT), симулятор, Arduino, SimulIDE.

Baraniuk Oleksandr, Somenko Dmytro. Usage of Software Simulators for Modeling Components of Robotic Systems and the Internet of Things

The article considers the problem of training qualified specialists in the fields of robotics and the Internet of Things (IoT). The use of virtual laboratories is proposed as an effective response to modern challenges of the educational process: the high cost of physical equipment, limited access to laboratories, distance learning. The use of software simulators allows to create a safe, interactive and effective environment for the formation of practical skills of future specialists.

The paper analyzes the capabilities of the Tinkercad, Wokwi, UnoArduSim, SimulIDE simulators and justifies the feasibility of their integration into the educational process. It is noted that the choice of a specific tool depends on the educational tasks. Tinkercad is recommended for beginners due to its simplicity and block programming. Wokwi is identified as the best tool for developing IoT projects due to its support for emulating Wi-Fi connections. The SimulIDE simulator deserves special attention, which is distinguished by a convenient circuit editor, a large library of components, support for a wide range of microcontrollers, and the ability to simulate analog and digital circuits in real time. The simulator provides powerful measurement tools, a code editor, and a debugger for step-by-step code execution.

The practical part of the article contains examples of modeling temperature sensors, motor control circuits, and network nodes, which confirms the effectiveness of simulators as a means of virtual prototyping. The authors conclude that the use of simulators not only compensates for the lack of physical equipment, but also becomes a powerful methodological tool that improves learning outcomes and develops problem-solving skills within STEM education.

Key words: educational robotics, STEM education, virtual laboratory, Internet of Things (IoT), simulator, Arduino, SimulIDE.

Вступ. Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій докорінно трансформує сучасний інженерний ландшафт. Робототехнічні системи та технології інтернету речей (IoT) стають невід'ємною частиною промисловості, аграрного сектору, розумної інфраструктури міст та побуту. У таких умовах зростає попит на висококваліфікованих фахівців, здатних проєктувати, налаштовувати й обслуговувати складні апаратно-програмні комплекси. Це, зі свого боку, висуває нові вимоги до закладів вищої освіти, які мають забезпечити фундаментальну практичну підготовку майбутніх інженерів.

Традиційно вивчення схемотехніки, мікропроцесорних систем і робототехніки базувалося на роботі з фізичним лабораторним обладнанням. Проте сучасні реалії освітнього процесу диктують нові умови. По-перше, вартість сучасної елементної бази та вимірювальних приладів є досить високою, що ускладнює забезпечення лабораторій потрібним обладнанням. По-друге, в умовах сьогодення критичним є вимушений перехід на змішану та дистанційну форми навчання через пандемію чи безпекову ситуацію.

Відсутність фізичного доступу студентів до лабораторних стендів створює розрив між теоретичними знаннями та практичними навичками. У зв'язку із цим постає потреба у використанні віртуальних лабораторій – програмних рішень, які емулюватимуть роботу контролерів, сенсорів та виконавчих механізмів. Актуальним стає питання вибору та методичного обґрунтування конкретних середовищ моделювання, здатних повноцінно відтворити архітектуру досліджуваної системи у віртуальному просторі.

Мета роботи полягає в аналізі функціональних можливостей програмних симуляторів для моделювання компонентів робототехнічних систем та інтернету речей та обґрунтуванні доцільності їх інтеграції в освітній процес для забезпечення якості практичної підготовки в умовах дистанційного навчання.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання застосування інформаційно-комунікаційних та STEM-технологій у навчальному процесі та формування компетентностей майбутніх фахівців постійно цікавлять вітчизняних і зарубіжних дослідників. Зокрема, цими питаннями займалися такі вчені, як М. І. Жалдак, Н. В. Морзе, М. А. Бойко, Ю. О. Жук, Д. Міщук, В. Кучерук, І. В. Сальник, Дж. П. Агравал, М. Ітон, Х.-А. Марін-Марін та багато інших [3; 6].

Дослідники відзначають, що одним із напрямів і засобів сучасної STEM-освіти стає робототехніка [6]. Відповідно формується і впроваджується в освітній процес новий напрям – «освітня робототехніка», який інтегрує знання зі STEM-предметів і відповідає ідеям випереджального навчання. Вивчення робототехніки покращує навчальну мотивацію, розвиває навички вирішення проблем, підвищує інтерес до проведення досліджень, сприяє розвитку творчого мислення [6]. Серед сучасних цифрових інструментів вчителі проявляють підвищений інтерес до віртуальних лабораторій та програмних засобів моделювання для проведення навчального експерименту як важливої складової освітнього процесу [3].

Ряд дослідників зосереджені на проблемах моделювання елементів робототехнічних систем і використання симуляторів у навчальному процесі [1; 2; 5; 7; 9; 10; 13–15]. Віртуальні лабораторії (симулятори) використовують програмні моделі лабораторного обладнання і дають можливість здобувачам освіти виконувати лабораторні дослідження у віртуальному середовищі.

Науковці [10] відзначають, що використання симульованого Arduino відкриває нові можливості, які можуть значно покращити результати навчання: можливість дистанційного навчання; підтримка продовжуваних проєктів; кращі засоби покрокового виконання й налагодження. Використання симуляторів не має жодного негативного впливу на студентів, натомість покращуються показники фізичного навантаження та часу, необхідного для вирішення вправ. Як переваги віртуальних симуляторів відзначають доступність, вартість, безпечність, наочність, інтерактивність, індивідуалізацію процесу навчання, підвищення пізнавальної активності [7].

Ряд науковців приділяють увагу аналізу функціональних особливостей симуляторів. Так, автори досліджень [5; 14] проводять порівняльний аналіз Arduino-симуляторів Wokwi та Tinkercad. Зокрема, Tinkercad рекомендується для початківців, бо має простий інтерфейс, блокове та текстове програмування, хоча й обмежене у виборі компонентів та бібліотек. Симулятор Wokwi підтримує ширший спектр плат (ESP32, STM32, RPi Pico), має менеджер бібліотек, засоби налагодження та здатний емулювати WiFi-мережу для підключення до зовнішніх ресурсів через протокол MQTT.

У роботі [13] описують досвід використання різних типів симуляторів роботів у курсах із робототехніки. Зокрема, згадуються симулятори Arduino (Wokwi, Tinkercad, UnoArduSim), CAD-системи (SolidWorks, FreeCAD, RoboDK) та фізичні симулятори (Gazebo, Webots, CoppeliaSim, MotoSim EG-VRC). Перевагами таких засобів є доступність для студентів, контрольоване безпечне середовище, гнучкість щодо темпів навчання й налаштування, інтерактивність та реалістичність моделей. Дослідник [1] пропонує, крім Tinkercad і UnoArduSim, використовувати такі професійні інструменти, як Autodesk Eagle та Proteus від Labcenter Electronics.

Автори [4; 8; 13] відзначають, що програмні засоби вирішують ряд проблем, пов'язаних із фізичним лабораторним обладнанням: висока вартість та обмежена кількість робочих місць, безпека, доступність; надають дистанційний доступ до обладнання, що особливо важливо в умовах пандемії та воєнного стану.

Аналіз публікацій показує, що розглянуті дослідження зосереджені на огляді й аналізі використання програмних симуляторів в освітніх програмах, пов'язаних з електротехнікою, електронікою, робототехнікою, інтернетом речей (IoT) та мікропроцесорними системами. Центральну увагу приділено порівнянню безплатних онлайн-сервісів Wokwi та Tinkercad як інноваційних інструментів для проєктного та практичного навчання, зокрема з використанням платформ Arduino та ESP32 [5; 13; 14]. Автори підкреслюють, що симулятори пропонують безпечну, гнучку й економічно вигідну альтернативу фізичним лабораторіям, сприяючи засвоєнню навичок у рамках STEM-освіти. Усі джерела підтверджують ефективність симуляційного навчання, особливо в умовах дистанційної роботи.

Разом із тим значно менше уваги приділяється аналізу можливостей і застосуванню безплатного симулятора SimulIDE.

Матеріали та методи. У процесі дослідження використовувалися онлайн-симулятори Arduino Tinkercad та Wokwi, десктопні додатки UnoArduSim та SimulIDE, середовище розробки програм Arduino IDE.

У цій роботі використані загальнонаукові методи дослідження: аналіз, синтез, порівняння й узагальнення. Метод аналізу використаний для огляду літературних джерел, виявлення функціональних можливостей симуляторів та середовищ розробки для Arduino. Метод порівняння застосований для порівняльного аналізу вибраних онлайн- та офлайн-симуляторів. Метод синтезу використаний під час розробки прикладів застосування симуляторів для вивчення компонентів робототехнічних систем. Метод узагальнення застосовувався для обробки результатів аналізу публікацій та формулювання загальних висновків.

Результати. Наведений вище аналіз джерел і публікацій з теми дослідження показав, що існує ряд обмежень у разі використання реального лабораторного обладнання в навчальному процесі, основними з яких є вартість, безпека та доступність [4; 14].

Ефективним вирішенням цієї проблеми є інтеграція у навчальний процес спеціалізованих програмних середовищ (симуляторів), як-от Tinkercad, Wokwi, SimulIDE, Proteus та інших. Використання програмних симуляторів дає можливість перенести етап макетування (прототипування) та налагодження пристроїв у віртуальне середовище. Це надає студентам такі переваги,

як доступність до широкої гами компонентів, безпека експериментів, унаочнення процесів у схемах [1; 4; 10; 14].

Використання симуляторів у курсах «Робототехніка» та «Інтернет речей (IoT)» є доцільним для тем, де важливо змоделювати й унаочнити логіку взаємодії компонентів, перевірити програмний код або дослідити складні системні процеси без ризику пошкодження обладнання. Розглянемо ряд ключових тем і відповідних пристроїв, для яких програмна симуляція є найбільш ефективною (табл. 1).

Таблиця 1

Сфери застосування програмних симуляторів у курсі робототехніки

Тема	Компоненти	Доцільність
1. Основи схемотехніки та цифрової електроніки		
Основи електротехніки, електроніки, цифрової схемотехніки	Резистори, діоди, транзистори, логічні елементи, цифрові мікросхеми	Моніторинг електричних схем, безпечне моделювання перевантажень та коротких замикань, дослідження базових електронних компонентів та цифрових схем
2. Програмування мікроконтролерів		
Керування портами введення-виведення (GPIO), переривання, таймери/лічильники	Arduino (Uno, Nano, Mega), ESP32, мікроконтролери PIC та AVR (ATmega328p)	Наявність віртуальних налагоджувачів (debugger), покрокове виконання, спостереження (watcher) за змінними, регістрами, комітками пам'яті
3. Сенсорні мережі та збір даних		
Сигнали аналогових та цифрових датчиків, фільтрації шумів, калібрування сенсорів	Датчики температури, вологості, відстані, освітленості руху, перешкод, гіроскопи, акселерометри	Імітація змін навколишнього середовища за допомогою віртуальних елементів керування (повзунків) без необхідності реальних фізичних змін
4. Керування виконавчими механізмами		
Широтно-імпульсна модуляція (PWM), керування швидкістю та напрямком обертання двигунів, позиціонування	Двигуни постійного струму, сервоприводи, крокові двигуни, драйвери двигунів	Моніторинг форми електричних сигналів на віртуальних вимірювальних приладах (осцилограф, логічний аналізатор)
5. Пристрої взаємодії з контролером		
Введення команд користувача, виведення текстової та графічної інформації, обмін даними через послідовні порти	Кнопки, клавіатури, джойстики, енкодери, LED-індикатори та матриці, символічні та графічні дисплеї	Використання широкого асортименту пристроїв введення-виведення без необхідності придбання та монтажу складних схем
6. Мережеві технології та протоколи		
Підключення до мережі Інтернет, протоколи HTTP та MQTT, взаємодія з хмарними сервісами	Модулі ESP32	Емуляція Wi-Fi з'єднання (Wokwi) в браузері та обмін даними з хмарними сервісами (Adafruit IO, Thingspeak) без фізичного модуля

Проведемо більш детальний аналіз кількох симуляторів (Tinkercad, Wokwi, SimulIDE, UnoArduSim, придатних для моделювання наведених вище компонентів. Названі симулятори мають широкий асортимент периферійних пристроїв, які можна поділити на кілька основних категорій (табл. 2).

Таблиця 2

Основні категорії віртуальних пристроїв програмних симуляторів

Категорія	Приклади пристроїв	
Контролери	MCU	AVR, Arduino, ESP-32, STM32, RPi Pico тощо
Введення	Input	кнопки, клавіатури, потенціометри тощо
Виведення	Output	LED, двигуни, зумери тощо
Датчики	Sensor	температури, вологості, світла, відстані тощо
Дисплеї	Display	7-seg LED, LED matrix, LCD, OLED тощо
Інструменти	Tools	генератор, мультиметр, осцилограф та ін.

Крім цього, зустрічаються деякі інші категорії компонентів: пасивні елементи (резистори, конденсатори, котушки); активні елементи (транзистори, операційні підсилювачі, стабілізатори тощо); логічні елементи та цифрові схеми (логічні ІС, тригери, регістри та ін.), джерела живлення (батареї, джерела напруги чи струму).

Кількість пристроїв, доступних для використання в різних симуляторах, вимірюється десятками або навіть сотнями. Точну кількість елементів визначити складно через те, що різні симулятори мають різні набори категорій, а деякі з компонентів часто підпадають під різні категорії в різних симуляторах, тому зазвичай обмежуються приблизними оцінками. Спробуємо здійснити порівняльний аналіз наборів компонентів обраних симуляторів.

Таблиця 3

Розподіл віртуальних пристроїв симуляторів за категоріями

Категорія	Wokwi	Tinkercad	SimulIDE	UNOAtduSim
Контролери VCU	7	3	4+68*	2
Введення Input	8	7	15	3
Виведення Output	8	9	6	7
Датчики Sensor	11	13	8	–
Дисплеї Display	15	9	25	4
Інструменти Tools	1	3	11	4
Всього	50	44	69+68	20

* 4 плати Arduino плюс 68 мікроконтролерів

Загалом симулятор Wokwi підтримує близько 70 компонентів, Tinkercad – майже 100 компонентів, SimulIDE – близько 400 компонентів, а UnoArduSim – лише трохи більше двох десятків. З наведеної таблиці видно, що серед основних категорій компонентів явно виділяється SimulIDE. Переважно завдяки широкому набору мікроконтролерів, серед яких 4 плати Arduino, мікроконтролери AVR (ATtiny, ATmega), PIC, 8051, Motorola 65xx, Zilog Z80.

Усі розглянуті симулятори підтримують найбільш популярну плату ArduinoUno. Серед інших плат – Arduino Nano (Wokwi, SimulIDE) та Arduino Mega (Wokwi, SimulIDE, UnoArduSim). Wokwi також підтримує ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico, а Tinkercad додатково підтримує micro:bit.

Крім базових компонентів, симулятори підтримують ряд компонентів специфічних категорій. Так, Tinkercad та SimulIDE підтримують набір активних і пасивних компонентів, серед яких резистори, конденсатори, діоди, транзистори. Wokwi, Tinkercad, SimulIDE мають набір логічних елементів та інших цифрових мікросхем, у SimulIDE таких компонентів понад дві сотні.

Tinkercad та SimulIDE підтримують ряд джерел живлення, причому в SimulIDE це достатньо функціональні блоки живлення з фіксованими та змінними значеннями, включно з джерелами напруги та струму. Слід відзначити наявність вимірювальних пристроїв у деяких симуляторах. Найкращі з них у Tinkercad (мультиметр, функціональний генератор та осцилограф) та SimulIDE (пробник, вольтметр, амперметр, частотомір, осцилограф, логічний аналізатор). У Wokwi та UnoArduSim наявні лише логічні аналізатори.

Кожен симулятор по-своєму унікальний, тому підходить для різних задач. Tinkercad найчастіше рекомендують для новачків завдяки простоті й наявності блокового програмування. Охоплює переважно базові компоненти для відносно простих проєктів.

В UnoArduSim [11] досить скромні можливості з погляду набору периферійних пристроїв і бібліотек, проте є вбудований редактор коду з підсвічуванням синтаксису, швидкий компілятор, покроковий налагоджувач і спостерігач програмних змінних, що дуже зручно для

тестування програм. Працює з файлами коду .ino і готовими прошивками .hex. Особливо цікавий завдяки наявності програмного емулятора двоколісного робота-маніпулятора Q2WDBotSim. Він дає можливість моделювати виконання програми керування роботом DFRobot 2WD в реальному часі без наявної фізичної мобільної платформи. Обладнаний двома двигунами коліс, енкодерами пройденого шляху, датчиками відстані й перешкод, датчиками лінії, маніпулятором типу «клешня». Можна підключати контакти плати Arduino Uno до периферійних пристроїв та тестувати програми керування ботом у віртуальному ігровому майданчику PlayField.

Wokwi підходить для користувачів середнього та просунутого рівня. Має широкий набір датчиків, індикаторів та дисплеїв, підтримує імпорт бібліотек Arduino, редактор коду з функцією автодоповнення (пропозиції) операторів мови Arduino. Має достатньо добру підтримку у вигляді онлайн-документації, активного форуму Discord та LinkedIn-спільноти. Дає можливість створювати проекти інтернету речей із використанням віртуальної Wi-Fi-мережі та доступом до реальних мережевих сервісів інтернету через протоколи MQTT, HTTP чи WebSocket.

Нашу увагу привернув безплатний десктопний симулятор SimulIDE з можливістю моделювання електричних, аналогових та цифрових електронних схем у реальному часі (Real-time simulation), багатим набором мікроконтролерів і плат Arduino, периферійних пристроїв введення-виведення й відображення інформації, базовим набором датчиків та виконавчих пристроїв, джерелами живлення та вимірювальними інструментами. На відміну від професійних середовищ на зразок Eagle, Multisim, Proteus, які містять тисячі моделей реальних електронних компонентів, SimulIDE має базовий набір універсальних компонентів із можливістю налаштування їх параметрів. Існує можливість створення власних компонентів.

Симулятор SimulIDE має вбудований редактор коду з підсвічуванням синтаксису, використовує реальний компілятор коду та бібліотеки від Arduino IDE, вбудований налагоджувач із можливістю покрокового виконання, працює в режимі симуляції реального часу, підтримує .ino-файли від Arduino IDE або готові hex-прошивки. Простий у використанні редактор схем дає змогу будувати як найпростіші електричні чи електронні схеми, так і достатньо складні схеми на основі мікропроцесорів.

Практика показує, що немає єдиного універсального підходу й симулятора на всі випадки начальних завдань. У кожному конкретному завданні слід вибрати найбільш відповідний засіб моделювання. Зазначимо, що практично всі розглянуті симулятори достатньо добре підходять для моделювання роботи датчиків, пристроїв введення та виведення інформації, включно з дисплеями. Програє в цьому випадку лише UnoArduSim, який взагалі не має датчиків, але він з'явився в нашому наборі завдяки іншій унікальній особливості, а саме можливості моделювання роботи реального двоколісного робота.

Розглянемо кілька прикладів моделювання.

Приклад 1. Змоделювати роботу датчика температури на основі NTC-терморезистора, побудованого за схемою подільника напруги. Параметри елементів схеми: $R1(25^\circ) = 10 \text{ k}\Omega$; $V = 3940$; $R2 = 10 \text{ k}\Omega$. Побудувати залежність вихідної напруги схеми від температури в діапазоні від 0 до 50 °C з кроком 5 °C.

Симулятори Tinkercad і UnoArduSim не мають засобів для моделювання такої задачі. Wokwi має готовий модуль на основі терморезистора з фіксованими значеннями опорів (10 k Ω), хоча можна змінити значення параметра V. Використаємо симулятор SimulIDE. Схему датчика та модель в SimulIDE показано на рис 1. Наведена схема дає можливість легко побудувати статичну характеристику датчика.

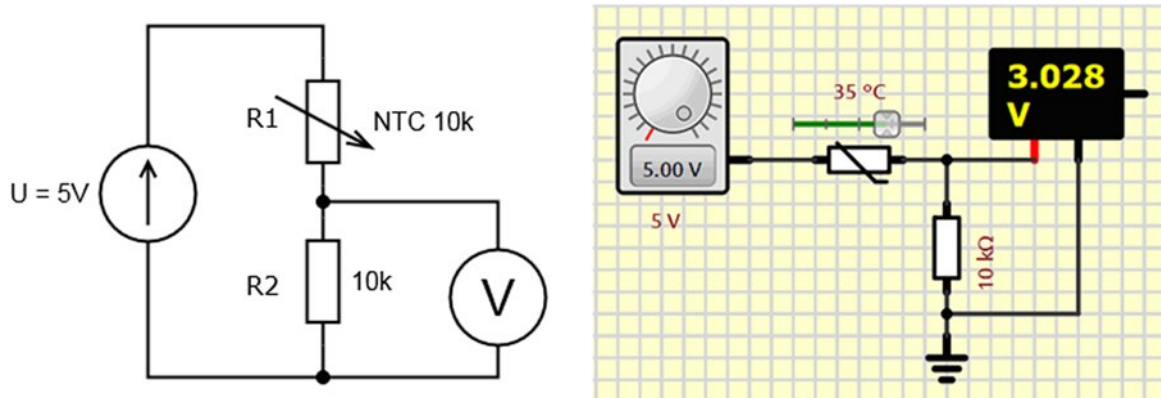


Рис. 1. Схема дослідження та модель датчика температури

Симулятор SimulIDE дає змогу задати довільні значення обох резисторів подільника й налаштувати ряд інших параметрів; мінімальне, поточне та максимальні значення температури, крок зміни температури та параметр B терморезистора (рис. 2). Додатково можна налаштувати вигляд і розмір повзунка (Dial) для зміни температури.

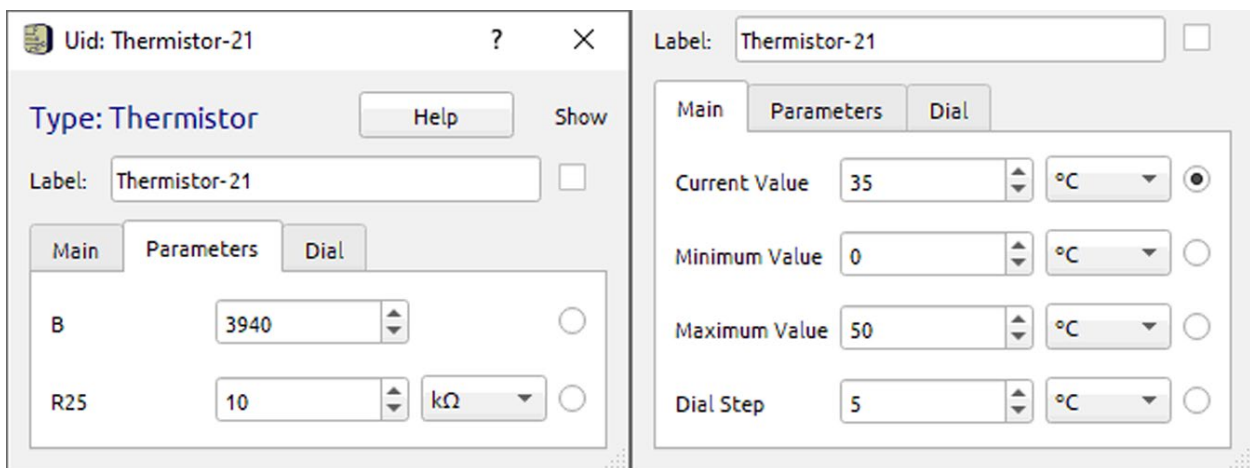


Рис. 2. Налаштування параметрів терморезистора

Приклад 2: Змодельувати схему керування двигуном постійного струму (ДПС): 1) схема реверсу ДПС за допомогою Н-моста на польових транзисторах; 2) схема ШІМ-керування швидкістю ДПС з використанням драйвера L293D.

Wokwi не має двигуна постійного струму. Tinkercad має ДПС, транзистори, блок живлення, генератор сигналів і драйвер L293D, у ньому можна змодельувати задачу керування ДПС, хоча збирання більш-менш складної схеми в Tinkercad потребує неабиякого терпіння. В UnoArduSim є ДПС з редуктором і вбудованим драйвером, ним можна керувати за допомогою Arduino, але не можна змодельувати й дослідити власну схему.

1) Для цієї задачі найкраще підходить SimulIDE. Тут є всі необхідні компоненти та інструменти, а збирати та змінювати схему досить просто. У SimulIDE є два універсальні типи транзисторів: біполярний (BJT) і польовий (MOSFET). Для них можна вибрати тип (PNP чи NPN, N- чи P-канал) і налаштувати кілька основних параметрів, як-от коефіцієнт підсилення для біполярних, порогову напругу затвору й опір каналу для польового. Тому змодельувати й дослідити схему Н-моста досить просто (рис. 3).

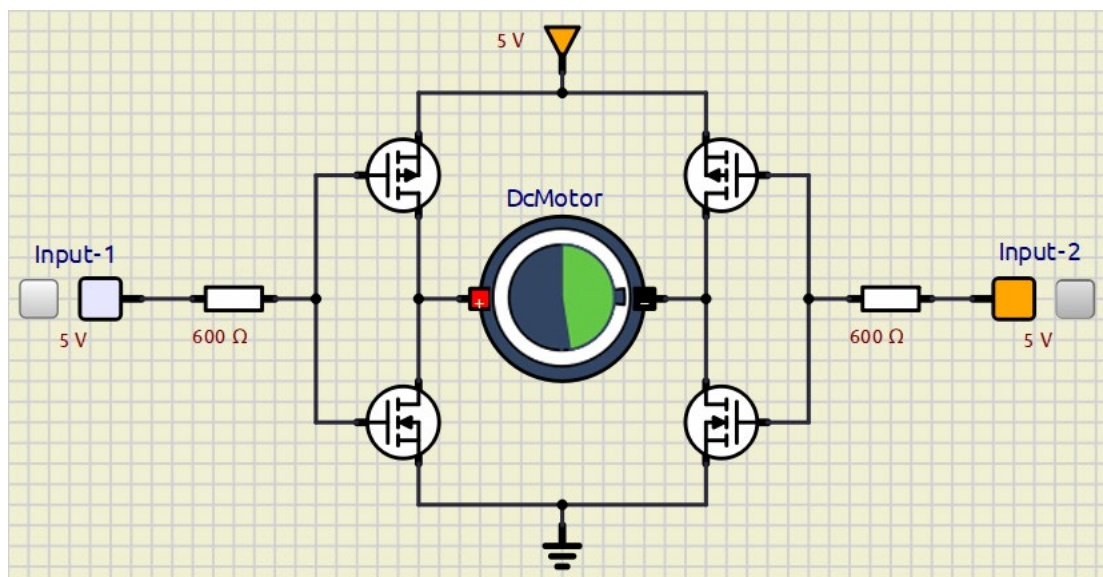


Рис. 3. Модель H-моста в SimulIDE

2) Схему для керування швидкістю ДПС на основі ШІМ-сигналу в SimulIDE можна змоделювати як з використанням контролера Arduino, так і без нього. ШІМ-модулятор можна зібрати на основі генератора пилоподібної напруги, регульованого джерела напруги та компаратора. Драйвер двигуна L293D забезпечить реверсний режим, а його вхід дозволу EN використовується для подачі ШІМ-сигналу (рис. 4).

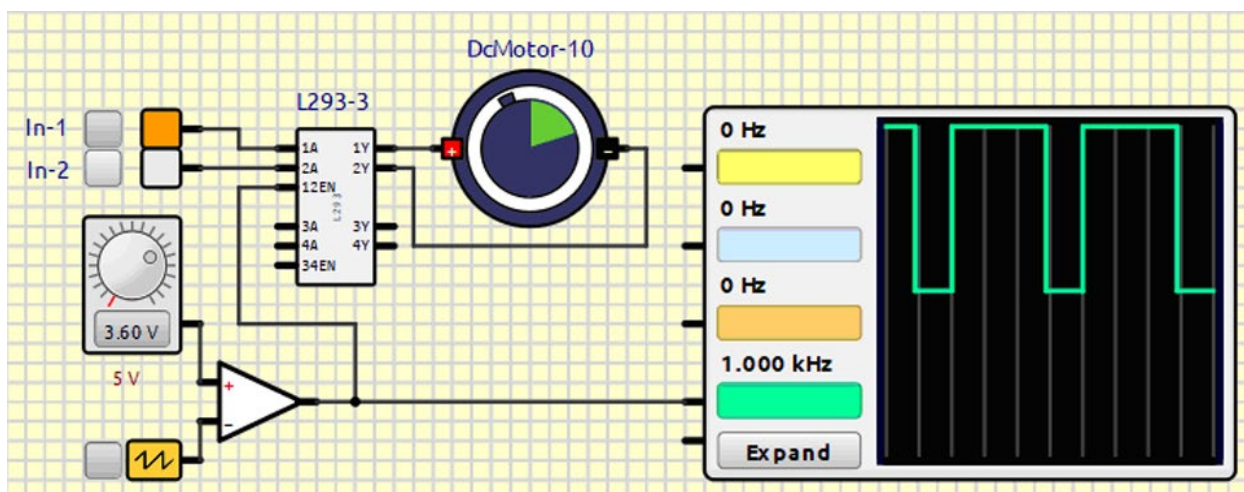


Рис. 4. Керування швидкістю двигуна в SimulIDE

Приклад 3: Змоделювати роботу пристрою інтернету речей (IoT-вузла). У цьому завданні можливі варіанти: 1) зчитування даних із сенсора, виведення їх на дисплей і відправка на віддалений сервер; 2) одержання даних з вебсервісу та виведення їх на дисплей.

Для виконання цього завдання беззаперечним лідером є Wokwi завдяки наявності контролера ESP32 та можливості емулювати Wi-Fi з'єднання прямо в браузері та надсилати дані на реальні сервери (Adafruit IO або Thingspeak) без реального фізичного модуля. Як приклад, можна навести проєкт, у якому з онлайн-сервісу OpenWeather отримуються дані про погоду в певній місцевості й виводяться на дисплей або в послідовний монітор (рис. 5).

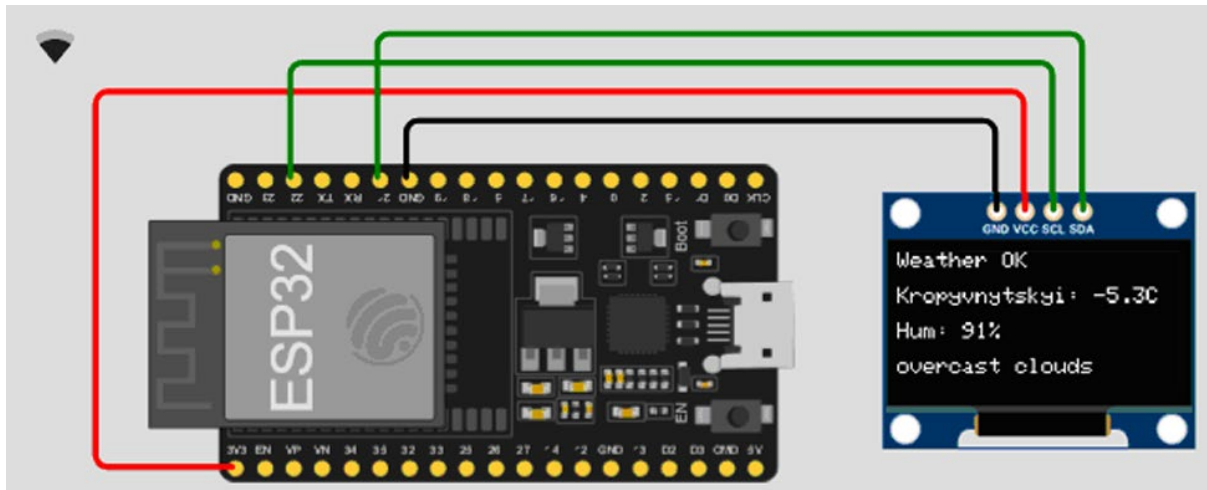


Рис. 5. Моделювання мережевого вузла IoT у Wokwi

Отже, використання програмних симуляторів є не просто тимчасовою альтернативою фізичним лабораторіям, а потужним засобом прототипування та методичним інструментом, що підвищує якість освіти в умовах дистанційного навчання.

Висновки. Використання програмних симуляторів є важливою складовою сучасної інженерної освіти, забезпечує якісну практичну підготовку в умовах дистанційного навчання та високої вартості фізичного обладнання. Завдяки симуляторам здобувачі освіти отримують навички проектування, збирання, програмування й налагодження робототехнічних систем та їх компонентів. Вибір конкретного середовища залежить від навчальних завдань: Tinkercad ідеальний для початківців, Wokwi є лідером у розробці IoT-проектів завдяки емуляції Wi-Fi, UnoArduSim має готову модель двокілісного мобільного робота. Симулятор SimulIDE пропонує зручний редактор схем, велику бібліотеку компонентів, засоби програмування й налагодження Arduino-проектів, функціональні вимірювальні прилади, що робить його кращим вибором для навчальних завдань та інженерної розробки, зокрема для вивчення основ схемотехніки, моделювання та дослідження датчиків, схем керування двигунами та інших електронних схем.

Симулятори дають можливість безпечно, інтерактивно й ефективно здійснювати віртуальне прототипування та налагодження систем. Отже, їх інтеграція в освітній процес не лише компенсує брак доступу до лабораторій, а й стає потужним методологічним інструментом для підвищення якості підготовки майбутніх фахівців у галузі робототехніки та інтернету речей.

Література:

1. Базиль С. М. Застосування симуляторів Arduino в освітньому процесі. *Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи* : матеріали ІХ Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 25 квітня 2024 р. Суми : Сумський державний університет, 2024. С. 126–129.
2. Баранюк О. Ф. Програмні симулятори як основа проблемних ситуацій у процесі навчання низькорівневого програмування. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кропивницький, 2018. Вип. 169. С. 10–14.
3. Гриневич Л. М., Морзе Н. В., Вембер В. П., Бойко М. А. Роль цифрових технологій у розвитку екосистеми STEM-освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2021. Том 83. № 3. С. 1–25. DOI: 10.33407/itlt.v83i3.4461.
4. Крамар С., Шишкіна М. Методичні особливості використання Arduino на платформі Tinkercad у середовищі неформальної освіти вчителів. *Фізико-математична освіта*. 2024. Т. 39 № 5. С. 27–33. DOI: 10.31110/fmo2024.v39i5-04.

5. Кучерук В., Кулаков П., Ліман В. Онлайн-сервіс WOKWI як симулятор мікропроцесорних систем. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2023. № 2. С. 153–158. DOI: 10.31891/2219-9365-2023-74-19.
6. Морзе Н. В., Струтинська О. В., Умрик М. А. Освітня робототехніка як перспективний напрям розвитку STEM-освіти. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2018. Вип. 5. С. 178–187. DOI: 10.28925/2414-0325.2018.5.178187.
7. Оленюк О., Семенишена Р., Дуганець В. Ефективність використання віртуальних симуляторів у Stem-освіті. *Сучасна освіта України: проблеми, досвід, перспективи* : монографія. Латвія : Baltija Publishing, 2024. С. 115–123. DOI: 10.30525/978-9934-26-422-1-12.
8. Соменко О. О., Соменко Д. В. Вільнопоширюване апаратне та програмне забезпечення для організації навчально-дослідницької роботи майбутніх вчителів природничо-математичних дисциплін. *Наукові записки. Серія «Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти»*. Кропивницький, 2017. Вип. 11. Ч. 1. С. 122–128.
9. Цирульник С. М., Цирульник М. С., Ткачук В. М. Прототипування проекту IoT у сервісі Wokwi : матеріали XVI Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах (KVCC-2022)», м. Вінниця, 15–17 лист. 2022 р. Вінниця, 2022. С. 1–6. DOI: 10.31649/mccs2022.03.
10. An arduino simulator in classroom-a case study / P. F. Gonçalves, J. Sá, A. Coelho, J. Durães. *First International Computer Programming Education Conference (ICPEC 2020)*. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020. Vol. 81. P. 12:1–12:12. DOI: 10.4230/OASIS.ICPEC.2020.12.
11. Bhowmick S. UnoArduSim : A Simulator to Learn Arduino Programming and Debugging Codes without Arduino Board. *Circuit Digest*. 2021. URL: <https://circuitdigest.com/tutorial/unoardusim-a-simulator-to-learn-arduino-programming-and-debugging-without-arduino-board>.
12. Dinale L., Bertasius R., Khaled S. Best Arduino Simulators (Online & Offline): Our 10 Picks. 2025. URL: <https://all3dp.com/2/best-arduino-simulators-online-offline/> (Updated Jan 12, 2025).
13. Efremova S., Mishchuk D., Horbatiuk E. Review and analysis of software simulators for robotic information systems. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2024. № 103. С. 71–85, DOI: 10.32347/gbdmm.2024.103.0501.
14. Empowering IoT Education Utilizing Free Online Arduino Simulators / A. Atanasković, T. Dimitrijević, N. M. Plić, M. Čabarkapa. *2024 59th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)*, Sozopol, 2024. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICEST62335.2024.10639688.
15. Shvets D., Karabut N. Use the power of Arduino simulators to improve the effectiveness of IoT educating. *Вісник Криворізького національного університету*. Кривий Ріг, 2023. Том 21, № 1. С. 34–37. DOI: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-34-37.

References:

1. Bazyl, S.M. (2024). Zastosuvannia symulatoriv Arduino v osvitnomu protsesi [Using Arduino simulators in the educational process]. *Osvita, nauka ta vyrobnytstvo: rozvytok ta perspektyvy: materialy IX Vseukrainskoi naukovo-metodychnoi konferentsii*, 126–129 [in Ukrainian].
2. Baraniuk, O.F. (2018). Prohramni symulatory yak osnova problemnykh sytuatsii u protsesi navchannia nyzkorivnevomu prohramuvanniu [Software simulators as a basis for problem situations in the process of learning low-level programming]. *Naukovi zapysky. Seriya: Pedagogichni nauky*, (169), 10–14 [in Ukrainian].
3. Hrynevych, L.M., Morze, N.V., Vember, V.P., Boiko, M.A. (2021). Rol tsyfrovoykh tekhnolohii u rozvytku ekosystemy STEM-osvity [The role of digital technologies in the development of the STEM education ecosystem]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*, 83 (3), 1–25. DOI: 10.33407/itlt.v83i3.4461 [in Ukrainian].
4. Kramar, S., Shyshkina, M. (2024). Metodychni osoblyvosti vykorystannia Arduino na platformi Tinkercad u seredovyskhi neformalnoi osvity vchyteliv [Methodological features of using Arduino on the Tinkercad platform in the environment of informal teacher education]. *Fizyko-matematychna osvita*, 39 (5). 27–33. DOI: 10.31110/fmo2024.v39i5-04 [in Ukrainian].
5. Kucheruk, V. Kulakov, P., Liman, V. (2023). Onlain-servis WOKWI yak symulator mikroprotsesornykh system [WOKWI online service as a simulator of microprocessor systems]. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*, (2), 153–158. DOI: 10.31891/2219-9365-2023-74-19 [in Ukrainian].
6. Morze, N.V., Strutyńska, O.V., Umryk, M.A. (2018). Osvitnia robototekhnika yak perspektyvnyi napriam rozvytku STEM-osvity [Educational robotics as a promising direction for the development of STEM education]. *Vidkryte osvittne e-seredovyshe suchasnoho universytetu*, (5), 178–187. DOI: 10.28925/2414-0325.2018.5.178187 [in Ukrainian].

7. Oleniuk, O., Semenyshena, R., Duhanets, V. (2024). Efektyvnist vykorystannia virtualnykh symulatoriv u Stem-osviti [The effectiveness of using virtual simulators in STEM education]. *Suchasna osvita Ukrainy: problemy, dosvid, perspektyvy*, 115–123. DOI: 10.30525/978-9934-26-422-1-12 [in Ukrainian].
8. Somenko, O.O., Somenko, D.V. (2017). Vilno-poshyriuvane aparatne ta prohramne zabezpechennia dlia orhanizatsii navchalno-doslidnytskoi roboty maibutnikh vchyteliv pryrodnycho-matematychnykh dystsyplin [Freely distributed hardware and software for the organization of educational and research work of future teachers of natural and mathematical disciplines]. *Naukovi zapysky. Seria: Problemy metodyky fizykomatematychnoi i tekhnolohichnoi osvity*, 11 (1), 122–128. [in Ukrainian].
9. Tsyruľnyk, S.M., Tsyruľnyk, M.S., Tkachuk, V.M. (2022). Prototypuvannia proektu IoT u servisi Wokwi [IoT project prototyping in the Wokwi service]. *Materialy XVI mizhnarodnoi konferentsii “Kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh (KUSS-2022)”* (pp. 1–6). DOI: 10.31649/mccs2022.03 [in Ukrainian]
10. Gonçalves P.F., Sá J., Coelho A., Durães J. (2020). An arduino simulator in classroom-a case study. *First International Computer Programming Education Conference (ICPEC 2020)*. (81), 12:1–12:12. DOI: 10.4230/OASiCs.ICPEC.2020.12.
11. Bhowmick S. (2021). UnoArduSim: A Simulator to Learn Arduino Programming and Debugging Codes without Arduino Board. *Circuit Digest*. URL: <https://circuitdigest.com/tutorial/unoardusim-a-simulator-to-learn-arduino-programming-and-debugging-without-arduino-board>.
12. Dinale, L., Bertasius, R., Khaled, S. (2025). Best Arduino Simulators (Online & Offline): Our 10 Picks. URL: <https://all3dp.com/2/best-arduino-simulators-online-offline/>.
13. Efremova, S., Mishchuk, D., Horbatiuk, E. (2024). Review and analysis of software simulators for robotic information systems. *Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny*, (103), 71–85. DOI: 10.32347/gbdmm.2024.103.0501.
14. Atanasković, A., Dimitrijević, T., Ilić, N.M., Čabarkapa, M. (2024). Empowering IoT Education Utilizing Free Online Arduino Simulators. *2024 59th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)*. 1–4. DOI: 10.1109/ICEST62335.2024.10639688.
15. Shvets, D., Karabut, N. (2023). Use the power of Arduino simulators to improve the effectiveness of IoT educating. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, 21 (1), 34–37. DOI: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-34-37.

Дата першого надходження статті до видання: 30.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 378.371:53

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-2>

ЗМІШАНЕ НАВЧАННЯ І ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ В ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

Герасимова Катерина Варфоломійвна,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри вищої математики та фізики
Криворізького національного університету
ORCID ID: 0000-0001-8714-1006

У статті розглянуто особливості впровадження змішаного навчання в процес фахової підготовки здобувачів вищої освіти. Наголошено на актуальності дослідження з огляду на об'єктивні труднощі, з якими останніми роками стикається українське суспільство.

За допомогою методу теоретичного аналізу проведено узагальнення робіт зарубіжних і вітчизняних науковців з питання змішаного навчання. Проаналізовано теоретичні засади змішаного навчання, розкрито його технологію та організацію в умовах цифрової трансформації освіти. Визначено дидактичний потенціал змішаного навчання у формуванні професійних компетентностей майбутніх фахівців технічного профілю.

Розкрито можливості інтеграції інноваційних технологій у вищу освіту з фокусом на дисципліну «Фізика». Окреслені педагогічні умови, необхідні для успішного застосування змішаного навчання в технічних вишах. Висвітлено переваги та проблеми застосування змішаної моделі навчання. Показано можливості підготовки здобувачів вищої освіти до змістовного засвоєння курсу фізики та професійного становлення майбутнього інженера завдяки змішаному навчанню.

Розглянуто основні форми та інструменти реалізації змішаного навчання під час лекційних, практичних і лабораторних занять із фізики. Розкрито деякі аспекти створення електронних курсів, віртуальних лабораторних робіт, комп'ютерного моделювання фізичних процесів і онлайн-тестування для формування та контролю знань здобувачів. Запропоновано методіку організації навчального процесу з використанням цифрових освітніх технологій, віртуальних лабораторій і систем управління навчанням.

Представлено результати педагогічного експерименту, які підтверджують ефективність застосування змішаного навчання у викладанні фізики. Запропоновано практичні рекомендації щодо організації змішаного навчання з фізики в технічних університетах. Окреслено перспективні напрями подальших досліджень із вибраної тематики.

Ключові слова: змішане навчання, дистанційне навчання, цифрові освітні технології, фізика, професійна підготовка, технічний університет.

Herasymova Kateryna. Blended learning and teaching of physics at a technical university

The article examines the features of implementing blended learning in the process of professional training of higher education students. Emphasis is placed on the relevance of the study, considering the objective difficulties that Ukrainian society has faced in recent years.

Using the method of theoretical analysis, a synthesis of both foreign and domestic researchers' works on blended learning was carried out. The theoretical foundations of blended learning were analyzed, its technology and organization in the context of the digital transformation of education were revealed. The didactic potential of blended learning in the formation of professional competencies of future technical specialists was determined.

The possibilities of integrating innovative technologies into higher education, with a focus on the discipline of physics, are explored. The pedagogical conditions necessary for the successful application of blended learning in technical universities are outlined. The advantages and challenges of applying the blended learning model are highlighted. The article demonstrates how blended learning enables higher education students to acquire physics knowledge meaningfully and contributes to the professional development of future engineers.

The main forms and tools for implementing blended learning during lectures, practical classes, and laboratory sessions in physics are considered. Certain aspects of creating electronic courses, virtual laboratories, computer

© Герасимова К. В., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

modeling of physical processes, and online testing for knowledge formation and assessment are disclosed. A methodology for organizing the educational process using digital educational technologies, virtual laboratories, and learning management systems is proposed.

The results of a pedagogical experiment are presented, confirming the effectiveness of blended learning in teaching physics. Practical recommendations for organizing blended learning in physics in technical universities are provided. Prospective directions for further research on the topic are outlined.

Key words: *blended learning, distance learning, digital educational technologies, physics, professional training, technical university.*

Вступ. Сучасна вища технічна освіта в Україні перебуває в умовах постійних трансформацій, зумовлених цифровізацією суспільства, євроінтеграційними процесами та зовнішніми викликами. Пандемія і війна в Україні спровокували необхідність системних змін в освітньому процесі. Виникла нагальна потреба в пошуку нових систем управління навчанням. В освітній діяльності зростає «питома вага» інформаційних технологій, що зумовило виникнення нових підходів до реалізації професійної підготовки фахівців. Особливого значення набув пошук ефективних моделей організації освітнього процесу, здатних забезпечити якісну підготовку інженерно-технічних кадрів. Однією з таких моделей є змішане навчання, яке поєднує традиційні аудиторні форми з дистанційними й електронними освітніми технологіями.

Процес формування компетенцій майбутнього фахівця закладається в технічному ЗВО засобами загально професійних і природничих дисциплін. Фізика як фундаментальна дисципліна технічної освіти відіграє ключову роль у формуванні професійних компетентностей здобувачів. У непростих умовах сьогодення викладання фізики вимагає від викладача не лише професійних знань, а гнучкості й адаптивності, здатності інтегрувати традиційні методи навчання з новими моделями організації навчального процесу, як-от змішане та дистанційне навчання, тому дослідження можливостей застосування нових моделей навчання у викладанні фізики є **актуальним**.

Метою статті є дослідження теоретичних і практичних аспектів впровадження змішаного навчання у викладання фізики в технічному університеті; оцінка його ефективності через проведений педагогічний експеримент.

Аналіз досліджень і публікацій. Визначимо поняття «змішане навчання» (Blended Learning) з огляду на авторитетні зарубіжні й українські науково-педагогічні літературні джерела.

Уперше ознаки змішаного навчання проявилися в системі вищої освіти США ще в середині 60-х років минулого століття. Термін «змішане навчання» став активно поширюватися на початку XXI століття у зв'язку з розвитком цифрових технологій і масовим впровадженням дистанційної освіти.

На сьогодні в педагогіці існують різні підходи до визначення поняття «змішане навчання». Найбільш значущими публікаціями з питань змішаного навчання стали дослідження таких американських авторів, як К. Бонк і Ч. Грехем, Х. Стейкер і М. Хорн, Д. Р. Гаррісон і Х. Канука, І. Аллен і Дж. Сімен та ін. Ці роботи описують існуючі зарубіжні підходи та найкращі практики змішаного навчання на різних рівнях освіти.

Д. Р. Гаррісон і Х. Канука (D. R. Garrison & H. Kanuka) запропонували визначення, згідно з яким змішане навчання – це «вдумлива інтеграція особистого навчання в класі з онлайн-навчанням» [8, с. 96].

К. Бонк і Ч. Р. Грехем (C. Bonk & C. R. Graham) визначають змішане навчання як систему навчання, що «поєднує очне навчання з комп'ютерно опосередкованим навчанням» [9, с. 5].

Цей підхід підкреслює інтеграцію, а не просте співіснування цих двох форматів навчання. Х. Стейкер і М. Хорн (H. Staker & M. Horn) відзначають, що «змішане навчання – це формальна освітня програма, в якій учень навчається частково через онлайн-навчання з деякими елементами контролю учнів над часом, місцем, шляхом і/або темпом і частково в контрольованому традиційному форматі, не вдома» [10, с. 29].

Автори багатьох зарубіжних досліджень акцентують свою увагу на таких питаннях, як поєднання традиційних форм навчання з онлайн-навчанням, індивідуальний підхід до здобувача освіти, скорочення аудиторної роботи та нові форми контролю.

У вітчизняній педагогічній науці змішане навчання досліджується з початку 2010-х років, а особливо активно – після 2020 року. В українських дослідженнях змішане навчання часто розглядається як перехідна форма між традиційним і дистанційним навчанням. Українські автори (В. Кухаренко, В. Биков, Н. Морзе, Н. Голіонко, М. Гладун, О. Спірін та ін.) аналізують моделі змішаного навчання, їх дидактичні принципи, місце в системі вищої освіти. Наголошують на важливості компетентнісного підходу та студентоцентрованого навчання.

Зокрема, В. Биков визначає змішане навчання як доцільне поєднання очних і дистанційних технологій з метою підвищення якості освіти [1]. Н. Голіонко розглядає змішане навчання як освітню модель, що поєднує традиційне очне навчання з онлайн-компонентами, забезпечуючи гнучкість, індивідуалізацію та підвищення якості освітнього процесу [3]. В. Кухаренко наводить приклади ефективного використання змішаного навчання в середній школі, в університеті під час вивчення технічних дисциплін [6]. Н. Морзе і М. Гладун визначають теоретичні та практичні аспекти впровадження змішаного навчання у вищій школі [5].

Викладання фізики передбачає поєднання теоретичних знань, розв'язування задач і проведення експериментів. Теоретичні засади та практичні підходи до організації навчального процесу з фізики у вищій школі системно розкриті у [4]. Змішане навчання дає змогу перенести частину теоретичного матеріалу в онлайн-формат (відеолекції, презентації, інтерактивні конспекти); використовувати цифрові симуляції та моделювання фізичних процесів; підвищити ефективність практичних занять за рахунок попередньої підготовки здобувачів [7; 2].

З огляду на вищесказане можна стверджувати, що в сучасній науково-педагогічній літературі змішане навчання трактується як педагогічно обґрунтована інтеграція очного й онлайн-навчання, інструмент підвищення якості, доступності та гнучкості освіти, стратегічний напрям розвитку освіти в умовах цифрового суспільства. Змішане навчання є ефективною моделлю для вищої та післядипломної освіти.

Матеріали та методи. Нами проведено дослідження ефективності дистанційної та змішаної форм навчання в умовах воєнного стану для здобувачів вищої освіти, що вивчають курс фізики. Остаточний результат експерименту визначався за рівнями навчальних досягнень здобувачів. Для виявлення навчальної мотивації було проведено анкетування здобувачів і викладачів. Методи дослідження: аналіз та систематизація наукових публікацій із вибраної теми; експеримент; порівняння; узагальнення власного педагогічного досвіду викладання фізики в університеті за дистанційною і змішаною формами навчання.

Результати. Застосування інформаційних технологій під час навчання фізики разом із традиційними способами організації навчальної діяльності відкриває додаткові можливості. Під час підготовки та проведення дистанційних занять викладач використовує набір елементів курсу: лекції (різних форм подання), тести, практичні завдання, віртуальний лабораторний практикум тощо.

Особливу роль у змішаному навчанні відіграє лабораторний практикум. Наш досвід свідчить про доцільність використання відеоекспериментів, що доповнюють або частково замінюють традиційні лабораторні роботи. У віртуальній лабораторній роботі імітується реальна установка, під час її виконання здобувачі знімають покази з приладів, працюють із моделлю явища, навчаються обробки результатів вимірів.

Контрольні заходи стимулюють навчання та впливають на мотивацію здобувачів. Система контролю, запроваджена в ЗВО країни, спрямована на індивідуальну оцінку кожного здобувача, виражену за багатобальною шкалою та інтегрально характеризує успішність із дисципліни. Контроль знань передбачає облік усіх видів діяльності здобувача. Формати змішаного й

дистанційного навчання розширюють можливості оцінювання успішності здобувача. Поряд із традиційними формами контролю застосовується онлайн-тестування, що сприяє підвищенню об'єктивності та прозорості контролю.

З метою порівняння ефективності дистанційної та змішаної форм навчання з фізики в умовах воєнного стану викладачами нашої кафедри протягом одного семестру було проведено педагогічний експеримент серед здобувачів першого курсу будівельного факультету. В експерименті брали участь дві академічні групи студентів денної форми навчання. Кількість студентів в обох групах була однаковою (по 24 особи). За результатами вхідного контролю обидві групи мали приблизно однаковий рівень базової підготовки з фізики. Навчальні матеріали, теми, викладачі та система оцінювання для обох груп були однаковими. Освітній процес в університеті проводився у змішаному форматі (поточні заняття, консультації – дистанційно або очно, екзамен, заліки – очно). Це дало змогу викладачам, які брали участь в експерименті, поділити студентів на контрольну й експериментальну групи.

Контрольна група навчалася дистанційно: лекції, практичні та лабораторні заняття проводилися суто онлайн. Експериментальна група навчалася за змішаною формою: лекції проводилися онлайн, а практичні та лабораторні заняття – офлайн в університеті, за умови дотримання безпекових вимог і наявності укриття. Вхідний контроль («нульова» контрольна робота) і підсумковий контроль (екзамен) в обох групах проводилися очно в університеті. Також проводилося спостереження за навчальною активністю студентів і анкетування щодо мотивації навчання.

Аналіз результатів підсумкового контролю засвідчив позитивний вплив змішаного навчання на рівень засвоєння фізики здобувачами експериментальної групи порівняно з контрольною групою. Так, в експериментальній групі частка осіб з високим і достатнім рівнями навчальних досягнень стала більшою. Водночас у цій групі стало менше осіб із середнім та початковим рівнем знань порівняно з аналогічними показниками контрольної групи (див. табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл здобувачів за рівнями навчальних досягнень

Рівень	Експериментальна група, осіб	%	Контрольна група, осіб	%
Високий	10	41,7	6	25,0
Достатній	9	37,5	8	33,3
Середній	4	16,7	7	29,2
Початковий	1	4,1	3	12,5
Разом	24	100	24	100

Крім цього, здобувачі експериментальної групи протягом семестру демонстрували кращі результати у розв'язуванні задач підвищеної складності і прикладних фізичних задач, більш усвідомлене розуміння фізичних явищ і законів.

Анкетування здобувачів і викладачів, які брали участь в експерименті, показало, що більшість респондентів позитивно оцінили використання відеоматеріалів, онлайн-тестування та віртуальних лабораторій, відзначивши зручність доступу до навчальних ресурсів і можливість працювати у власному темпі. На думку здобувачів, змішане навчання підвищує рівень засвоєння навчального матеріалу, особливо його складних питань, покращує мотивацію і стимулює самоосвіту. На думку викладачів, змішане навчання нівелює деякі недоліки дистанційної форми навчання: наприклад, складність контролю самостійності виконання завдань і, як наслідок, зменшення об'єктивності оцінювання; виявлення фактів порушення правил академічної доброчесності залежність від технічного забезпечення і якості інтернет-з'єднання.

Висновки. Відзначаємо, що ефективність змішаного навчання у викладанні фізики значною мірою залежить від дотримання певних педагогічних умов. До таких умов належать:

методично обґрунтована добірка цифрових освітніх технологій, системність у поданні навчального матеріалу й активна взаємодія між викладачем і здобувачами. Важливим є поєднання теоретичної підготовки здобувачів із практичною та експериментальною діяльністю. Результати нашого педагогічного експерименту підтверджують доцільність упровадження змішаного навчання у процес викладання фізики в технічному університеті як засобу підвищення якості підготовки фахівців.

В умовах воєнного стану і дистанційне, і змішане навчання стали не просто альтернативами, а необхідними форматами. Обидва мають свої переваги, особливо з огляду на безпеку, технічні можливості та психологічний стан студентів.

До переваг дистанційного навчання віднесемо максимальну безпеку учасників освітнього процесу; можливість навчатись у довільному місці (особливо для тих, хто перебуває за кордоном чи за межами міста); доступ до навчальних матеріалів у зручний час. Змішане навчання дає змогу викладачеві безпосередньо контролювати виконання офлайн-завдань, тому воно ефективніше під час практичних і лабораторних занять. До явних переваг змішаного навчання слід віднести можливість дотримання правил академічної доброчесності, що дає змогу викладачеві більш об'єктивно оцінювати знання здобувачів і стимулює здобувачів до відповідальнішого ставлення до навчання. Змішане навчання також покращує емоційний стан здобувачів, оскільки «живе» спілкування з однолітками та викладачами особливо важливе для першокурсників.

Проведений педагогічний експеримент показав, що змішана форма навчання з фізики є більш ефективною, оскільки підвищує якісні показники навчальних досягнень здобувачів. Водночас дистанційне навчання є необхідним у ситуаціях підвищеної небезпеки. Оптимальним підходом, на нашу думку, є гнучке поєднання цих обох форм навчання.

Для України змішане і дистанційне навчання – це не тимчасове рішення, а необхідність, зумовлена безпековими та соціальними чинниками. Воно має великий потенціал, але потребує інвестицій у цифрову інфраструктуру, підтримки здобувачів, які мають обмежений доступ до технологій, а також підвищення кваліфікації викладачів.

Література:

1. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти : монографія. Київ : Атіка, 2008. 684 с.
2. Герасимова К. В., Ткаченко Г. І. Практичні заняття з фізики із залученням демонстрацій у закладах вищої освіти. *Фізико-математична освіта*. 2021. № 4 (30). С. 29–33. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-030-4-004>.
3. Голіонко Н. Г. Змішане навчання як сучасна освітня технологія. *Інновації в бізнес-освіті* : зб. матеріалів II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Київ : КНЕУ, 2016. С. 36–37.
4. Жук Ю. О. Методика навчання фізики у вищій школі : навч. посіб. Київ : Либідь, 2016. 384 с.
5. Морзе Н. В., Гладун М. А. Змішане навчання: теорія і практика впровадження у вищій школі. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 240 с.
6. Теорія та практика змішаного навчання : монографія / В. М. Кухаренко та ін. ; за ред. В. М. Кухаренка. Харків : НТУ «ХПІ», 2016. 284 с.
7. Юрченко А., Хворостіна Ю., Шамоля В., Семеніхіна О. Цифрові технології у викладанні фізики: аналіз існуючих практик. *Фізико-математична освіта*. 2023. № 5 (38). С. 53–59. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-5-008>.
8. Garrison D. R., Kanuka H. Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. *The Internet and Higher Education*. 2004. Vol. 7 (2). P. 95–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.02.001>.
9. Graham C. R. Blended learning systems: Definition, current trends, and future directions. *The Handbook of Blended Learning* / ed. by C. J. Bonk, C. R. Graham. San Francisco : Pfeiffer Publishing, 2006. P. 3–21.
10. Horn M. B., Staker H. Blended: Using Disruptive Innovation to Improve Schools. San Francisco : Jossey-Bass, 2015. 336 p.

References:

1. Bykov, V.Yu. (2008). Modeli orhanizatsiinykh system vidkrytoi osvity : *monohrafiia* [Models of organizational systems of open education: monograph]. Kyiv, Ukraine: Atika [in Ukrainian].
2. Herasymova, K.V., & Tkachenko, H.I. (2021). Praktychni zaniattia z fizyky iz zaluchenniam demonstratsii u zakladakh vyshchoi osvity [Practical physics classes involving demonstrations in higher education institutions]. *Fizyko-matematychna osvita [Physical and Mathematical Education]*, 4 (30), 29–33. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-030-4-004> [in Ukrainian].
3. Holiionko, N.H. (2016). Zmishane navchannia yak suchasna osvitnia tekhnolohiia [Blended learning as a modern educational technology]. In *Innovatsii v biznes-osviti: zb. materialiv II Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf.* [Innovations in business education: proc. of the II Int. sci.-pract. internet conf.] (pp. 36–37). Kyiv, Ukraine: KNEU [in Ukrainian].
4. Zhuk, Yu.O. (2016). Metodyka navchannia fizyky u vyshchii shkoli [Methods of teaching physics in higher education]. Kyiv, Ukraine: Lybid [in Ukrainian].
5. Morze, N.V., & Hladun, M.A. (2020). Zmishane navchannia: teoriia i praktyka vprovadzhennia u vyshchii shkoli: *navch. posib.* [Blended learning: Theory and practice of implementation in higher education: study guide]. Kyiv, Ukraine: KPI imeni Ihoria Sikorskoho [in Ukrainian].
6. Kukharenko, V.M., et al. (2016). Teoriia ta praktyka zmishanoho navchannia: *monohrafiia* [Theory and practice of blended learning: monograph]. Kharkiv, Ukraine: NTU “KhPI” [in Ukrainian].
7. Yurchenko, A., Khvorostina, Yu., Shamonia, V., & Semenikhina, O. (2023). Tsyfrovi tekhnolohii u vykladanni fizyky: analiz isnuichykh praktyk [Digital technologies in physics teaching: analysis of existing practices]. *Fizyko-matematychna osvita [Physical and Mathematical Education]*, 5 (38), 53–59. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-5-008> [in Ukrainian].
8. Garrison, D.R., & Kanuka, H. (2004). Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education *The Internet and Higher Education*, 7 (2), 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.02.001> [in English].
9. Graham, C.R. (2006). Blended learning systems: Definition, current trends, and future directions. In C.J. Bonk & C.R. Graham (Eds.), *The Handbook of Blended Learning* (pp. 3–21). San Francisco, CA: Pfeiffer Publishing [in English].
10. Horn, M.B., & Staker, H. (2015). *Blended: Using Disruptive Innovation to Improve Schools* [Blended: Using disruptive innovation to improve schools]. San Francisco, CA: Jossey-Bass [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 22.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

UDC 378.016:811.111:004.8

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-3>

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGLISH LANGUAGE TEACHING AT TECHNICAL UNIVERSITIES: INTERNATIONAL PERSPECTIVE

Golub Tetiana Petrivna,

PhD in Pedagogy, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of English Language for Engineering 2,
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID ID: 0000-0002-7757-880X
SCOPUS ID: 57789745600

Kovalenko Olha Oleksandrivna,

Teacher at the Department of English for Engineering 2,
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID ID: 0000-0003-4781-8611

The integration of artificial intelligence (AI) technologies into English language teaching at technical universities represents a transformative shift in educational practices worldwide. The study examines the current state, opportunities, and challenges of AI implementation in English for Specific Purposes (ESP) and general English teaching within engineering and technical education contexts. Through the analysis of recent research and institutional practices of technical universities across different geographical regions, the paper identifies key applications of artificial intelligence. The research reveals that AI technologies offer substantial benefits for technical students; however, implementation faces significant challenges as well. The study demonstrates that successful integration of artificial intelligence in technical university English programs requires comprehensive institutional frameworks combining clear pedagogical objectives, adequate technological infrastructure, systematic faculty professional development, student digital literacy education, and ongoing evaluation of learning outcomes. Comparative analysis across institutions reveals that technical universities in Asia-Pacific regions show particularly high adoption rates of AI-enhanced English learning platforms, while European and North American institutions emphasize critical evaluation of artificial intelligence outputs and ethical usage principles. The research concludes that artificial intelligence technologies, when thoughtfully implemented, can significantly enhance English language learning outcomes for technical students by providing scalable personalized teaching, facilitating autonomous learning, and preparing students for AI-integrated professional communication contexts. However, effectiveness depends critically on maintaining appropriate balance between technological tools and human pedagogical guidance, ensuring that artificial intelligence serves as complement rather than replacement for skilled language teaching. The findings contribute to emerging scholarship on technology-enhanced language learning.

Key words: artificial intelligence, English language teaching, technical university, English for Specific Purposes, engineering education.

Голуб Тетяна, Коваленко Ольга. Штучний інтелект у викладанні англійської мови в технічних університетах: міжнародна перспектива

Інтеграція технологій штучного інтелекту (ШІ) у викладання англійської мови в технічних університетах являє собою трансформаційний зсув в освітній практиці в усьому світі. У дослідженні розглядається поточний стан, можливості та проблеми впровадження штучного інтелекту у викладання англійської мови для спеціальних цілей і загальної англійської мови в контексті вищої технічної освіти. Завдяки аналізу останніх досліджень та інституційних практик технічних університетів у різних регіонах світу у статті визначено ключові застосування штучного інтелекту. Дослідження показує, що технології ШІ пропонують суттєві переваги для студентів технічних спеціальностей, однак упровадження також стикається зі значними труднощами. Дослідження демонструє, що успішна інтеграція штучного інтелекту

© Golub T. P., Kovalenko O. O., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

в програми англійської мови технічних університетів потребує комплексних інституційних рішень, що поєднують чіткі педагогічні цілі, адекватну технологічну інфраструктуру, систематичний професійний розвиток викладачів, навчання цифровій грамотності студентів і постійну оцінку результатів навчання. Порівняльний аналіз між установами показує, що технічні університети Азіатсько-Тихоокеанського регіону демонструють особливо високі показники впровадження платформ для вивчення англійської мови на основі штучного інтелекту, тоді як європейські та північноамериканські установи наголошують на критичній оцінці результатів ШІ та етичних принципах його застосування. У дослідженні зроблено висновок, що технології штучного інтелекту за умови продуманого впровадження можуть значно покращити результати вивчення англійської мови для студентів технічних спеціальностей, забезпечуючи персоналізоване навчання, сприяючи автономному навчанню та готуючи студентів до контекстів професійного спілкування, інтегрованих зі ШІ. Однак ефективність критично залежить від підтримки належного балансу між технологічними інструментами та педагогічним керівництвом викладача, що дає можливість штучному інтелекту слугувати доповненням, а не заміною кваліфікованого викладання мов. Результати дослідження сприяють розвитку наукових досліджень щодо технологічно вдосконаленого вивчення мов.

Ключові слова: штучний інтелект, викладання англійської мови, технічний університет, англійська мова для спеціальних цілей, інженерна освіта.

Introduction. The rapid development of artificial intelligence (AI) technologies has boosted huge transformation in educational practices across disciplines and institutional contexts. Within technical universities, institutions primarily focused on engineering, technology, applied sciences, and related fields, the integration of artificial intelligence into English language teaching represents particularly significant development with the implications for student learning outcomes and professional preparation. Technical university students face distinctive English language learning challenges because of their need to master both general academic English proficiency and highly specialized technical vocabulary, develop communication skills for international professional contexts, balance language learning with demanding technical coursework, and prepare for careers characterized by AI-integrated communication technologies.

Nowadays, English language proficiency has become essential competency for technical professionals in globalized world where international collaboration, cross-border projects, technical documentation, and multinational corporate environments demand effective communication skills. Engineering and technology graduates must navigate complex communication scenarios including presenting technical information to diverse audiences, collaborating with international teams, producing technical documentation meeting international standards, and adapting communication styles across cultural and professional contexts. Traditional English language teaching at technical universities has struggled to adequately address these multifaceted requirements within constraints of limited contact hours, large class sizes, diverse student proficiency levels, and the need to balance linguistic development with technical content mastery.

Artificial intelligence technologies offer potential solutions to these persistent challenges through capabilities that enable personalized adaptive teaching responsive to individual learner needs, scalable delivery of language practice opportunities beyond classroom constraints, immediate automated feedback on linguistic performance, authentic simulation of professional communication contexts, and data-driven insights into learning progress and outcomes. The emergence of sophisticated AI applications including large language models like ChatGPT, intelligent tutoring systems, adaptive learning platforms, automated writing evaluation tools, and conversational AI agents has created unprecedented opportunities for enhancing English language education at technical universities worldwide.

However, AI integration into language teaching also raises important questions and challenges requiring careful consideration. Concerns include maintaining appropriate pedagogical balance between technological tools and human teaching, ensuring equitable access across students, addressing academic integrity issues related to AI-assisted work, developing faculty capacity for effective AI

integration, and evaluating actual learning outcomes versus technological enthusiasm. Understanding both the opportunities and challenges of AI implementation in technical university English programs is essential for institutional leaders, language teachers, and policymakers seeking to implement these technologies effectively while avoiding potential pitfalls.

The research examines the current state of AI usage in English language teaching at technical universities in different countries and regions. The study aims to provide insights that can inform institutional decision-making and guide effective AI integration strategies tailored to distinctive contexts and needs of technical higher education institutions.

Analysis of Research and Publications. The scholarly literature on AI in English language teaching at technical universities has expanded significantly in recent years, reflecting both growing institutional adoption and increasing research attention to this phenomenon. The research indicates that AI-powered tools enhance personalized learning by adapting content and pacing to individual student performance, improving vocabulary acquisition, pronunciation, and learner motivation [9; 14]. Studies in various countries, including Nepal, Azerbaijan, India, and Nigeria, reveal positive impacts on learner autonomy and proficiency while highlighting concerns related to ethical implications, job displacement fears, and digital literacy gaps [10; 12]. Comprehensive reviews underscore scepticism about AI adoption but recognize its potential to transform EFL teaching by offering real-life simulation environments and interactive practice [1; 2; 6]. Recent advancements also integrate data science and IoT technologies, enhancing adaptive feedback and improving English classroom engagement and fluency [8; 13].

Recent research has focused particularly on generative AI applications following the release of ChatGPT and similar large language models. Chugai O. and Havrylenko K. [3] investigated attitudes of technical university students and teachers at National Technical University of Ukraine toward ChatGPT usage in English for Engineering classes. Their study revealed that students exhibited predominantly positive attitudes toward ChatGPT as learning tool. Teachers demonstrated more neutral stance, acknowledging potential benefits while expressing concerns about academic integrity and appropriate pedagogical integration. This attitudinal divergence between students and faculty represents common pattern across multiple studies, suggesting need for aligned expectations and clear guidance regarding AI tool usage.

Research by Zawacki-Richter [15] and colleagues conducted systematic review of AI applications in higher education, identifying that adaptive learning systems represent particularly prevalent implementation in language education contexts. Their analysis documented various AI-powered platforms designed specifically for language learning including intelligent tutoring systems providing personalized feedback, adaptive content delivery systems adjusting difficulty based on learner performance, and automated assessment tools evaluating written and spoken language production.

Comparative research reveals significant variation in AI adoption patterns across different geographical and institutional contexts. Studies indicate that technical universities in Asia-Pacific regions, particularly China, South Korea, and Singapore, demonstrate high levels of AI integration in English programs driven by governmental policies promoting educational technology, substantial infrastructure investments, and cultural comfort with technology-mediated learning [7]. Research from these contexts emphasizes AI's role in addressing large class sizes and enabling personalized teaching at scale.

European technical universities show more cautious adoption patterns with emphasis on critical evaluation of AI outputs, ethical considerations in AI usage, and maintaining human-centered pedagogy. This approach reflects European regulatory frameworks on AI [4] including concerns about data privacy and algorithmic accountability.

North American technical institutions demonstrate varied adoption with some universities (particularly larger research universities) implementing comprehensive AI-enhanced language programs while others maintain traditional approaches [11]. Research from North American contexts empha-

sizes importance of academic freedom allowing individual faculty to determine appropriate AI integration for their courses rather than mandated institutional approaches.

These cross-cultural variations suggest that effective AI integration must be contextualized to institutional missions, regional regulatory environments, available resources, and cultural norms regarding technology in education rather than applying universal models across diverse contexts.

Materials and Methods. This research employed a mixed-methods approach combining the literature review, and synthesis of empirical findings to examine AI usage in English language teaching at technical universities in different countries and regions. The search strategy encompassed multiple academic databases including Scopus, Web of Science, ERIC (Education Resources Information Centre), IEEE Xplore (for technical education research), and Google Scholar. Search terms combined variations of “artificial intelligence”, “AI”, “intelligent tutoring systems” with “English language teaching”, “English for Specific Purposes”, “ESP”, “language learning”, “technical university”, “engineering education”, “technical students”, and related terms.

Inclusion criteria specified peer-reviewed journal articles, conference proceedings, and institutional reports published between 2013 and 2025 (focusing on recent developments while capturing pre-ChatGPT baseline and post-generative-AI developments), focusing on higher education contexts particularly technical universities or engineering programs, addressing English language teaching specifically rather than general educational AI applications, and providing empirical data, theoretical frameworks, or substantive analysis.

Several methodological limitations warrant acknowledgment. The rapid pace of AI technological development means that findings represent snapshot of current state that will require updating as technologies and practices evolve. The literature search was limited to English-language publications, potentially missing relevant research published in other languages particularly from non-English-speaking countries with high AI adoption. Publication bias toward positive findings may mean that unsuccessful implementations or negative outcomes are underrepresented in available literature. The comparative institutional analysis relied on publicly available information and published research rather than comprehensive internal evaluation data from institutions.

Despite these limitations, the methodology provides robust foundation for understanding current state of AI in technical university English programs and identifying trends, opportunities, and challenges relevant to institutional practice and policy development.

Discussion. The analysis of the studied literature and institutional practices’ research reveals the picture of AI integration in technical university English study programs characterized by substantial potential alongside significant challenges. Perhaps the most compelling opportunity offered by AI in technical English education is capacity to provide personalized teaching. Technical universities typically enrol students with widely varying English proficiency levels ranging from near-beginner to advanced, diverse educational backgrounds in language learning, different technical specializations requiring distinct specialized vocabularies, and varying motivations and career goals affecting their engagement with language study.

Traditional classroom teaching struggles to effectively address this heterogeneity within typical constraints of large class sizes, limited contact hours, and single teacher responsible for all students. AI technologies enable differentiation that would be impractical for human teachers alone through adaptive content delivery adjusting difficulty based on real-time performance assessment, personalized practice recommendations targeting individual students’ specific weaknesses, flexible pacing allowing students to progress at appropriate speed rather than uniform class pace, and customized vocabulary development aligned with students’ specific technical fields.

Research evidence suggests that this personalization yields measurable benefits. Studies document that students using adaptive AI platforms show greater improvement in targeted skills compared to students receiving undifferentiated teaching, report higher engagement and motivation when receiving

appropriately challenging content, and demonstrate better retention of material learned through personalized spaced repetition algorithms. However, effectiveness depends critically on quality of the adaptive algorithms, appropriateness of the content database from which personalized materials are drawn, and integration of adaptive technology within broader curriculum rather than as isolated supplementary tool.

AI technologies, particularly conversational agents and intelligent tutoring systems, enable practice opportunities and immediate feedback that complement and extend what human teachers can provide. For technical students needing to develop professional communication competence, AI offers several distinctive advantages.

Thus, conversational AI agents allow students to practice professional English communication without fear of judgment or embarrassment that may inhibit participation in classroom settings. Students can make mistakes, receive feedback, and try again repeatedly without social consequences, that is particularly valuable for students from cultures where saving face is important or for students with high language anxiety. Research indicates that students report feeling more comfortable practicing speaking with AI than with human conversation partners, leading to increased practice time and corresponding skill development.

The immediate feedback capability of AI systems addresses significant limitation of traditional teaching where students often receive delayed feedback on assignments, potentially reinforcing errors. AI-powered writing evaluation tools can provide instant feedback on grammar, vocabulary usage, organization, and style, enabling students to revise and improve their work in real-time rather than waiting days or weeks for teacher evaluation. Similarly, pronunciation feedback systems can immediately identify specific phonological errors and provide targeted practice, accelerating spoken English development.

However, research also documents important limitations of current AI feedback systems. AI evaluation sometimes focuses excessively on surface-level features, like grammar or vocabulary, while missing higher-order issues of argumentation, coherence, or rhetorical appropriateness. In technical writing contexts, AI systems may misunderstand domain-specific terminology or conventions, providing inappropriate feedback. Students may over-rely on AI feedback without developing their own self-assessment capabilities. These limitations suggest that AI feedback should complement rather than replace human teacher feedback, with clear guidance to students about each feedback source's strengths and appropriate uses.

For English for Specific Purposes teaching in technical universities, AI tools offer significant potential for addressing challenge of developing appropriate materials. ESP requires content that combines appropriate linguistic difficulty with relevant technical subject matter, addresses specific vocabulary and communication patterns of particular professional fields, and remains current with evolving technical developments and professional practices. Traditional ESP materials development is time-intensive and requires both language teaching expertise and technical domain knowledge.

AI content generation tools enable ESP teachers to more efficiently create customized materials by adapting authentic technical texts to appropriate language levels, generating practice exercises targeting specific linguistic features, creating simulated professional communication scenarios, and developing vocabulary lists tailored to students' technical specializations. Research indicates that AI-generated ESP materials, when appropriately reviewed and adapted by human teachers, can significantly reduce preparation time while maintaining or improving material quality and relevance.

However, important warnings emerge from implementation experiences. AI-generated technical content requires careful expert review for accuracy, generative AI systems sometimes produce plausible-seeming but technically incorrect information that could mislead students. Cultural appropriateness of AI-generated scenarios should be evaluated, as AI training data may reflect cultural assumptions not applicable to specific student populations. Over-reliance on AI-generated materials risks

homogenization of curriculum, potentially losing valuable diversity that comes from teachers' varied approaches and perspectives.

Results. The synthesis of research literature and institutional practices brought us to several key findings regarding AI usage in English language teaching at technical universities worldwide.

Thus, it was found out that AI integration in technical university English programs shows widespread growth globally but with significant variation across regions and institutions. Asian-Pacific technical universities, for instance, demonstrate highest adoption rates driven by governmental policies and infrastructure investments. At the same time, European institutions show more measured adoption emphasizing ethical considerations. North American institutions display varied patterns with elite research universities leading adoption while others maintain traditional approaches.

As for the factor of diversity of AI applications, it was discovered that technical universities implement wide range of AI applications in English programs including adaptive learning platforms (most mature and widely adopted), conversational AI agents for speaking practice (rapidly growing but with acknowledged limitations), automated writing evaluation (established but requiring human complement), intelligent tutoring systems (promising but requiring substantial institutional investment), and generative AI for content creation (newest and most controversial). Each application type demonstrates distinct strengths, limitations, and use cases.

Also, the research consistently indicates that technical students demonstrate positive attitudes toward AI-enhanced English learning, appreciating immediate feedback, flexibility for self-paced learning, reduced anxiety in practice contexts, and technology-mediated approach aligning with their preferences. The findings demonstrate that AI-powered platforms improve vocabulary acquisition, pronunciation, and learner engagement significantly, with measurable academic outcomes in EFL instruction at technical universities globally [5; 10]. However, students also express concerns about over-reliance, desire for human teacher interaction, and recognition that AI feedback sometimes lacks nuance or cultural appropriateness.

As for the warning, the empirical studies document measurable learning gains associated with well-implemented AI-enhanced English teaching including improved vocabulary acquisition through adaptive platforms, enhanced pronunciation through AI feedback systems, increased writing practice and improvement through automated evaluation, and greater student engagement in self-directed learning. However, effectiveness varies significantly based on implementation quality, most studies examine short-term rather than long-term outcomes.

Despite documented benefits, institutions report consistent challenges including technical infrastructure limitations particularly in resource-constrained settings, pedagogical integration complexity and faculty preparation gaps, academic integrity concerns requiring policy development, equity issues related to differential technology access, and difficulty evaluating actual learning outcomes versus technological enthusiasm. Successful institutions address these challenges through systematic planning rather than ad-hoc adoption.

The research also strongly indicates that effective AI integration maintains appropriate balance between technological tools and human pedagogical guidance. AI assists teachers by automating error detection, plagiarism checking, and providing immediate feedback, improving teaching efficiency. AI proves most effective when complementing rather than replacing skilled language teaching, providing scalable practice and feedback while teachers focus on higher-order skills, complex feedback, and relationship-building.

We must also admit that the strategies that prove effective in one institutional context may not transfer directly to others. Successful AI integration requires attention to specific student populations' needs and preferences, available technical and financial resources, institutional culture and mission, regulatory environment and accreditation requirements, and faculty expertise and readiness. One-size-fits-all approaches prove consistently ineffective.

Besides, AI technologies continue evolving rapidly with new capabilities and applications emerging frequently. Institutions taking rigid approaches to AI integration face obsolescence as technologies advance, while those establishing adaptive governance structures enabling regular evaluation and refinement demonstrate greater sustainability. Effective institutions treat AI integration as ongoing process requiring continuous learning rather than one-time implementation.

These findings suggest that AI technologies offer huge potential for enhancing English language education at technical universities but that realizing this potential requires thoughtful implementation attending to pedagogical principles, equity considerations, and ongoing evaluation rather than simple technological adoption.

Conclusions and Recommendations. The analysis of AI usage in English language teaching at technical universities reveals a field in dynamic transition, characterized by substantial opportunities alongside significant challenges requiring careful institutional navigation. AI technologies have moved beyond experimental status to become established components of language education at technical universities worldwide. The question facing institutions is no longer whether to integrate AI but rather how to do so effectively, equitably, and pedagogically soundly. This shift from optional experimentation to practical necessity reflects both technological advancement and changing expectations of students who increasingly view AI as standard learning tool.

Besides, effective AI integration in technical university English programs requires moving beyond purely technological perspectives to embrace fundamentally pedagogical approaches. The research clearly demonstrates that AI tools themselves are neither inherently beneficial nor harmful, rather, their educational impact depends entirely on quality of implementation, pedagogical design, and integration within broader curriculum. Institutions must therefore prioritize pedagogical planning and faculty development equally with technological infrastructure development.

Furthermore, the distinctive context of technical universities, including students' technical backgrounds, career preparation needs, comfort with technology, and the importance of English for Specific Purposes, creates both unique opportunities and specific challenges for AI integration. Technical students' familiarity with technology and interest in innovation can facilitate adoption, while their need for highly specialized vocabulary and authentic professional communication practice aligns well with AI capabilities. However, ensuring that AI systems adequately address technical domain specificity and professional communication norms requires careful attention and customization.

And at last, equity considerations must remain central to institutional AI implementation strategies. The risk that AI integration could extend existing educational inequalities – between well-resourced and under-resourced institutions, between students with different technology access, between native and non-native English speakers – is substantial and requires proactive mitigation through equitable access policies, comprehensive support structures, and ongoing monitoring of differential impacts.

Bibliography:

1. Alshumaimeri Y. A., Alshememry A. K. The Extent of AI Applications in EFL Learning and Teaching. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2023. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1109/tlt.2023.3322128>.
2. Anggraini A., Faisal F. The Use of Artificial Intelligence Based Technology in English Language Teaching. *Golden Ratio of Data in Summary*. 2024. Vol. 4, no. 2. P. 950–957. URL: <https://doi.org/10.52970/grdis.v4i2.749>.
3. Chugai O., Havrylenko K. CHATGPT: ATTITUDES AND EXPERIENCES OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS IN UKRAINE. *Information Technologies and Learning Tools*. 2024. Vol. 101, no. 3. P. 15–27. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v101i3.5559>.
4. European regulatory frameworks on AI. URL: <https://ennhri.org/ai-resource/european-regulatory-frameworks-on-ai/>.
5. Fei Y., Petrina S. Using learning analytics to understand the design of an intelligent language tutor – Chatbot Lucy. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2013. Vol. 4 (11). URL: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2013.04111>.

6. Golub T., Kovalenko O. The role of AI in English language teaching within technical universities. *Acta Paedagogica Volyniensis*. 2025. No. 3. P. 74-79. DOI: <https://doi.org/10.32782/apv/2025.3.11>.
7. Gosztanyi M. AI's Impact on Higher Education and Academic Publishing in Asia: Insights from China, South Korea and Singapore. In *Future of Education in Asia*. 2026. P. 115–143. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-032-07285-6_6.
8. Li Y. The Digital Transformation of College English Classroom: Application of Artificial Intelligence and Data Science. *ICST Transactions on Scalable Information Systems*. 2024. URL: <https://doi.org/10.4108/eetsis.5636>.
9. Parraga A. P. B., Ramírez E. A. C., Macias K. J. A., Madrid C. A. C., Del Carmen Valarezo Espinoza B., Alcivar J. G. V., Cedeño J. U. C. The impact of artificial intelligence on personalized learning in English language education. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2025. Vol. 9 (1). P. 5500–5518. URL: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16234.
10. Safarli N. T., Jafarova I. M., Nazirzada L. N., Jumayeva L., Deepa B., Antar D., Mehdizade N. S. Foreign language proficiency among EFL students in higher education and usage of artificial intelligence. *Forum for Linguistic Studies*. 2025. Vol. 7 (8). P. 646–665. URL: <https://doi.org/10.30564/fls.v7i8.11067/>.
11. Suttedjo A., Liu S. P., Chowdhury M. Generative AI in higher education: A cross-institutional study on faculty preparation and resources. *Studies in Technology Enhanced Learning*. 2025. Vol. 4, no. 1. URL: <https://doi.org/10.21428/8c225f6e.955a547e>.
12. Tiwari H. P. Artificial Intelligence in the Classroom: Revolutionizing English Language Teaching. *Journal of English Teaching and Linguistics Studies (JET Li)*. 2024. Vol. 6, no. 1. P. 42–59. URL: <https://doi.org/10.55215/jetli.v6i1.9757>.
13. Umar U. Advancements in English Language Teaching: Harnessing the Power of Artificial Intelligence. *FLIP Foreign Language Instruction Probe*. 2024. Vol. 3, no. 1. P. 29–42. URL: <https://doi.org/10.54213/flip.v3i1.402>.
14. Wang Y., Wu J., Chen F., Wang Z., Li J., Wang L. Empirical Assessment of AI-Powered Tools for Vocabulary Acquisition in EFL Instruction. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 131892–131905. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2024.3446657>.
15. Zawacki-Richter O., Marín V. I., Bond M., Gouverneur F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2019. Vol. 16(1). URL: <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>.

References:

1. Alshumaimeri, Y.A., & Alshememry, A.K. (2023). The extent of AI applications in EFL learning and teaching. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 653–663. <https://doi.org/10.1109/tlt.2023.3322128> [in English].
2. Anggraini, A., & Faisal, F. (2024). The use of artificial intelligence based technology in English language teaching. *Golden Ratio of Data in Summary*, 4 (2), 950–957. <https://doi.org/10.52970/grdis.v4i2.749> [in English].
3. Chugai, O., & Havrylenko, K. (2024). ChatGPT: attitudes and experiences of technical university students in Ukraine. *Information Technologies and Learning Tools*, 101 (3), 15–27. <https://doi.org/10.33407/itlt.v101i3.5559> [in English].
4. ENNHRI. (2025, January 31). *European regulatory frameworks on AI – ENNHRI*. ENNHRI. <https://ennhri.org/ai-resource/european-regulatory-frameworks-on-ai/> [in English].
5. Fei, Y., & Petrina, S. (2013). Using learning analytics to understand the design of an intelligent language tutor – Chatbot Lucy. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 4 (11). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2013.04111> [in English].
6. Golub, T., Kovalenko O. (2025) The role of AI in English language teaching within technical universities. *Acta Paedagogica Volyniensis*, 3, 74–79. DOI: <https://doi.org/10.32782/apv/2025.3.11> [in English].
7. Gosztanyi, M. (2026). AI's Impact on Higher Education and Academic Publishing in Asia: Insights from China, South Korea and Singapore. In *Future of Education in Asia* (pp. 115–143). https://doi.org/10.1007/978-3-032-07285-6_6 [in English].
8. Li, Y. (2024). The Digital transformation of College English Classroom: application of artificial intelligence and data science. *ICST Transactions on Scalable Information Systems*, 11(5). <https://doi.org/10.4108/eetsis.5636> [in English].

9. Parraga, A.P.B., Ramírez, E.A.C., Macias, K.J.A., Madrid, C.A.C., Del Carmen Valarezo Espinoza, B., Alcivar, J.G.V., & Cedeño, J.U.C. (2025). The impact of artificial intelligence on personalized learning in English language education. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9 (1), 5500–5518. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16234 [in English].

10. Safarli, N.T., Jafarova, I.M., Nazirzada, L.N., Jumayeva, L., Deepa, B., Antar, D., & Mehdizade, N.S. (2025). Foreign language proficiency among EFL students in higher education and usage of artificial intelligence. *Forum for Linguistic Studies*, 7 (8), 646–665. <https://doi.org/10.30564/fls.v7i8.11067/> [in English].

11. Sutedjo, A., Liu, S.P., & Chowdhury, M. (2025). Generative AI in Higher Education: a cross-institutional study on faculty preparation and resources. *Studies in Technology Enhanced Learning*, 4 (1). <https://doi.org/10.21428/8c225f6e.955a547e> [in English].

12. Tiwari, H.P. (2024). Artificial intelligence in the classroom: Revolutionizing English language teaching. *Journal of English Teaching and Linguistics Studies (JET Li)*, 6 (1), 42–59. <https://doi.org/10.55215/jetli.v6i1.9757> [in English].

13. Umar, U. (2024). Advancements in English language Teaching: Harnessing the power of Artificial Intelligence. *FLIP Foreign Language Instruction Probe*, 3 (1), 29–42. <https://doi.org/10.54213/flip.v3i1.402> [in English].

14. Wang, Y., Wu, J., Chen, F., Wang, Z., Li, J., & Wang, L. (2024). Empirical Assessment of AI-Powered Tools for Vocabulary Acquisition in EFL Instruction. *IEEE Access*, 12, 131892–131905. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3446657> [in English].

15. 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). <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 37.02:372.853

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-4>

STEM-КЛАСТЕР ЯК ФОРМА ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА У ПРОФІЛЬНОМУ НАВЧАННІ ФІЗИКИ АКАДЕМІЧНОГО РІВНЯ

Донець Наталія Володимирівна,

аспірантка кафедри математики, фізики та методик викладання

Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0002-0989-531X

У статті здійснено теоретичне обґрунтування STEM-кластера як форми організації освітнього середовища у профільному навчанні фізики академічного рівня. Актуальність дослідження зумовлена впровадженням профільної середньої освіти та необхідністю пошуку ефективних моделей інтеграції змісту навчання, педагогічних технологій і цифрових ресурсів з метою формування STEM-компетентності здобувачів освіти. Обґрунтовано, що застосування кластерного підходу дає можливість інтерпретувати освітнє середовище не як сукупність окремих умов, а як цілісну, структуровану організовану систему взаємопов'язаних компонентів, об'єднаних спільною метою та логікою функціонування.

У дослідженні проаналізовано наукові підходи до тлумачення поняття «кластер» у міждисциплінарному контексті та визначено особливості його адаптації до освітньої сфери. Уточнено сутність STEM-кластера як цілісної, відкритої та динамічної моделі організації освітнього середовища, орієнтованої на інтеграцію змісту фізики з математичними, технологічними та інженерними компонентами на засадах міждисциплінарності, дослідницької та проєктної діяльності з використанням цифрових технологій.

Головним здобутком дослідження є розроблення структурно-функціональної моделі формування STEM-компетентності учнів у профільному навчанні фізики в умовах STEM-кластера. Модель охоплює теоретико-методологічний, концептуально-змістовий, проєктувально-діяльнісний і моніторингово-результативний рівні та відображає логіку проєктування, реалізації та оцінювання освітнього процесу. Обґрунтовано, що середовище STEM-кластера виступає активним чинником організації навчання, який забезпечує педагогічні умови для формування когнітивного, діяльнісного, мотиваційного та рефлексивного компонентів STEM-компетентності учнів профільної школи.

Ключові слова: STEM-освіта, STEM-кластер, освітнє середовище, профільне навчання фізики, STEM-компетентність, цифрові технології.

Donets Nataliia. STEM cluster as a form of educational environment organization in academic level physics profile education

The article provides a theoretical substantiation of the STEM cluster as a form of organizing the educational environment in specialized physics education at the academic level. The relevance of the study is determined by the implementation of specialized secondary education and the need to identify effective models for integrating educational content, pedagogical technologies, and digital resources aimed at developing students' STEM competencies. It is shown that the cluster approach makes it possible to interpret the educational environment not as a set of isolated conditions, but as a holistic, structurally organized system of interrelated components united by a common goal and functional logic.

The study analyzes scientific approaches to interpreting the concept of a "cluster" in an interdisciplinary context and identifies the features of its adaptation to the educational sphere. The essence of the STEM cluster is clarified as a holistic, open, and dynamic model of organizing the educational environment focused on integrating physics content with mathematical, technological, and engineering components based on interdisciplinarity, research and project-based activities, and the use of digital technologies and computer modeling tools.

The main result of the study is the development of a structural and functional model for the formation of STEM competencies of students in specialized physics education at the academic level under STEM cluster conditions.

© Донець Н. В., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

The proposed model includes theoretical and methodological, conceptual and content-based, design and activity-oriented, as well as monitoring and result-oriented levels and reflects the logic of designing, implementing, and evaluating the educational process. It is substantiated that the STEM cluster environment acts as an active factor in organizing learning activities, providing pedagogical conditions for the formation of cognitive, activity-based, motivational, and reflective components of students' STEM competence.

Key words: STEM education, STEM cluster, educational environment, specialized physics education, STEM competence, digital technologies.

Вступ. Сучасний етап розвитку загальної середньої освіти в Україні характеризується трансформацією змісту, структури та форм організації освітнього процесу відповідно до засад компетентнісного підходу та цифровізованого суспільства. Тож особливої значущості набуває впровадження профільної середньої освіти, орієнтованої на поглиблене вивчення навчальних предметів і підготовку учнів до свідомого вибору майбутньої професійної траєкторії. Нормативні положення наказу про затвердження типової освітньої програми для 10–12 класів закладів загальної середньої освіти [7] передбачають, що в межах профільної середньої освіти академічного спрямування профілі навчання вибудовуються на основі освітніх галузей, структурованих у три кластери: мовно-літературний, соціально-гуманітарний та STEM-кластер.

Академічні ліцеї можуть формувати моногалузеві та багатогалузеві профілі [7]. Сутність моногалузевих профілів полягає у зосередженні освітнього процесу на поглибленому вивченні предметів однієї галузі. У такому разі моногалузевий STEM-кластер охоплює профілі, орієнтовані на поглиблене вивчення математики та фізики, поглиблене вивчення хімії та біології, поглиблене вивчення інформатики, математики, технологій, а також їх різних поєднань у межах моногалузевих і багатогалузевих профілів [7].

Така організація профільного навчання зумовлює потребу в переосмисленні традиційних підходів до організації освітнього середовища та пошуку нових моделей, здатних забезпечити інтеграцію навчального змісту, педагогічних технологій і цифрових ресурсів з метою формування STEM-компетентності учнів.

У цьому контексті актуалізується кластерний підхід, який створює підґрунтя для розгляду освітнього середовища не лише як сукупності умов і ресурсів, а як цілісну структуровану систему взаємозалежних складників, об'єднаних єдиною метою та логікою функціонування [11].

Перехід від поняття «освітнє середовище» до поняття «освітній кластер» відкриває можливість для системної інтеграції навчальних предметів STEM-циклу, які відповідають науковому спрямуванню, цифрових технологій, форм організації навчання та соціального партнерства, що є особливо важливим у профільному навчанні фізики академічного рівня.

Попри зростання уваги до STEM-освіти та кластерних моделей організації освітнього процесу, в сучасному науково-педагогічному дискурсі відсутнє унормоване визначення поняття «STEM-кластер», а також недостатньо розробленими залишаються питання його структури, функцій і педагогічного потенціалу в умовах профільної школи [8; 9].

Метою статті є теоретичне обґрунтування сутності STEM-кластера як форми організації освітнього середовища у профілі з поглибленим вивченням фізики академічного рівня та визначення його структурно-функціональних характеристик у контексті формування STEM-компетентності здобувачів освіти.

Аналіз досліджень і публікацій. У наукових дослідженнях освітнє середовище розглядається як багатовимірною педагогічною системою, що поєднує матеріальні, інформаційні, соціальні й організаційні умови реалізації освітнього процесу. Водночас у міждисциплінарному науковому дискурсі все більшого поширення набуває кластерний підхід, який використовується для опису інтегрованих об'єднань суб'єктів, ресурсів і процесів, що взаємодіють на основі спільних цілей та підсилюють ефективність один одного [11].

Історично ідеї освітньої кластеризації були започатковані у Великій Британії та Індії у 1940-х роках з метою об'єднання ресурсів сільських шкіл і підвищення якості освіти. Класична модель освітнього кластера передбачала об'єднання кількох навчальних закладів навколо центральної школи, яка виконувала функції ресурсного центру та координатора освітньої діяльності [11].

Термін «кластер» має багатозначний характер і використовується в різних галузях знань. У Великому тлумачному словнику сучасної української мови [2] кластер трактується як об'єднання елементів, пов'язаних спільними ознаками або взаємодією, що уможлиблює його застосування в інформатиці, статистиці, музиці та фізиці.

Аналіз нормативно-правових актів у сфері освіти України засвідчує відсутність унормованого визначення поняття «кластер» у законодавстві [6; 8].

Водночас у наукових дослідженнях освітній кластер розглядається як форма кооперації суб'єктів освітньої діяльності. Так, І. М. Буднікевич та Н. В. Романюк [1] визначають освітній кластер як мережу взаємопов'язаних суб'єктів регіону, що об'єднують ресурси й зусилля для досягнення спільних освітніх цілей.

Подібну позицію займає Н. Клокар [5], яка розглядає освітній кластер як сукупність освітніх, господарських і громадських організацій, об'єднаних із метою інноваційного розвитку та підвищення якості освіти.

У міжнародному контексті кластерний підхід реалізується в діяльності Глобального кластера освіти [12], де кластер освіти визначається як організована мережа партнерів, що забезпечує скоординоване реагування на освітні потреби населення, зокрема в умовах кризових ситуацій.

У методичних рекомендаціях щодо формування профілів навчання в академічних ліцеях [10] STEM-кластер розглядається як напрям навчання, орієнтований на розвиток математичного й наукового мислення, цифрової грамотності та готовності учнів до продовження освіти та майбутньої професійної діяльності у STEM-сферах.

Таким чином, аналіз наукових джерел засвідчує наявність різноаспектних підходів до тлумачення поняття «кластер» та його використання в освітній сфері, водночас відсутнім залишається цілісне теоретичне обґрунтування STEM-кластера як форми організації освітнього середовища саме у профілі з поглибленим вивчення фізики академічного рівня. Це зумовлює потребу в уточненні сутності STEM-кластера, визначенні його структурно-функціональних характеристик і розробленні відповідної моделі формування STEM-компетентності учнів профільної школи.

Матеріали та методи. Метою цієї роботи є теоретичне обґрунтування STEM-кластера як форми організації освітнього середовища у профілі з поглибленим вивченням фізики академічного рівня та визначення його структурно-функціональних характеристик у контексті формування STEM-компетентності здобувачів освіти.

У процесі дослідження використано методи теоретичного аналізу, систематизації та узагальнення наукових і методичних джерел з проблеми STEM-освіти, кластерного підходу й організації освітнього середовища; аналіз нормативно-правових документів у сфері профільної середньої освіти та STEM-навчання; порівняльно-аналітичний метод для зіставлення підходів до трактування понять «освітній кластер» і «STEM-кластер»; метод теоретичного моделювання для розроблення структурно-функціональної моделі формування STEM-компетентності учнів у профілі з поглибленим вивченням фізики академічного рівня; структурно-функціональний аналіз для визначення взаємозв'язків між компонентами STEM-кластера та їх ролі у формуванні STEM-компетентності.

Результати. За результатами теоретичного аналізу обґрунтовано доцільність переходу від розгляду освітнього середовища як сукупності умов до його інтерпретації як кластерної струк-

тури, що забезпечує системну інтеграцію змісту навчання, педагогічних технологій, цифрових ресурсів і соціального партнерства. Зазначений підхід узгоджується із сучасними тенденціями розвитку профільної освіти та STEM-орієнтованого навчання [11].

На основі узагальнення наукових підходів і нормативних положень визначено STEM-кластер як цілісну, відкриту та динамічну систему, що об'єднує навчальні предмети STEM-циклу, педагогічні технології, цифрові засоби, матеріально-технічні ресурси, суб'єктів освітнього процесу та соціальних партнерів з метою інтегрованого формування STEM-компетентності здобувачів освіти [1].

У дослідженні уточнено авторське визначення STEM-кластера профілю з поглибленим вивченням фізики академічного рівня як **цілісної, відкритої та динамічної моделі організації освітнього середовища**, що забезпечує системну інтеграцію змісту фізики з математичними, природничими, технологічними та інженерними компонентами на засадах міждисциплінарності, дослідницької та проєктної діяльності з використанням цифрових технологій і засобів комп'ютерного моделювання з метою цілеспрямованого формування STEM-компетентності учнів.

На відміну від традиційного освітнього середовища, STEM-кластер характеризується міждисциплінарною інтеграцією змісту навчання, проєктно-дослідницькою спрямованістю освітнього процесу, активним використанням цифрових технологій та орієнтацією на реальні наукові, технологічні й інженерні задачі [10].

У межах дослідження розроблено структурно-функціональну модель формування STEM-компетентності учнів у профільному навчанні фізики в умовах STEM-кластера (рис. 1). Модель охоплює чотири взаємопов'язані рівні: теоретико-методологічний, концептуально-змістовий, проєктувально-діяльнісний і моніторингово-результативний. Запропонована модель відображає цілісну логіку проєктування, реалізації та оцінювання освітнього процесу.

Теоретико-методологічний рівень моделі визначає мету формування STEM-компетентності учнів і ґрунтується на компетентнісному, системному, діяльнісному, STEM-орієнтованому та цифрово-орієнтованому підходах.

Концептуально-змістовий рівень передбачає моделювання середовища STEM-кластера профілю з поглибленим вивченням фізики, у межах якого інтегруються змістовий, діяльнісний, цифрово-технологічний, організаційно-педагогічний і соціально-партнерський компоненти.

Проєктувально-діяльнісний рівень забезпечує реалізацію моделі через діагностику початкового рівня сформованості STEM-компетентності, проєктування та впровадження STEM-діяльності з фізики, а також корекцію результатів навчання.

Моніторингово-результативний рівень спрямований на оцінювання сформованості STEM-компетентності учнів за когнітивним, діяльнісним, мотиваційним і рефлексивним критеріями з виокремленням базового, достатнього та високого рівнів.

Отримані результати засвідчують, що середовище STEM-кластера у профільному навчанні фізики академічного рівня виступає активним чинником організації освітнього процесу, забезпечуючи педагогічні умови для інтегрованого формування STEM-компетентності учнів.

Висновки. У статті доведено доцільність застосування кластерного підходу до організації освітнього середовища профільного навчання фізики академічного рівня в умовах реалізації STEM-освіти. Показано, що інтерпретація освітнього середовища як кластерної структури забезпечує системну інтеграцію змісту навчання, педагогічних технологій, цифрових засобів і соціального партнерства та створює педагогічні передумови для формування STEM-компетентності учнів.

Уточнено сутність STEM-кластера як цілісної, відкритої та динамічної моделі організації освітнього середовища, орієнтованої на міждисциплінарну інтеграцію змісту фізики з математичними, природничими, технологічними й інженерними компонентами на засадах дослідницької та проєктної діяльності із застосуванням цифрових технологій.

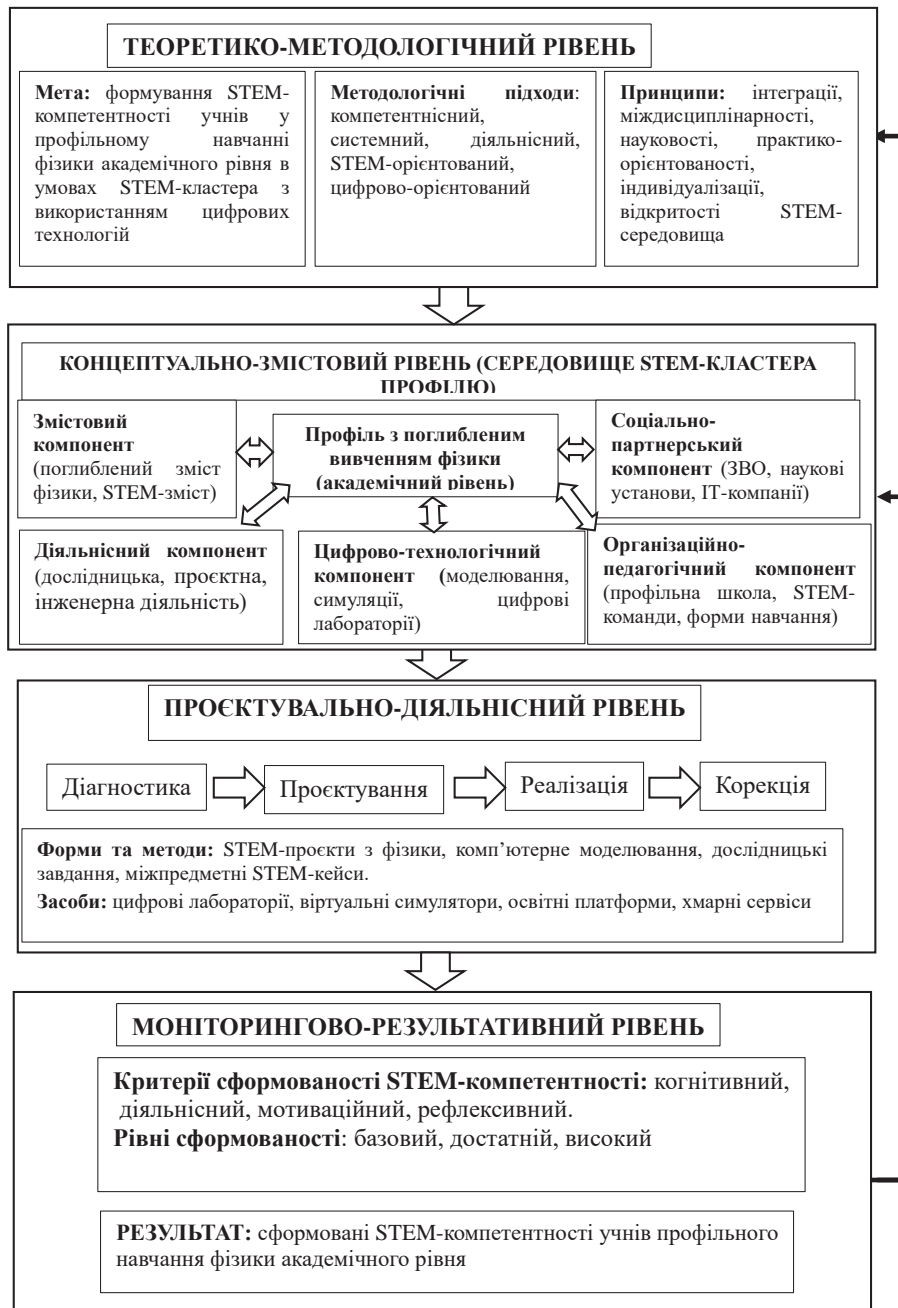


Рис. 1. Структурно-функціональна модель формування STEM-компетентності учнів у профільному навчанні фізики в умовах STEM-кластера

Основним результатом дослідження є розроблення структурно-функціональної моделі формування STEM-компетентності учнів у профільному навчанні фізики в умовах STEM-кластера. Модель охоплює теоретико-методологічний, концептуально-змістовий, проєктувально-діяльнісний і моніторингово-результативний рівні та забезпечує цілісність і керованість процесу формування STEM-компетентності.

Перспективи подальших досліджень пов'язуємо з розробленням методичного забезпечення реалізації STEM-кластера у профільному навчанні фізики та дослідженням можливостей адаптації кластерної моделі до різних освітніх контекстів.

Література:

1. Буднікевич І. М., Романюк Н. В. Організаційні аспекти створення освітнього кластера «Чернівці навчаються» як елементу креативної економіки регіону. *Збірник наукових праць ЧДТУ. Серія: Економічні науки*. 2022. Вип. 66. С. 30–38. DOI: 10.24025/2306-4420.66.2022.268612.
2. Великий тлумачний словник сучасної української мови / уклад. і гол. ред. В. Т. Бусел. Київ, Ірпінь : ВТФ «Перун», 2005. 1728 с. URL: <https://archive.org/details/velykyislovnyk/page/544/mode/2up> (дата звернення: 15.01.2026).
3. Донець Н. В. STEM-освіта – вітчизняний досвід впровадження. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. № 212. С. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-212-154-160>
4. Донець Н. В. Поняття STEM-компетентності в системі освітнього середовища закладу загальної середньої освіти. *Науковий вісник Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка. Серія: Педагогічні науки*. 2025. № 20. С. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.32782/2410-2075-2025-20.6>.
5. Клокар Н. І. Опорна школа як центр освітнього кластеру // *Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку гуманітарного знання у сучасному інформаційному просторі: національний та інтернаціональний аспекти : зб. наукових праць / за заг. ред. д-ра філос. наук Журби М. А.* Монреаль : СРМ «ASF», 2018. С. 63–65. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/717653/1/%D0%9E%D0%9F%D0%9E%D0%A0%D0%9D%D0%90%20%D0%A8%D0%9A%D0%9E%D0%9B%D0%90%20%D0%AF%D0%9A%20%D0%A6%D0%95%D0%9D%D0%A2%D0%A0%20%D0%9E%D0%A1%D0%92%D0%86%D0%A2%20%D0%9A%D0%9B%D0%90%D0%A1%D0%A2.pdf> (дата звернення: 15.01.2026).
6. Про затвердження Державного стандарту профільної середньої освіти : постанова Кабінету Міністрів України від 25.07.2024 № 851. *Офіційний вісник України*. 2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення: 15.01.2026).
7. Про затвердження типової освітньої програми для 10–12 класів закладів загальної середньої освіти, які забезпечують здобуття профільної середньої освіти за академічним спрямуванням : наказ Міністерства освіти і науки України від 26.05.2025 № 765. URL: <https://mon.gov.ua/npa/pro-zatverdzhennia-typovoi-osvitnoi-prohramy-dlia-10-12-klasiv-zakladiv-zahalnoi-serednoi-osvity-iaki-zabezpechuiut-zdobuttia-profilnoi-serednoi-osvity-za-akademichnym-spriamuvanniam> (дата звернення: 15.01.2026).
8. Про освіту : Закон України. *ВВР*. 2017. № 38–39. Ст. 380. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення: 15.01.2026).
9. Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) : розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 № 960-р. *Офіційний вісник України*. 2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.01.2026).
10. Формування профілів навчання в академічних ліцеях : методичні рекомендації / Н. Богданець-Білокаленко, Д. Васильєва, М. Головка та ін. Київ : Педагогічна думка, 2025. 69 с. URL: https://undip.org.ua/wp-content/uploads/2025/10/MR_Formuvannia_profiliv_1.pdf (дата звернення: 15.01.2026).
11. Giordano E. A. School clusters and teacher resource centres. Paris : UNESCO, International Institute for Educational Planning, 2008. URL: https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?id=p::usmarc_def_0000159776 (дата звернення: 15.01.2026).
12. Global Education Cluster. *Global Education Cluster Strategy 2022–2025* URL: <https://www.educationcluster.net/global-education-cluster> (дата звернення: 15.01.2026).

References:

1. Budnikevych, I.M., Romaniuk, N.V. (2022). Orhanizatsiini aspekty stvorennia osvitnoho klastera “Chernivtsi navchaiutsia” yak elementu kreatyvnoi ekonomiky rehionu [Organizational aspects of creating the educational cluster “Chernivtsi learns” as an element of the regional creative economy]. *Zbirnyk naukovykh prats ChDTU. Seriiia: Ekonomichni nauky, (66)*, 30–38. <https://doi.org/10.24025/2306-4420.66.2022.268612> [in Ukrainian].
2. Busel, V.T. (2005). *Velykyi tлумachnyi slovnyk suchasnoi ukrainskoi movy* [Large explanatory dictionary of the modern Ukrainian language]. Kyiv; Irpin: VTF “Perun” [in Ukrainian].
3. Donets, N.V. (2024). STEM-osvita – vitchyzniani dosvid vprovadzhennia [STEM education: National experience of implementation]. *Naukovi zapysky. Seriiia: Pedagogichni nauky, (212)*, 154–160. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-212-154-160> [in Ukrainian].
4. Donets, N.V. (2025). Poniattia STEM-kompetentnosti v systemi osvitnoho seredovishcha zakladu zahalnoi serednoi osvity [The concept of STEM competence in the educational environment of a general secondary education institution]. *Naukovyi visnyk Kremenetskoi oblasnoi humanitarno-pedahohichnoi*

akademii im. Tarasa Shevchenka. Serii: Pedagogichni nauky, (20), 48–55. <https://doi.org/10.32782/2410-2075-2025-20.6> [in Ukrainian].

5. Klokar, N.I. (2018). Oporna shkola yak tsentr osvithnoho klasteru [Hub school as a center of an educational cluster]. In M.A. Zhurba (Ed.), *Aktualni pytannia, problemy ta perspektyvy rozvytku humanitarnoho znannia u suchasnomu informatsiinomu prostori: natsionalnyi ta internatsionalnyi aspekty* (pp. 63–65). Montreal: CPM “ASF”. [in Ukrainian]

6. Cabinet of Ministers of Ukraine (2024). Pro zatverdzhennia Derzhavnoho standartu profilnoi serednoi osvity: postanova № 851 vid 25.07.2024 [On approval of the State standard of specialized secondary education]. *Ofitsiinyi visnyk Ukrainy*. [in Ukrainian].

7. Ministry of Education and Science of Ukraine (2025). Pro zatverdzhennia typovoi osvithnoi prohramy dlia 10–12 klasiv zakladiv zahalnoi serednoi osvity, yaki zabezpechuiut zdobuttia profilnoi serednoi osvity za akademichnym spriamuvanniam: nakaz № 765 vid 26.05.2025 [On approval of the standard educational program for grades 10–12] [in Ukrainian].

8. Verkhovna Rada Ukrainy (2017). Zakon Ukrainy “Pro osvitu” [Law of Ukraine “On Education”]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (38–39), Art. 380. [in Ukrainian].

9. Cabinet of Ministers of Ukraine (2020). Pro skhvalennia Kontseptsii rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity): rozporiadzhennia № 960-r vid 05.08.2020 [On approval of the concept for the development of natural and mathematical education (STEM education)]. *Ofitsiinyi visnyk Ukrainy* [in Ukrainian].

10. Bohdanets-Biloskalenko, N., Vasylieva, D., Holovko, M. (2025). Formuvannia profiliv navchannia v akademichnykh litseiakh [Formation of educational profiles in academic lyceums]. Kyiv: Pedagogichna dumka. 69 p. [in Ukrainian].

11. Giordano, E.A. (2008). *School clusters and teacher resource centres*. Paris: UNESCO, International Institute for Educational Planning. 94 p. [in English].

12. Global Education Cluster (2022). *Global Education Cluster strategy 2022–2025* [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 378.147:331.101.262

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-5>

ФОРМУВАННЯ М'ЯКИХ НАВИЧОК (SOFT SKILLS) У МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ А4 «СЕРЕДНЯ ОСВІТА» В ПРОЦЕСІ БАКАЛАВРСЬКОЇ ПІДГОТОВКИ

Іваницький Олександр Іванович,

доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри педагогіки та психології освітньої діяльності
Запорізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-3351-0571

Козич Ірина Володимирівна,

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри педагогіки та психології освітньої діяльності
Запорізького національного університету
ORCID ID: 0000-0002-4844-9785

Стаття присвячена актуальній проблемі розробки та впровадження системи формування м'яких навичок (soft skills) у майбутніх учителів спеціальності А4 «Середня освіта (за предметними спеціальностями)» у процесі бакалаврської підготовки. У роботі обґрунтовано, що професійна діяльність сучасного педагога є складним синтезом психолого-педагогічної, технологічної та інноваційної складових, де soft skills постають не просто допоміжними атрибутами, а фундаментальною умовою професійної спроможності. На основі аналізу наукових підходів виокремлено та систематизовано п'ять ключових груп м'яких навичок: комунікативні (здатність до дидактичної адаптації та цифрової взаємодії), когнітивно-аналітичні (критичне мислення в умовах цифровізації), самоорганізаційні й управлінські (тайм-менеджмент, емоційний інтелект), соціально-етичні (академічна доброчесність та інклюзивна компетентність) та інноваційно-креативні (здатність до проєктування авторських освітніх рішень).

Запропоновано комплексну систему розвитку цих компетентностей, яка інтегрується в освітній процес під час вивчення дисциплін «Педагогіка» та «Система середньої освіти в Україні та світі». Особливістю запропонованої методики є використання метапредметних конструкторів завдань, які поєднують універсальні алгоритми дії із предметним змістом конкретних спеціалізацій (історія, математика, фізична культура тощо). У статті детально описано практичні кейси та проєктні технології (зокрема, проєкт «Перевернутий урок: Цифровий міст» і кейс-стаді «Світовий стандарт: Адаптація»), що стимулюють розвиток командної взаємодії, системного мислення та креативності студентів. Визначено складники системи: мета, зміст, форми (інтерактивні лекції, тренінги), методи (бінарні та індивідуально-орієнтовані технології) та цифрові інструменти (LMS Moodle, Zoom, Google Workspace). У висновках підкреслено, що системний підхід до формування soft skills забезпечує конкурентоспроможність майбутніх фахівців та їхню готовність до безперервного самовдосконалення в умовах динамічних змін освітнього середовища.

Ключові слова: м'які навички, емоційний інтелект, вчитель, робота в команді, лідерство, мотивація, компетентність, метапредметні конструктори завдань.

Ivanytskyi Olexandr, Kozych Iryna. Formation of soft skills in future teachers of specialty A4 Secondary Education in the process of bachelor's training

The article is devoted to the urgent problem of development and implementation of a system of formation of soft skills in future teachers of the specialty A4 Secondary Education (by subject specialties) in the process of bachelor's training. The work substantiates that the professional activity of a modern teacher is a complex synthesis of psychological and pedagogical, technological and innovative components, where soft skills are not just auxiliary

attributes, but a fundamental condition of professional competence. Based on the analysis of scientific approaches, five key groups of soft skills are identified and systematized: communicative (ability to didactic adaptation and digital interaction), cognitive and analytical (critical thinking in the conditions of digitalization), self-organizational and managerial (time management, emotional intelligence), social and ethical (academic integrity and inclusive competence) and innovative and creative (ability to design original educational solutions).

Proposes a comprehensive system for developing these competencies, which is integrated into the educational process during the study of the disciplines “Pedagogy” and “Secondary Education System in Ukraine and the World”. A feature of the proposed methodology is the use of meta-subject task constructors that combine universal algorithms of actions with the subject content of specific specializations (history, mathematics, physical education, etc.). The article describes in detail practical cases and project technologies (in particular, the project “Flipped Lesson: Digital Bridge” and case studies “World Standard: Adaptation”) that stimulate the development of team interaction, systems thinking and creativity of students. The components of the system are determined: goal, content, forms (interactive lectures, trainings), methods (binary and individually-oriented technologies) and digital tools (LMS Moodle, Zoom, Google Workspace). The conclusions emphasize that a systematic approach to the formation of soft skills ensures the competitiveness of future specialists and their readiness for continuous self-improvement in the conditions of dynamic changes in the educational environment.

Key words: *soft skills, emotional intelligence, teacher, teamwork, leadership, motivation, competence, meta-subject task constructors.*

Вступ. Останнє десятиліття ознаменувалося комплексною модернізацією вищої освіти, яка відбувалася шляхом оновлення системи навчання, спрямованого на підвищення її якості, доступності та відповідності сучасним вимогам суспільства й ринку праці. Спостерігається широке впровадження нових технологій, на основі особистісно орієнтованого навчання та компетентнісного підходу відбувається зміна змісту освіти, гуманізація навчання й інтеграція у світовий освітній простір. Поряд із формуванням фахових компетентностей все більшого значення набуває формування і розвиток м'яких навичок. М'які навички (soft skills) для вчителів є основою створення ефективного освітнього середовища, що забезпечує не лише передачу знань, а й соціалізацію, мотивацію та емоційний розвиток учнів. Це надпрофесійні якості, наявність яких разом із тим забезпечує ефективну взаємодію і комунікацію у професійній діяльності та позитивний емоційний вплив на учнів. Ці якості є основою для осмисленого й успішного управління класом, вони допомагають вчителю успішно адаптуватися до змін, вирішувати конфлікти та будувати довірливі стосунки. Наявність широкого спектра м'яких навичок є невід'ємною частиною професійної компетентності сучасного педагога, що відповідає вимогам НУШ та стандартам Нової української школи. Отже, формування м'яких навичок розглядається як процес розвитку особистісних якостей, соціальних та емоційних умінь (комунікація, критичне мислення, робота в команді, адаптивність), які є критично важливими для кар'єри та соціалізації. Основна проблема полягає в їх неспеціалізованому характері, що ускладнює вимірювання, оцінювання та структурування навчальних програм для їх ефективного розвитку.

Мета статті – розробка системи формування м'яких навичок у майбутніх вчителів спеціальності А4 «Середня освіта (за предметними спеціальностями)» у процесі бакалаврської підготовки.

Аналіз досліджень і публікацій. Методологічні основи дослідження проблеми м'яких навичок були закладені в широкому спектрі робіт різних напрямків. Фундаментом дослідження м'яких навичок постала теорія емоційного інтелекту, оскільки саме здатність розуміти емоції та керувати ними визначає успішність міжособистісної взаємодії. П. Саловей та Дж. Майєр розробили першу наукову модель емоційного інтелекту (EQ), розглядаючи його як когнітивну здатність, яка виявляється у сприйнятті емоцій, використанні емоцій для сприяння мисленню, розумінні емоцій та управління ними. Д. Гоулман популяризував концепцію, змістивши акцент на компетентнісний підхід, згідно з яким soft skills – це не просто риси характеру, а набір виучуваних навичок (самоусвідомлення, саморегуляція, мотивація, емпатія та соціальні навички),

які на 80–90 % визначають ефективність лідерів. Сучасна методологія також спирається на економічні та соціологічні дослідження, насамперед Дж. Хекмана (критична важливість некогнітивних навичок), Е. Еріксона (соціальна адаптація) та Г. Гарднера (теорія множинного інтелекту), де внутрішньоособистісний інтелект і міжперсональний інтелект фактично є синонімами soft skills. Слід підкреслити, що в умовах стрімкого розвитку штучного інтелекту (ШІ) парадигма дослідження soft skills трансформується. Дослідження фокусуються на здатності людини приймати етичні рішення, на критичному оцінюванні та синтезі ідей як ключових навичок, на здатності перенавчатися й адаптуватися до швидкозмінних технологічних та цифрових середовищ.

Саме на основі цих методологічних засад у руслі створеної парадигми soft skills відбуваються дослідження проблеми формування і розвитку м'яких навичок у галузі освіти.

Насамперед можна виділити напрям публікацій, які фокусуються на комунікації та взаємодії, зокрема на навичках ефективного спілкування, активного слухання, вирішенні конфліктів, умінні домовлятися та конструктивному отриманні відгуків (дослідження М. Паук, присвячене ефективній комунікації (soft skills) в освітній практиці закладів фахової передвищої освіти [10], і проєкт з інфомедійної грамотності О. Семеног та О. Кульбабської [12] безпосередньо спрямовані на культуру спілкування та взаємодії).

Другим напрямом дослідження м'яких навичок є матеріали щодо розвитку адаптивності до змін, стресостійкості, тайм-менеджменту, ініціативності та пунктуальності: у роботах І. Камінської [7] І. Шевченко, О. Шелевер, В. Маркової [17] та М. Циганчук [15] soft skills розглядаються як основа адаптації до якісного освітнього процесу та професійної діяльності.

До третього напрямку належать роботи, присвячені вмінню працювати в команді, навичкам лідерства, мотивації, побудові довіри та менторству: (Н. Длугунович акцентує увагу на командних скілах для ІТ [4], А. Кошель, В. Кошель та А. Міненко – на розвитку м'яких навичок у майбутніх вихователів [9], а М. Коберник та С. Котловий – на безпосередньо командній роботі [8]).

Четвертий напрям становлять дослідження, що висвітлюють важливість емпатії, толерантності та культурної чутливості. Зокрема, привертають увагу праці Н. Бахмут про розвиток м'яких навичок здобувачів початкової освіти в умовах інклюзії [2], З. Возної стосовно формування м'яких навичок в учнів засобами змісту курсу «Громадянська освіта» [3], дослідження особливостей розвитку емоційного інтелекту в підлітковому віці М. Шпак [19], особливостей соціально-емоційного навчання в роботі О. Елькіна, О. Рассказової, В. Гринько, О. Марущенко [5] та [14].

Важливими в контексті нашого дослідження є різноманітні матеріали з методичними рекомендаціями для студентів і молодих спеціалістів, як розвивати м'які навички для успішної кар'єри, тренінгові програми, цикли лекцій та ін.: стаття Л. Сергеевої, Н. Муранової та В. Купрієвич про проєктну діяльність [13], тренінгові технології О. Абрамової, О. Пуляк, А. Терещук [1], онлайн-курс Profosvita [11] та інтерактивні методи для юристів С. Шестакової [18] мають прикладний характер.

Важливе значення в контексті формування м'яких навичок у майбутніх вчителів-предметників у процесі їхньої бакалаврської підготовки мають прийнята у Європейському Союзі «Рамка цифрової компетентності для освітян» [16] та матеріали щорічних Всесвітніх економічних форумів у Давосі [20].

Водночас аналіз наукових джерел засвідчує, що, попри значну кількість теоретичних і прикладних праць, проблема цілеспрямованого формування й розвитку м'яких навичок майбутніх учителів спеціальності А4 «Середня освіта (за предметними спеціальностями)» у процесі бакалаврської підготовки залишається недостатньо розробленою. Зокрема, потребують подальшого наукового обґрунтування принципи, зміст і педагогічні умови розвитку soft skills цієї категорії майбутніх педагогів з урахуванням специфіки їхньої професійної діяльності.

Матеріали та методи. Під час дослідження використовувався комплекс методів: теоретичний аналіз і синтез (для вивчення наукової і методичної літератури та виокремлення основних напрямів дослідження м'яких навичок), акмеологічний порівняльний аналіз (для виділення й характеристики основних груп м'яких навичок), систематизація та узагальнення досвіду викладання (для розробки системи формування й розвитку м'яких навичок у бакалаврів спеціальності А4 «Середня освіта», для створення метапредметних конструкторів завдань), узагальнення (для формулювання висновків) із метою визначення понятійного апарату дослідження, формулювання висновків, виявлення методичних особливостей реалізації методик ігрового навчання.

Результати. Професійна діяльність сучасного вчителя-предметника є багатограним синтезом психологічної, педагогічної, технологічної та інноваційної складових. За таких умов «м'які навички» (soft skills) перестають бути лише допоміжними атрибутами й постають фундаментальною умовою ефективного виконання професійних обов'язків. Для майбутніх фахівців спеціальності А4 «Середня освіта» формування soft skills є запорукою створення продуктивного навчального середовища й успішної взаємодії з учнями, що мають різний рівень підготовки та когнітивні особливості. Спираючись на класифікацію базових груп м'яких навичок, розроблену М. Коберником та С. Котловим [8], ми виділили п'ять груп м'яких навичок: комунікативні, когнітивні й аналітичні, самоорганізаційні й управлінські, соціально-етичні та ціннісні, інноваційно-креативні. Дано стислу характеристику кожної із цих груп м'яких навичок.

1. Комунікативні м'які навички. Для вчителя-предметника комунікація має виразний дидактично-перекладацький характер і полягає в умінні трансформувати складний науковий зміст у доступну для учнів форму без втрати його сутнісних характеристик. До цієї групи належать уміння дидактичної адаптації навчального матеріалу, вікова та когнітивна лабільність мовлення, здатність до цифрової взаємодії з використанням онлайн-платформ (Zoom, Google Meet, Microsoft Teams), а також навички ведення дискусій, презентації власного педагогічного досвіду й міжпредметної співпраці.

2. Когнітивні й аналітичні навички в умовах цифровізації освіти. Ця група soft skills забезпечує здатність майбутнього вчителя до критичного осмислення інформації та педагогічних рішень. Вона охоплює критичне мислення, експертну оцінку цифрових освітніх ресурсів і платформ, уміння працювати з результатами навчальної аналітики та «цифровими слідами» учнів, готовність до міждисциплінарних узагальнень і прийняття рішень в умовах педагогічної невизначеності.

3. Самоорганізаційні й управлінські м'які навички. Сучасний учитель дедалі частіше виконує функції менеджера освітнього процесу. До цієї групи належать навички тайм-менеджменту в умовах багатозадачності, проєктного управління навчальною діяльністю, здатність до планування власної професійної траєкторії, розвинений емоційний інтелект і стресостійкість як чинники запобігання професійному вигоранню.

4. Соціально-етичні та ціннісні м'які навички. Ця група формує ціннісно-нормативний вимір професійної діяльності педагога. Вона передбачає академічну доброчесність, цифрову етику та відповідальне використання інструментів штучного інтелекту, інклюзивну компетентність, спрямовану на створення безпечного й підтримувального освітнього середовища для всіх учасників освітнього процесу.

5. Інноваційно-креативні навички. Креативність учителя-предметника розглядається як ресурс оновлення навчального процесу та джерело педагогічних інновацій. До цієї групи належать уміння проєктувати нестандартні уроки, використовувати ігрові та проєктні методи, готовність до експериментування з новими освітніми технологіями та здатність бачити можливості розвитку освітнього середовища закладу освіти.

Системне формування зазначених груп м'яких навичок у процесі бакалаврської підготовки забезпечує готовність майбутніх учителів до професійної діяльності в умовах сучасної школи та сприяє їхній конкурентоспроможності.

Формування soft skills у межах дослідження реалізується під час вивчення дисциплін «Педагогіка» та «Система середньої освіти в Україні та світі», які опановують студенти восьми освітніх програм спеціальності А4 «Середня освіта (за предметними спеціальностями)». Компонентами системи розвитку м'яких навичок визначено мету, зміст, форми, методи, інструменти, діяльність викладача і студентів та результати навчання [6].

Розглянемо більш детально компоненти цієї системи.

Мета: озброїти майбутніх вчителів-предметників основними м'якими навичками, необхідними для ефективного навчання та професійного зростання. *Зміст:* дисципліни «Педагогіка» та «Система середньої освіти в Україні та світі». *Форми:* інтерактивні лекції та семінари – перехід від пасивного слухання до активної участі, цілеспрямовані заняття, присвячені конкретним навичкам, проєктне навчання, та ін. *Методи:* методи організації, здійснення, стимулювання, мотивації та контролю за ефективністю освітньо-пізнавальної діяльності; бінарні, інтегровані, індивідуально-орієнтовані освітні технології; соціологічні та статистичні методи. *Інструменти:* сторінки дисциплін в MOODLE, конференц-програма ZOOM, Google Workspace, відеозапис та ін.

Ми застосовуємо *метапредметні конструктори завдань*. Вони дають загальну структуру (алгоритм), яку студенти наповнюють змістом своєї предметної спеціальності. Розглянемо приклади таких завдань під час вивчення дисциплін «Педагогіка» (2-й семестр) та «Система середньої освіти в Україні та світі» (4-й семестр).

Дисципліна «Педагогіка». *Проєкт «Перевернутий урок: Цифровий міст»*. Тему уроку вибирають члени команди відповідно до своєї предметної спеціальності. *Мета:* розвиток когнітивних навичок (аналіз даних) та комунікації (пояснення складного простою мовою). *Загальне завдання для всіх:* команда має створити модель перевернутого уроку, що містить 5-хвилинне навчальне відео для самостійного вивчення учнями нової теми та презентацію сценарію роботи в класі над опрацюванням теми уроку. Команди самі розподіляють ролі, зокрема *методист* визначає ключові поняття, *сценарист-оператор* розробляє сценарій навчального відео та проводить його відеофіксацію, *методист* розробляє сценарій уроку в класі, *аналітик* розробляє систему самоперевірки для учнів, *технолог* створює презентацію.

Дисципліна «Система середньої освіти в Україні та світі». *Кейс-стаді «Світовий стандарт: Адаптація»*. *Мета:* розвиток системного мислення та розуміння світових освітніх систем. *Загальне завдання:* вивчити досвід викладання предмета вашої предметної спеціальності в одній із країн (Швеція, Фінляндія, Сінгапур, Естонія, США, Німеччина та ін. на вибір) та запропонувати одну інноваційну зміну для української програми. *Командний фокус:* команда аналізує PISA-звіти за своїм напрямом. *Врахування специфіки предметної спеціальності:* наприклад, учителі фізкультури досліджують скандинавський досвід занять на свіжому повітрі за будь-якої погоди, вчителі фізики / інформатики – досвід інтегрованого STEM-навчання в США.

Оскільки ці завдання спрямовані на різні групи м'яких навичок, критерії оцінювання для них мають фокусуватися не лише на знаннях, а й на здатності до аналізу, аргументації та командній взаємодії.

Висновки. За результатами дослідження обґрунтовано доцільність і необхідність системного формування м'яких навичок у майбутніх учителів спеціальності А4 «Середня освіта (за предметними спеціальностями)» на етапі бакалаврської підготовки. Визначено, що soft skills є інтегративним компонентом професійної компетентності педагога й умовою його успішної діяльності в сучасному освітньому середовищі. Запропонована система формування й розвитку м'яких навичок, реалізована через зміст педагогічних дисциплін, інтерактивні форми навчання, метапредметні конструктори завдань і проєктно-кейсні методи, забезпечує цілісність і практичну спрямованість підготовки майбутніх учителів. Перспективи подальших досліджень убачаємо в емпіричному вимірюванні рівнів сформованості soft skills та розробці інструментарію їх діагностики.

Література:

1. Абрамова О. В., Пуляк О. В., Терещук А. І. Формування м'яких навичок у здобувачів освіти через застосування тренінгових технологій. *Вісник післядипломної освіти. Серія «Педагогічні науки»*. 2021. Вип. 18 (47). С. 10–28. DOI: [https://doi.org/10.32405/2218-7650-2021-18\(47\)-10-28](https://doi.org/10.32405/2218-7650-2021-18(47)-10-28).
2. Бахмут Н. Розвиток SOFT SKILLS здобувачів початкової освіти в умовах інклюзії. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія «Педагогічні науки»*. 2022. № 1. С. 144–152. DOI: <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2022-1-144-152>.
3. Возна З. Формування м'яких навичок в учнів засобами змісту курсу «Громадянська освіта». *Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету*. 2023. Вип. 1. С. 95–104. DOI: <https://doi.org/10.31499/2307-4906.1.2023.276949>.
4. Длугунович Н. А. Soft skills як необхідна складова підготовки ІТ-фахівців. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2014. № 6 (219). С. 239–242. URL: https://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2014_6/47.pdf.
5. Елькін О. Б., Рассказова О. І., Гринько В. О., Марущенко О. А. Зміцнення освіти через соціально-емоційне навчання: актуальні напрями дослідження в Україні та світі. *Journal "ScienceRise: Pedagogical Education"*. 2024. № 1 (58). С. 79–86. DOI: <https://doi.org/10.15587/2519-4984.2024.299183>.
6. Іваницький О. І., Бондар О. Г., Прокоф'єв О. Ю. Формування м'яких навичок («soft skills») у студентів спеціальностей 011 Освітні, педагогічні науки та 014 Середня освіта у процесі магістерської підготовки. Електронне видання. *Вісник науки та освіти*. 2025. № 8. С. 1224–1237. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-8\(38\)-1223-1236](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-8(38)-1223-1236).
7. Камінська І. В. Формування «м'яких навичок» (soft skills) як основа організації якісного освітнього процесу. *Наукові записки молодих учених*. 2023. № 12. URL: <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/2056/pdf>.
8. Коберник О. М., Котловий С. А. Формування у здобувачів освіти м'яких навичок («soft-skills») у процесі командної роботи. *Суспільство і національні інтереси*. 2025. Вип. 3 (11). С. 190–202. DOI: [https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-3\(11\)-190-201](https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-3(11)-190-201).
9. Кошель А. П., Кошель В. М., Міненко А. О. Розвиток soft skills у майбутніх вихователів ЗДО як необхідний компонент конкурентоспроможності на ринку праці. *Вісник Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки*. 2021. Вип. 12. С. 194–198. DOI: [10.5281/zenodo.4769564](https://doi.org/10.5281/zenodo.4769564).
10. Паук М. М. Ефективні комунікації (soft skills) в освітній практиці закладів фахової передвищої освіти. *Міжнародний науковий журнал «Освіта і наука»*. 2024. Вип. 1 (36). С. 150–160. URL: <https://msu.edu.ua/educationandscience/wp-content/uploads/2024/06/ЕФЕКТИВНІ-КОМУНІКАЦІЇ-SOFT-SKILLS-В-ОСВІТНІЙ-ПРАКТИЦІ-ЗАКЛАДІВ-ФАХОВОЇ-ПЕРЕДВИЩОЇ-ОСВІТИ.pdf>.
11. Практикум з розвитку м'яких навичок. Profosvita. URL: <https://profosvita.online/courses/course-v1:Profosvita+CS-K001SFPL+2024/about>.
12. Семенов О., Кульбабська О. Формування м'яких навичок студентів-філологів у міжрегіональному проєкті з інфомедійної грамотності. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2021. № 4 (108). С. 231–246. DOI: [10.24139/2312-5993/2021.04/231-247](https://doi.org/10.24139/2312-5993/2021.04/231-247).
13. Сергеева Л., Муранова Н., Купрієвич В. Розвиток м'яких навичок майбутніх фахівців у проєктній діяльності: міжнародний досвід. *Професійна педагогіка*. 2023. Вип. 1 (26). С. 103–109. DOI: <https://doi.org/10.32835/2223-5752.2023.26.103-109>.
14. Соціально-емоційне навчання як інструмент розвитку наскрізних умінь учнів Нової української школи. Типова програма підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів загальної середньої освіти. Затверджена наказом МОН № 1465 від 04.11.2025. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/uploads/public/692/6ae/59d/6926ae59d1ab6608805555.pdf> (дата звернення: 15.01.2026).
15. Циганчук М. О. Методи та засади формування сприятливого середовища для набуття м'яких навичок у студентів вищих навчальних закладів. *Наукові записки. Серія «Психолого-педагогічні науки»*. 2024. № 3. С. 71–79. DOI: <https://doi.org/10.31654/2663-4902-2024-PP-3-71-79>.
16. Цифрова компетентність вчителя (DigCompEdu). Рамка цифрової компетентності для освітян / пер. з англ. за заг. ред. Н. В. Морзе. Київ : Університет Грінченка, 2019. 48 с.
17. Шевченко І. А., Шелевер О. В., Маркова В. В. Розвиток soft SKILLS у здобувачів освіти як запорука успішної професійної діяльності. *Інноваційна педагогіка*. 2024. Вип. 72. С. 269–272. DOI: <https://doi.org/10.32782/26636085/2024/72.54>.
18. Шестакова С. Використання інтерактивних методів навчання для формування soft skills у студентів юридичного профілю. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2020. № 2 (96). С. 224–233. URL: <https://pedscience.sspu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/24.pdf>.
19. Шпак М. М. Особливості розвитку емоційного інтелекту в підлітковому віці. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Психологічні науки*. 2016. Вип. 5 (2). С. 80–84.
20. The Future of Jobs Report 2023. World Economic Forum. 2023. 296 p. URL: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/> (дата звернення: 12.01.2026).

References:

1. Abramova, O.V., Puliak, O.V. & Tereshchuk, A.I. (2021). Formuvannya miakyykh navychok u zdobuvachiv osvity cherez zastosuvannya treninhovykh tekhnolohii [Formation of soft skills among students through the use of training technologies]. *Visnyk pislidyplomnoi osvity. Seriya "Pedahohichni nauky"* 18 (47), 10–28. DOI: [https://doi.org/10.32405/2218-7650-2021-18\(47\)-10-28](https://doi.org/10.32405/2218-7650-2021-18(47)-10-28) [in Ukrainian].
2. Bakhmut, N. (2022). Rozvytok soft skills zdobuvachiv pochatkovoї osvity v umovakh inkluzii [Development of soft skills of students of primary education in conditions of inclusion]. *Visnyk Cherkaskoho natsionalnoho universytetu imeni Bohdana Khmelnytskoho. Seriya "Pedahohichni nauky"*, 1, 144–152. DOI: <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2022-1-144-152> [in Ukrainian].
3. Vozna, Z. (2023). Formuvannya miakyykh navychok v uchniv zasobamy zmistu kursu "Hromadianska osvita" [Formation of soft skills in students by means of the content of the "Civic Education" course]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu*, 1, 95–104. <https://doi.org/10.31499/2307-4906.1.2023.276949> [in Ukrainian].
4. Dluhunovych, N.A. (2014). Soft skills yak neobkhidna skladova pidhotovky IT-fakhivtsiv [Soft skills as a necessary component of IT specialist training]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, 6 (219), 239–242. Retrieved from https://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2014_6/47.pdf [in Ukrainian].
5. Elkin, O.B., Rasskazova, O.I., Hryenko, V.O. & Marushchenko, O.A. (2024). Zmitsnennia osvity cherez sotsialno-emotsiine navchannia: aktualni napriamy doslidzhennia v Ukraini ta sviti [Strengthening education through social-emotional learning: current research directions in Ukraine and the world]. *Journal "ScienceRise: Pedagogical Education"*, 1 (58), 79–86. DOI: <https://doi.org/10.15587/2519-4984.2024.299183> [in Ukrainian].
6. Ivanytskyi, O.I., Bondar, O.H. & Prokof'yev, O.Yu. (2025). Formuvannya miakyykh navychok ("soft skills") u studentiv spetsialnosti 011 Osvitni, pedahohichni nauky ta 014 Serednia osvita u protsesi mahisterskoi pidhotovky [Formation of soft skills in students of specialties 011 Educational, Pedagogical Sciences and 014 Secondary Education in the process of master's degree training]. *Visnyk nauky ta osvity*, 8, 1224–1237. Retrieved from [https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-8\(38\)-1223-1236](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2025-8(38)-1223-1236).
7. Kaminska, I.V. (2023). Formuvannya "miakyykh navychok" (soft skills) yak osnova orhanizatsii yakisnoho osvitnoho protsesu [Formation of "soft skills" (soft skills) as a basis for organizing a quality educational process]. *Naukovi zapysky molodykh uchenykh*. Retrieved from <https://phm.cuspu.edu.ua/ojs/index.php/SNYS/article/view/2056/pdf> [in Ukrainian].
8. Kobernyk, O.M., Kotlovyi, S.A. (2025). Formuvannya u zdobuvachiv osvity miakyykh navychok ("soft-skills") u protsesi komandnoi roboty [Formation of soft skills in students in the process of teamwork]. *Suspilstvo i natsionalni interesy*, 3 (11), 190–202. DOI: [https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-3\(11\)-190-201](https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-3(11)-190-201) [in Ukrainian].
9. Koshel, A.P., Koshel, V.M. & Minenok A.O. (2021). Rozvytok soft skills u maibutnikh vykhovateliv ZDO yak neobkhidnyi komponent konkurentospromozhnosti na rynku pratsi [Development of soft skills in future teachers of special education as a necessary component of competitiveness in the labor market]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Chernihivskiy kolehium" imeni T. H. Shevchenka. Seriya: Pedahohichni nauky*, 1, 194–198 [in Ukrainian].
10. Pauk, M.M. (2024). Efektyvni komunikatsii (soft skills) v osvitnii praktytsi zakladiv fakhovoi peredvyshchoi osvity [Effective communication (soft skills) in the educational practice of institutions of professional pre-higher education] *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal "Osvita i nauka"*, 1 (36), 150–160. URL: <https://msu.edu.ua/educationandscience/wp-content/uploads/2024/06/ЕФЕКТИВНІ-КОМУНІКАЦІЇ-SOFT-SKILLS-В-ОСВІТНІЙ-ПРАКТИЦІ-ЗАКЛАДІВ-ФАХОВОЇ-ПЕРЕДВІЩОЇ-ОСВІТИ.pdf> [in Ukrainian].
11. Praktytum z rozvytku miakyykh navychok. Profosvita [Workshop on the development of soft skills. Profosvita]. Retrieved from <https://profosvita.online/courses/course-v1:Profosvita+CS-K001SFPL+2024/about> [in Ukrainian].
12. Semenoh, O. (2021). Formuvannya miakyykh navychok studentiv-filolohiv u mizhrehionalnomu proiekti z infomediinoi hramotnosti [Formation of soft skills of philology students in the interregional project on infomedia literacy]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii*, 4 (108), 231–247. DOI: [10.24139/2312-5993/2021.04/231-247](https://doi.org/10.24139/2312-5993/2021.04/231-247) [in Ukrainian].
13. Serheieva, L., Muranova, N. & Kuprievych, V. (2023). Rozvytok miakyykh navychok maibutnikh fakhivtsiv u proiektinii diialnosti: mizhnarodnyi dosvid [Development of soft skills of future specialists in project activities: international experience]. *Profesiina pedahohika [Professional pedagogy]*, 1 (26), 103–109. DOI: <https://doi.org/10.32835/2223-5752.2023.26.103-109> [in Ukrainian].
14. Sotsialno-emotsiine navchannia yak instrument rozvytku naskriznykh umin uchniv Novoi ukrainskoi shkoly. Typova prohramy pidvyshchennia kvalifikatsii pedahohichnykh pratsivnykiv zakladiv zahalnoi serednoi osvity [Social-emotional learning as a tool for developing cross-curricular skills of students of the

New Ukrainian School. A typical program for advanced training of pedagogical workers of secondary education institutions]. Zatverdzhena nakazom MON № 1465 vid 04.11.2025 [Order of the Ministry of Education and Science No. 1465 dated 04.11.2025]. Retrieved from: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/uploads/public/692/6ae/59d/6926ae59d1ab6608805555.pdf> [in Ukrainian].

15. Tsyhanchuk, M.O. (2024). Metody ta zasady formuvannia spryiatlyvoho seredovyshcha dlia nabuttia miakyykh navychok u studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv [Methods and principles of creating a favorable environment for the acquisition of soft skills by students of higher educational institutions]. *Naukovi zapysky. Seriiia "Psykhologo-pedahohichni nauky"*, 3, 71–79. DOI: <https://doi.org/10.31654/2663-4902-2024-PP-3-71-79> [in Ukrainian].

16. Morze, N.V. (Ed.). (2019). Tsyfrova kompetentnist vchytelia (DigCompEdu). Ramka tsyfrovoy kompetentnosti dlia osvitian [Digital Competence for Teachers (DigCompEdu). A Digital Competence Framework for Educators] (Trans. in Eng.). Kyiv: Universytet Hrinchenka [in Ukrainian].

17. Shevchenko, I.A., Shelever, O.V. & Markova, V.V. (2024). Rozvytok soft skills u zdobuvachiv osvity yak zaporuka uspishnoi profesiinoi diialnosti [Development of soft skills among students as a key to successful professional activity]. *Innovatsiina pedahohika*, 72, 269–272. DOI: <https://doi.org/10.32782/26636085/2024/72.54> [in Ukrainian].

18. Shestakova, S. (2020). Vykorystannia interaktyvnykh metodiv navchannia dlia formuvannia soft skills u studentiv yurydychnoho profilu [The use of interactive teaching methods for the formation of soft skills in law students]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii*, 2 (96), 224–233. Retrieved from <https://pedscience.sspu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/06/24.pdf> [in Ukrainian].

19. Shpak, M.M. (2016). Osoblyvosti rozvytku emotsiinoho intelektu v pidlitkovomu vitsi [Features of the development of emotional intelligence in adolescence]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriiia: Psykhologichni nauky*, 5 (2), 80–84 [in Ukrainian].

20. The Future of Jobs Report 2023. World Economic Forum (2023). 296 p. Retrieved from: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 28.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 519.21:004.056.55

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-6>

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОЦІНОК ІМОВІРНОСТЕЙ КОЛІЗІЙ У ХЕШ-ФУНКЦІЯХ ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ІТ-ФАХІВЦІВ

Клеопа Ірина Анатоліївна,

доктор філософії (PhD), доцент,
кафедри вищої математики

Вінницького національного технічного університету

ORCID ID: 0000-0001-8408-6515

Тютюнник Оксана Іванівна,

кандидат педагогічних наук, доцент,
кафедри вищої математики

Вінницького національного технічного університету

ORCID ID: 0000-0002-8544-4246

Ковальчук Майя Борисівна,

доктор педагогічних наук, професор,
кафедри вищої математики

Вінницького національного технічного університету

ORCID ID: 0000-0002-1895-1715

У статті обґрунтовано педагогічну доцільність використання методів інтегрального числення для оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях у процесі підготовки майбутніх ІТ-фахівців. Актуальність дослідження зумовлена потребою в підвищенні якості математичної підготовки майбутніх фахівців з інформаційної безпеки та формуванні в них здатності застосовувати математичні методи для аналізу криптографічної стійкості алгоритмів захисту інформації.

У роботі показано, що традиційні комбінаторні підходи до оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях часто є складними для сприйняття студентами та не забезпечують належного рівня усвідомлення прикладного змісту математичних моделей. Запропоновано методику навчання, що ґрунтується на використанні інтегральних оцінок, які дають можливість апроксимувати дискретні ймовірнісні процеси неперервними моделями та застосовувати графічну інтерпретацію результатів. Такий підхід сприяє кращому розумінню парадоксу днів народження та його зв'язку з проблемою колізій у хеш-функціях.

З метою оцінювання педагогічної ефективності запропонованого підходу проведено педагогічний експеримент із залученням контрольної та експериментальної груп студентів. В експериментальній групі вивчення теми здійснювалося з використанням інтегральних моделей і графічної інтерпретації ймовірностей, тоді як у контрольній групі застосовувалися традиційні комбінаторні методи. Результати тестування продемонстрували підвищення рівня засвоєння матеріалу в експериментальній групі, що підтверджено статистичною перевіркою.

Отримані результати свідчать про доцільність використання інтегралів як ефективного інструменту для аналізу колізій у хеш-функціях та їх педагогічну цінність у навчанні математичних основ криптографії.

Ключові слова: інтегральне числення, ймовірність колізій, хеш-функції, методика навчання, професійна підготовка студентів, ІТ-освіта, педагогічний експеримент, вища математика.

Klieopa Iryna, Tiutyunnik Oksana, Kovalchuk Maya. Using integral estimates of collision probability in hash functions during the training of future IT specialists

The article substantiates the pedagogical feasibility of using integral calculus methods to estimate collision probabilities in hash functions in the process of training future IT specialists. The relevance of the study is due to the need to improve the quality of mathematical training of future information security specialists and to form in them the ability to apply mathematical methods to analyze the cryptographic stability of information protection algorithms.

The paper shows that traditional combinatorial approaches to estimating collision probabilities in hash functions are often difficult for students to perceive and do not provide an adequate level of awareness of the applied content of mathematical models. A teaching methodology based on the use of integral estimates is proposed, which allows approximating discrete probabilistic processes by continuous models and applying graphical interpretation of the results. This approach contributes to a better understanding of the birthday paradox and its connection with the problem of collisions in hash functions. In order to assess the pedagogical effectiveness of the proposed approach, a pedagogical experiment involving control and experimental groups of students was conducted. In the experimental group, the study of the topic was carried out using integral models and graphical interpretation of probabilities, while traditional combinatorial methods were applied in the control group. The test results demonstrated an increase in the level of material mastery in the experimental group, which was confirmed by statistical verification.

The obtained results indicate the feasibility of using integrals as an effective tool for collision analysis in hash functions and confirm their pedagogical value in teaching the mathematical foundations of cryptography.

Key words: *integral calculus, collision probability, hash functions, teaching methodology, professional training of students, IT education, pedagogical experiment, higher mathematics.*

Вступ. Сучасна підготовка фахівців у галузі інформаційних технологій та кібербезпеки вимагає не лише засвоєння формальних математичних методів, а й формування здатності застосовувати їх для аналізу реальних прикладних задач. Особливе місце серед таких задач посідає проблема колізій у хеш-функціях, яка є ключовою в оцінюванні криптографічної стійкості алгоритмів захисту інформації та безпеки комп'ютерних систем. Традиційне вивчення ймовірностей колізій у курсах вищої математики та криптографії зазвичай ґрунтується на комбінаторних підходах і дискретних моделях, що часто ускладнює сприйняття матеріалу студентами та знижує рівень його практичного розуміння. У підсумку математичні формули розглядаються ізольовано від їхнього прикладного змісту, що не повною мірою сприяє формуванню професійних компетентностей майбутніх фахівців [3].

У зв'язку із цим актуальним є пошук педагогічно доцільних методик навчання, які забезпечують інтеграцію математичного апарату з прикладними задачами криптографії. Одним із таких підходів є використання інтегрального числення для оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях, що дає можливість наочно моделювати ймовірнісні процеси, застосовувати графічну інтерпретацію результатів та формувати у студентів аналітичне й ймовірнісне мислення.

Метою статті є обґрунтування й експериментальна перевірка ефективності методики використання інтегралів для оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях у процесі підготовки майбутніх фахівців ІТ-галузі. Для досягнення поставленої мети розглянуто математичні моделі оцінювання колізій, розроблено навчальні приклади з використанням інтегральних оцінок і графічних моделей, а також проведено педагогічний експеримент з метою порівняння результатів навчання у контрольній та експериментальній групах. Таке дослідження поєднує математичний та педагогічний підходи і спрямоване на підвищення якості професійної підготовки студентів шляхом впровадження наочно орієнтованих і методично обґрунтованих засобів навчання

Використання інтегралів дає змогу перейти від дискретних моделей до неперервних, що спрощує аналітичні оцінки та сприяє кращому розумінню ймовірнісної природи колізій. Це особливо важливо для підготовки студентів з інформаційних технологій та кібербезпеки, для яких поєднання вищої математики з криптографічними застосуваннями є необхідним [8].

Аналіз досліджень і публікацій. Проблематика оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях широко представлена в працях, присвячених теоретичним основам криптографії та

інформаційної безпеки. Класичні підходи до аналізу колізій базуються на комбінаторних імовірнісних моделях, зокрема на аналогії з парадоксом днів народження, який детально розглядається у фундаментальних роботах з криптографії та теорії імовірностей. У таких дослідженнях колізії аналізуються як дискретні випадкові події, що дає можливість отримати точні формули, однак ускладнює їх практичне застосування в разі великих обсягів даних.

У працях вітчизняних науковців значну увагу приділено дослідженню криптографічних засобів захисту інформації та методів хешування даних із метою забезпечення автентичності в комп'ютерних системах і мережах. Зокрема, відповідні питання висвітлювалися в роботах С. П. Євсєєва, А. А. Кузнецова, Т. Ю. Самбурської та інших дослідників. Суттєвий внесок у розвиток теорії та практики криптографічного захисту інформації, що передається через комп'ютерні системи і мережі, зробили зарубіжні науковці. Серед таких авторів слід відзначити Альфреда В. Ахо, Джона Хопкрофта, Джеффри Д. Ульмана та інших [5].

Водночас аналіз наукових публікацій свідчить, що питання застосування інтегральних методів саме для оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях залишається недостатньо висвітленим, особливо в аспекті їх дидактичного потенціалу. Наявні роботи переважно не розглядають можливості використання інтегральних моделей і графічної візуалізації як засобів підвищення якості навчання криптографії та вищої математики.

Матеріали та методи. Дослідження виконувалося із застосуванням методів теорії імовірностей, математичного аналізу та криптографії. Теоретичною основою слугували моделі оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях, що базуються на аналогії з парадоксом днів народження. Для апроксимації дискретних імовірнісних процесів використовувалися методи інтегрального числення, які дали змогу отримати експоненціальні оцінки ймовірності виникнення колізій [1].

Для підвищення ефективності засвоєння студентами теми оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях було запропоновано інтегральний підхід, що поєднує математичні моделі з наочною педагогічною реалізацією. Методика ґрунтується на використанні інтегрального числення для апроксимації дискретних імовірнісних процесів неперервними моделями та на візуалізації результатів через графічні засоби, що дає змогу студентам глибше усвідомлювати математичну сутність процесу колізій.

На першому етапі студенти опановують традиційні комбінаторні формули для оцінки ймовірності колізій, що забезпечує формування базового теоретичного апарату. Другий етап передбачає введення інтегральних апроксимацій дискретних моделей, які дають можливість спростити обчислення, підвищити наочність аналізу та показати зв'язок між дискретними й неперервними математичними підходами. На третьому етапі використовуються графічні інтерпретації та прикладні задачі з криптографічним змістом, що сприяє формуванню професійних компетентностей студентів та підвищенню їх мотивації до вивчення вищої математики.

Педагогічна ефективність запропонованого підходу оцінювалася шляхом проведення педагогічного експерименту за участю контрольної та експериментальної груп студентів. У контрольній групі застосовувалися класичні комбінаторні формули, тоді як в експериментальній – інтегральні оцінки та графічна інтерпретація результатів. Рівень засвоєння матеріалу визначався за результатами підсумкового тестування з використанням методів математичної статистики для аналізу отриманих даних [4].

Результати. Метою педагогічного експерименту було визначення ефективності запропонованої методики навчання оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях із використанням інтегральних методів. Експеримент складався з констатувального, формувального та контрольного етапів. На контрольному етапі проводилося підсумкове оцінювання рівня засвоєння матеріалу та сформованості відповідних умінь. Нами було проведено педагогічний експеримент, у якому брали участь дві групи студентів зі спеціальності «Безпека інформаційних і комунікаційних систем»: контрольна група й експериментальна група.

Навчальний процес у контрольній групі здійснювалося з використанням класичних комбінаторних формул без залучення інтегральних оцінок і графічних інтерпретацій. Нижче покажемо основні формули, які використовували для дослідження.

Імовірність відсутності колізій за хешування k різних повідомлень визначається дискретною формулою:

$$P_{\text{nocol}} \approx \prod_{i=0}^{k-1} \left(1 - \frac{i}{N}\right).$$

Проте в разі великих значень k та N безпосереднє використання цієї формули є обчислювально складним. У зв'язку із цим застосовується інтегральне наближення, яке ґрунтується на переході від дискретного добутку до експоненціальної функції.

Зокрема, використовуючи логарифмування й інтегрування, отримуємо асимптотичну оцінку:

$$P \approx \exp\left(-\frac{k^2}{2N}\right).$$

Цей результат отримується шляхом переходу від дискретної добуткової формули до інтегрального наближення, що базується на обчисленні визначеного інтеграла логарифмічної функції.

Звідси ймовірність виникнення хоча б однієї колізії має вигляд:

$$P_{\text{кол}} = 1 - \exp\left(-\frac{k^2}{2N}\right).$$

Отримана формула дає можливість ефективно оцінювати ризик колізій без виконання складних комбінаторних обчислень. Вона демонструє нелінійний характер зростання ймовірності колізій і вказує на квадратичну залежність між кількістю повідомлень та розміром простору хеш-значень [3].

Для наочного аналізу було побудовано графіки залежності $P_{\text{col}}(k)$ від кількості повідомлень за різних значень параметра N . Аналіз результатів показує, що для малих розмірів хешу (наприклад, $N = 2^{12}$) ймовірність колізій швидко наближається до одиниці навіть за відносно невеликої кількості повідомлень. Натомість збільшення розміру хеш-простору до $N = 2^{16}$ істотно знижує ризик колізій у практичному діапазоні значень. Особливу увагу приділено визначенню критичних значень кількості повідомлень, за яких ймовірність колізії перевищує заданий поріг α .

Розв'язуючи рівняння: $1 - \exp\left(-\frac{k^2}{2N}\right) = \alpha$, можна отримати оцінки максимально допустимої кількості повідомлень для забезпечення необхідного рівня криптографічної безпеки [6].

В експериментальній групі використовувався інтегральний підхід, який передбачав побудову аналітичних залежностей і їх подальшу візуалізацію у вигляді графіків на конкретних прикладах. Детальніше розберемо на прикладах.

Приклад 1. Опис графіка інтегральної оцінки (одна крива).

На рис. 1 зображено залежність ймовірності виникнення колізії від кількості оброблених повідомлень k за фіксованого розміру простору хеш-значень $N = 2^{16}$. Графік побудовано на основі інтегральної апроксимації

$$P_{\text{кол}} = 1 - \exp\left(-\frac{k^2}{2N}\right),$$

яка є неперервним наближенням дискретної ймовірнісної моделі.

На графіку можна побачити, що зі зростанням кількості повідомлень ймовірність колізії зростає нелінійно: на початковому етапі зростання є повільним, однак після досягнення певного порогу відбувається різке збільшення ймовірності колізій. Така поведінка узгоджується

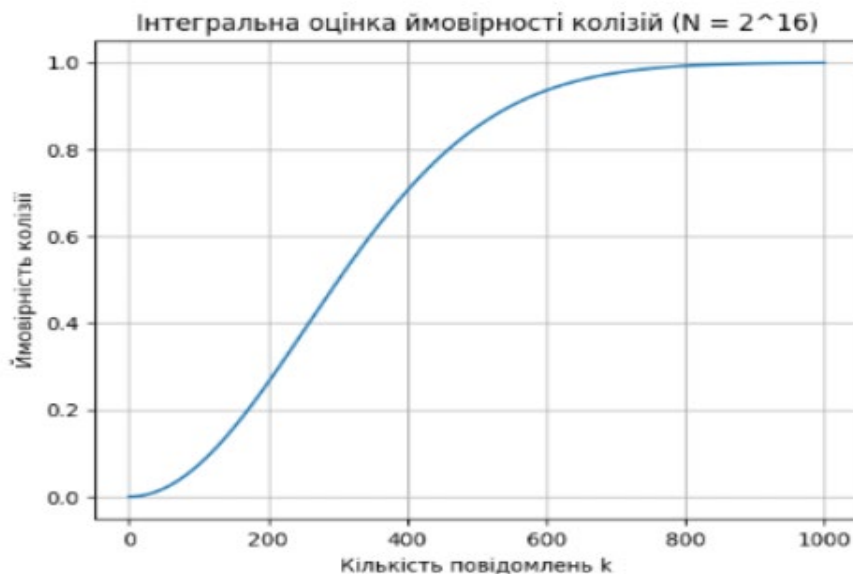


Рис. 1. Інтегральна оцінка ймовірності колізій

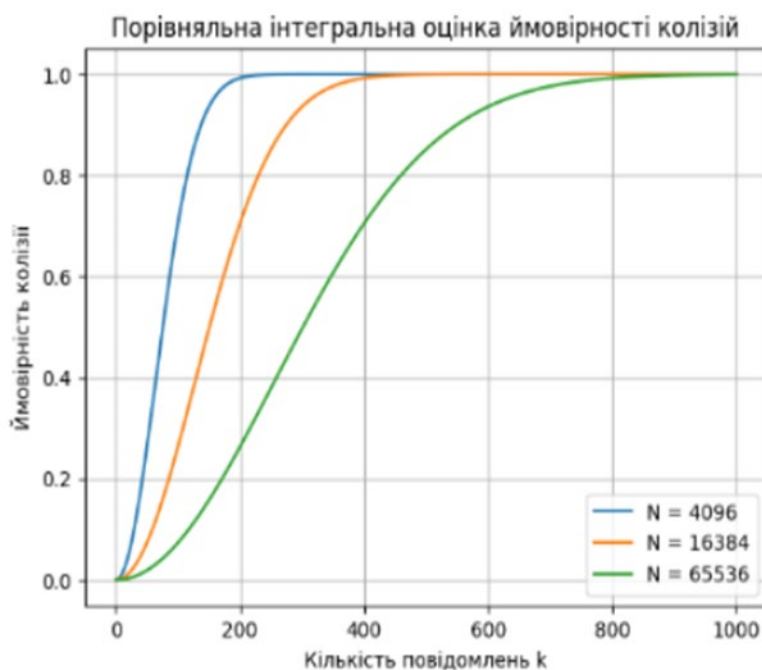


Рис. 2. Порівняльна інтегральна оцінка ймовірності колізій для різних значень N

з парадоксом днів народження та підтверджує доцільність використання інтегральних оцінок для аналізу властивостей хеш-функцій.

Візуалізація інтегральної моделі дає змогу наочно продемонструвати студентам імовірнісну природу колізій та сприяє кращому розумінню взаємозв'язку між параметрами хеш-функцій і рівнем криптографічної стійкості.

Приклад 2. Порівняльний графік для різних розмірів хешу.

На графіку зображено кілька кривих для різних розмірів простору хеш-значень (наприклад, $N = 2^{12}$, 2^{14} , 2^{16}). Аналіз графіка показує, що зі збільшенням N крива зсувається вправо, тобто для досягнення однакової ймовірності колізій потрібна значно більша кількість повідомлень.

Це підтверджує важливість вибору достатньої довжини хешу для забезпечення криптографічної стійкості.

Порівняльний аналіз графіків для різних розмірів простору хеш-значень продемонстрував суттєвий вплив параметра N на криптографічну стійкість хеш-функцій. Зі збільшенням N криві ймовірності колізій зсуваються вправо, що означає зменшення ризику колізій за фіксованої кількості повідомлень. Це узгоджується з теоретичними положеннями криптографії та підтверджує доцільність використання довгих хеш-значень у практичних системах захисту інформації.

Крім того, застосування інтегрального підходу та графічної візуалізації має важливе методичне значення. Побудовані графіки дають можливість студентам і дослідникам інтуїтивно зрозуміти природу колізій у хеш-функціях, поєднуючи строгі математичні моделі з наочною інтерпретацією результатів.

У таблиці 1 показано результати навчальних досягнень контрольної та експериментальної груп.

Таблиця 1

Результати навчальних досягнень

Група	Кількість студентів	Середній бал
Контрольна	26	72,1
Експериментальна	27	83,4

Для перевірки статистичної значущості відмінностей між результатами контрольної та експериментальної груп було використано критерій Стьюдента для незалежних вибірок за рівня значущості $\alpha = 0,05$. Отримані результати підтвердили статистично значущу перевагу експериментальної методики. Отримані результати підтверджують ефективність використання інтегральних моделей для оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях як з математичного, так і з педагогічного погляду [9].

Аналіз результатів педагогічного експерименту дав змогу оцінити ефективність запропонованої методики використання інтегралів для оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях у процесі підготовки майбутніх фахівців ІТ-галузі. Основна увага приділялася не лише кількісним показникам успішності, а і якісним змінам у характері засвоєння навчального матеріалу студентами.

У контрольній групі вивчення теми здійснювалося з використанням класичних комбінаторних формул і дискретних моделей, що потребували значної кількості формальних обчислень і часто сприймалися студентами як абстрактні. В експериментальній групі навчання базувалося на інтегральних оцінках і графічній інтерпретації ймовірностей, що дало можливість наочно продемонструвати залежність ймовірності колізій від кількості повідомлень та розміру простору хеш-значень [7].

Результати підсумкового тестування показали вищий рівень засвоєння матеріалу в експериментальній групі. Студенти цієї групи краще виконували завдання, пов'язані з аналізом криптографічної стійкості хеш-функцій, демонстрували здатність інтерпретувати отримані числові оцінки та переносити математичні моделі у прикладний професійний контекст. Це свідчить про формування у них аналітичного та ймовірнісного мислення, необхідного для подальшої професійної діяльності у сфері інформаційної безпеки та програмної інженерії.

Важливим результатом є також підвищення навчальної мотивації студентів експериментальної групи. Використання графіків і комп'ютерного моделювання сприяло кращому розумінню сутності парадокса днів народження та його зв'язку з проблемою колізій у хеш-функціях, що зменшувало формалізм у вивченні теми та підвищувало інтерес до математичних методів аналізу криптографічних алгоритмів.

Статистична обробка результатів тестування підтвердила наявність значущої різниці між показниками контрольної та експериментальної груп, що дає змогу зробити висновок про ефективність запропонованої методики. Отримані дані засвідчують доцільність використання інтегральних моделей не лише як математичного інструменту, а і як ефективного педагогічного засобу для формування професійних компетентностей майбутніх фахівців [2].

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що інтеграція методів інтегрального числення з прикладними задачами криптографії забезпечує більш глибоке засвоєння навчального матеріалу та сприяє підвищенню якості підготовки студентів у галузі інформаційних технологій.

Висновки. Запропонований підхід до навчання оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях із використанням інтегрального числення є ефективним засобом формування професійних компетентностей студентів ІТ-спеціальностей. Результати педагогічного експерименту підтверджують доцільність упровадження інтегральних методів і графічних інтерпретацій у курсах вищої математики з прикладною спрямованістю.

Результати проведеного дослідження показали, що методи інтегрального числення є ефективним інструментом для оцінювання ймовірностей колізій у хеш-функціях. Перехід від дискретних імовірнісних моделей до неперервних інтегральних наближень дає можливість суттєво спростити аналітичний апарат зі збереженням достатньої точності оцінок, особливо у випадках великих розмірів простору хеш-значень.

Отримані інтегральні формули демонструють тісний зв'язок між класичним парадоксом днів народження та криптографічними властивостями хеш-функцій. Використання експоненціальної апроксимації ймовірності колізій дає змогу не лише кількісно оцінювати ризик збігів, але й здійснювати їх наочну графічну інтерпретацію.

Аналіз побудованих графіків показав, що інтегральна апроксимація адекватно відображає характер зростання ймовірності колізій залежно від кількості оброблених повідомлень. Зокрема, спостерігається нелінійний характер зростання, який не завжди є очевидним у разі використання лише дискретних комбінаторних формул.

Педагогічний експеримент підтвердив, що застосування інтегральних моделей і візуалізацій у навчальному процесі сприяє глибшому розумінню студентами ймовірнісної природи хеш-функцій. Статистична перевірка результатів засвідчила підвищення рівня навчальних досягнень в експериментальній групі, що свідчить про доцільність інтеграції методів математичного аналізу у викладання дисциплін криптографічного спрямування.

Запропонована методика не лише підвищує рівень засвоєння навчального матеріалу, але й сприяє формуванню професійно орієнтованого мислення студентів, що є важливою складовою підготовки конкурентоспроможних фахівців у галузі інформаційних технологій та кібербезпеки.

Література:

1. Бедратюк Л. П., Бедратюк Г. І. Використання системи комп'ютерної алгебри Maple в елементарній теорії чисел. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2013. № 6 (4). С. 10–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.18892>.
2. Ковальчук М. Б., Клеопа І. А., Коломієць А. А., Тютюнник О. І., Добранюк Ю. В. Алгоритмічні прийоми розумової діяльності як технологія розвитку когнітивних здібностей студентів у вивченні математики. *Педагогічна академія: наукові записки*. 2025. № 15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14987960>.
3. Клеопа І. А., Лавренюк Д. С. Парадокси теорії ймовірностей: інтуїція проти математичних розрахунків. *Матеріали LIV науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. Вінниця. 2025.
4. Клеопа І. А., Тютюнник О. І., Крупський Я. В., Добранюк Ю. В. Особливості використання сучасних інформаційнокомунікаційних технологій у вищій математичній освіті. *Інформаційні технології та інноваційні методики навчання в закладах вищої освіти*. 2024. Вип. 72. С. 113–124. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-113-124>.
5. Клювак О. В. Криптографічна стійкість комбінаційного хешування автентифікаційних даних в інтернет-платіжних системах. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2013. Вип. 1. С. 531–538.

6. Маліновська О. О. Вимоги до криптографічної системи захисту інформації / О. О. Маліновська, О. І. Зінченко ; наук. кер. Я. Ю. Усов. *Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі : матеріали тез доп. Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених*. Чернігів : ЧНТУ, 2019. С. 113–116.

7. Михалевич В. М., Майданевич Л. О. Використання системи Maple в математичних задачах криптографії. Елементарна теорія чисел. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2024. Т. 59, № 1. С. 105–118.

8. Сидоренко В. М., Кирилаха Н. Г. Дидактико-методичні аспекти викладання теорії ймовірностей та математичної статистики студентам ІТ напрямку. *Інженерні та освітні технології*. 2023. Т. 11. № 3. С. 17–23. <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2023.11.03.02>.

9. Сидоренко В. М., Садовнича С. А., Долударєва Є. В. Оптимізація структури тестових завдань навчальних онлайн-курсів на основі ймовірнісної моделі. *Інженерні та освітні технології*. 2022. Т. 10. № 2. С. 27–36.

10. Фаур Е. В., Щерба А. І., Рудницький В. М. Метод та критерій оцінювання якості послідовностей випадкових чисел. *Кібернетика та системний аналіз*. 2020. Т. 52. № 2.

References:

1. Bedratiuk, L.P., & Bedratiuk, H.I. (2013). Vykorystannia systemy kompiuternoї alhebry Maple v elementarnii teorii chysel [Use of the Maple computer algebra system in elementary number theory]. *Skhidnoievropejskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*, 6 (4 (66)), 10–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.18892> [in Ukrainian].

2. Kovalchuk, M.B., Klieopa, I.A., Kolomiiets, A.A., Tiutiunyk, O.I., & Dobraniuk, Yu.V. (2025). Alhorytmichni pryomy rozumovoi diialnosti yak tekhnolohiia rozvytku kohnityvnykh zdibnostei studentiv u vyvchenni matematyky [Algorithmic techniques of mental activity as a technology for developing students' cognitive abilities in studying mathematics]. *Pedahohichna Akademiia: naukovy zapysky*, (15). <https://doi.org/10.5281/zenodo.14987960> [in Ukrainian].

3. Klieopa, I.A., & Lavreniuk, D.S. (2025). Paradoksy teorii ymovirnostei: intuitsiia proty matematychnykh rozrakhunkiv [Paradoxes of probability theory: intuition versus mathematical calculations]. In *Materialy LIV naukovo-tekhnichnoi konferentsii pidrozdiliv VNTU. Vinnytsia* [in Ukrainian].

4. Klieopa, I.A., Tiutiunyk, O.I., Krupskyi, Ya.V., & Dobraniuk, Yu.V. (2024). Osoblyvosti vykorystannia suchasnykh informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii u vyshchii matematychnii osviti [Features of using modern information and communication technologies in higher mathematical education]. *Informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia v zakladakh vyshchoi osvity*, (72), 113–124. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-113-124> [in Ukrainian].

5. Kliuvak, O.V. (2013). Kryptohrafichna stiikist kombinatsiinoho ksheshuvannia avtentyfikatsiinykh danykh v Internet-platizhnykh systemakh [Cryptographic strength of combinational hashing of authentication data in Internet payment systems]. *Sotsialno-ekonomichni problemy suchasnoho periodu Ukrainy*, (1), 531–538 [in Ukrainian].

6. Malinovska, O.O., & Zinchenko, O.I. (2019). Vymohy do kryptohrafichnoi systemy zakhystu informatsii [Requirements for a cryptographic information protection system]. In *Novitni tekhnolohii u naukovii diialnosti i navchalnomu protsesi: materialy tez dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh* (pp. 113–116). Chernihiv, Ukraine: ChNTU [in Ukrainian].

7. Mykhalevych, V.M., & Maidanevych, L.O. (2024). Vykorystannia systemy Maple v matematychnykh zadachakh kryptohrafii. Povidomlennia 1. Elementarna teoriia chysel [Use of the Maple system in mathematical problems of cryptography. Report 1. Elementary number theory]. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia*, 59 (1), 105–118 [in Ukrainian].

8. Sydorenko, V.M., & Kyrylaha, N.H. (2023). Dydaktyko-metodychni aspekty vykladannia teorii ymovirnostei ta matematychnoi statystyky studentam IT napriamu [Didactic and methodological aspects of teaching probability theory and mathematical statistics to IT students]. *Inzhenerni ta osviti tekhnolohii*, 11 (3), 17–23. <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2023.11.03.02> [in Ukrainian].

9. Sydorenko, V.M., Sadovnycha, S.A., & Doludariєva, Ye.V. (2022). Optymizatsiia struktury testovykh zavdan navchalnykh onlain-kursiv na osnovi ymovirnisnoi modeli [Optimization of the structure of test tasks in online courses based on a probabilistic model]. *Inzhenerni ta osviti tekhnolohii*, 10 (2), 27–36 [in Ukrainian].

10. Faur, E.V., Shcherba, A.I., & Rudnytskyi, V.M. (2020). Metod ta kryterii otsiniuvannia yakosti poslidovnostei vypadkovykh chysel [Method and criterion for evaluating the quality of random number sequences]. *Kibernetika ta sistemnyi analiz*, 52 (2) [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 28.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 378.015.31:[378.016:62/64

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-7>

КРЕАТИВНИЙ РОЗВИТОК ОСОБИСТОСТІ СТУДЕНТА В УМОВАХ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН ДИЗАЙНЕРСЬКОГО СПРЯМУВАННЯ

Козирод Ольга Геннадіївна,

доктор філософії,

асистент кафедри професійної освіти та дизайну

Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка

ORCID ID: 0000-0002-2776-6204

Шовкова-Альохіна Анна Олександрівна,

доктор філософії,

асистент кафедри професійної освіти та дизайну

Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка.

ORCID ID: 0000-0003-2588-9224

У статті висвітлено проблему креативного розвитку особистості здобувачів вищої освіти у процесі професійної підготовки за спеціальностями дизайнерського профілю в умовах трансформації сучасного соціокультурного та технологічного середовища. Обґрунтовано значення креативності як інтегративної професійно важливої якості майбутнього викладача закладу професійної освіти, що поєднує мотиваційні, інтелектуальні, емоційно-ціннісні та естетичні компоненти й забезпечує здатність до продукування оригінальних ідей, нестандартного мислення та створення концептуально цілісних художньо-проектних рішень. Акцентовано увагу на ролі навчальних дисциплін дизайнерського циклу, зокрема курсів креативного дизайну, історії дизайну одягу та костюму, дизайну й декоративного мистецтва, основ орнаментики, брендингу, технології виробництва реклами, комплексного дизайн-проектування, художнього проектування та макетування, дизайн-практикуму, технологічних основ дизайну, дизайну поліграфічної продукції та креативної майстерні створення сувенірної продукції. Доведено, що поєднання історико-мистецьких, технологічних і проектно-практичних компонентів навчання формує цілісне дизайнерське мислення, розвиває образну уяву, стилістичну чутливість і здатність до інтерпретації культурних кодів. Визначено педагогічні умови ефективного формування творчого потенціалу студентів: упровадження проектних та проблемно-пошукових методів навчання, міждисциплінарну інтеграцію змісту курсів, використання творчих завдань із відкритим результатом, створення емоційно сприятливого освітнього середовища та орієнтацію на практико-орієнтовану діяльність. Результати дослідження засвідчують, що системне застосування креативно-орієнтованих методик сприяє розвитку дивергентного мислення, дизайнерської інтуїції, візуальної культури та підвищує мотивацію студентів до професійної самореалізації, конкурентоспроможності й інноваційної діяльності у сфері дизайну.

Ключові слова: креативність, дисципліни дизайнерського спрямування, підготовка майбутніх викладачів закладів професійної освіти.

Kozyrod Olha, Shovkova-Alokhina Anna. Creative development of the student's personality in the conditions of studying design disciplines

The article highlights the issue of the creative development of higher education students' personalities in the process of professional training in design-related specialties within the context of transformations in the contemporary sociocultural and technological environment. The significance of creativity is substantiated as an integrative professionally important quality of a future professional education teacher, combining motivational, intellectual, emotional-value, and aesthetic components and ensuring the ability to generate original ideas, think

unconventionally, and create conceptually coherent artistic and design solutions. Particular attention is paid to the role of design-cycle academic disciplines, including Creative Design, History of Fashion and Costume Design, Design and Decorative Arts, Fundamentals of Ornamentation, Branding, Advertising Production Technology, Comprehensive Design Projecting, Artistic Design and Modeling, Design Practicum, Technological Foundations of Design, Graphic Design, and the Creative Workshop for Souvenir Product Design.

It is proven that the integration of historical-artistic, technological, and project-practical components of education forms holistic design thinking, develops imaginative perception, stylistic sensitivity, and the ability to interpret cultural codes. The pedagogical conditions for the effective formation of students' creative potential are identified, namely the implementation of project-based and problem-search learning methods, interdisciplinary integration of course content, the use of open-ended creative tasks, the creation of an emotionally supportive educational environment, and a focus on practice-oriented activities. The research findings demonstrate that the systematic application of creativity-oriented teaching methods contributes to the development of divergent thinking, design intuition, and visual culture, while increasing students' motivation for professional self-realization, competitiveness, and innovative activity in the field of design.

Key words: *creativity, design-oriented disciplines, training of future teachers of professional education institutions.*

Вступ. Сучасні соціокультурні та економічні процеси, що значно змінили умови ринку праці, вимагають підготовки фахівців, здатних до нестандартного мислення, творчого пошуку та інноваційної діяльності. Особливо актуальною ця проблема постає в умовах стрімкої технологізації та автоматизації багатьох процесів у сфері дизайну, де на перший план виходить саме креативний розвиток студента. Підготовлений закладом освіти фахівець має бути яскраво вираженою, творчою особистістю з розвиненими навичками створення унікального дизайнерського контенту, який базується на глибокому розумінні та переосмисленні культурних кодів. Уміння працювати з традиційними формами, історією костюма та орнаментикою, наповнюючи їх актуальними смислами, вимагає від здобувача освіти високого рівня емпатії, розвинутого образного мислення та ціннісного підходу. Відтак, головне завдання закладу вищої освіти полягає у розкритті внутрішнього креативного потенціалу випускника, чий професійний рівень визначатиметься не здатністю продукувати швидкі шаблонні рішення, а вмінням забезпечувати концептуальну цілісність, технологічну доцільність та художню бездоганність кожного виробу. Саме тому в умовах модернізації вищої освіти постає об'єктивна потреба у переосмисленні методів викладання дисциплін дизайнерського спрямування з орієнтацією на розвиток креативного потенціалу студентів.

Аналіз досліджень і публікацій У науковому дискурсі поняття «креативність» трактується як складне багатовимірне утворення, що охоплює когнітивні, мотиваційні, емоційно-вольові та соціокультурні аспекти особистості. Проблему творчості та креативності досліджували С. Абдуллаєва [7], Г. Горбань [8], Ч. Дай [4], В. Желанова [1], Р. Кириченко [2], Т. Паньок [4], Т. Петухова [5], М. Ткач [6], Н. Шевченко [7; 8], Д. Цзю [4] О. Чепішко [7], С. Яланська [8] та ін., які розглядають креативність як інтегративну характеристику особистості, що забезпечує її здатність до створення нового продукту, нестандартного мислення та самореалізації в діяльності.

У психолого-педагогічних дослідженнях креативність пов'язується з умінням відходити від шаблонів, гнучко оперувати знаннями, трансформувати наявний досвід у нові смислові конструкції та продукти діяльності [1; 3; 7]. Водночас сучасні науковці наголошують, що креативність не є лише інтелектуальною здатністю, а формується у взаємодії пізнавальних процесів, мотиваційної сфери та особистісних цінностей суб'єкта [5; 7].

Попри значну кількість досліджень спрямованих на дослідження креативності сучасними психологами та педагогами, вбачаємо необхідним детальніше розкрити питання потенціалу дисциплін дизайнерського циклу як середовища формування креативної особистості.

Матеріали та методи. Мета статті полягає у теоретичному обґрунтуванні та окресленні педагогічних умов креативного розвитку особистості студента в процесі вивчення дисциплін дизайнерського спрямування.

Мету конкретизовано завданнями означеного дослідження: проаналізувати сутність поняття «креативність» у контексті професійної підготовки дизайнера; визначити роль дисциплін дизайнерського спрямування у формуванні творчого потенціалу студентів; окреслити педагогічні умови та методи стимулювання креативного мислення; визначити напрями удосконалення освітнього процесу у сфері дизайн-освіти.

Перед вищим навчальним закладом постає завдання розвитку ключових компетентностей особистості, що в своєму поєднанні утворюють міцне підґрунтя для творчої самостійності та готовності здобувача до активної художньо-проектної діяльності.

За визначенням Р. Кириченко [2, с. 189], креативність – це особистісна якість, що ґрунтується на потенційних можливостях людини та прагненні до самовираження через створення унікальних результатів діяльності, які поєднують індивідуальні й соціально значущі смисли. Таким чином, креативність виступає механізмом гармонізації особистісного та суспільного виміру творчості.

У контексті професійної підготовки дизайнера креативність набуває прикладного та професійно зумовленого характеру й розглядається як здатність до продукування оригінальних ідей, пошуку нестандартних рішень та створення естетично й функціонально цінних об'єктів [1; 6; 7]. Вона є ключовою професійною якістю фахівця в умовах міждисциплінарних проєктів, де поєднуються технологічні інновації, художнє мислення та орієнтація на соціокультурні потреби суспільства. Сучасний дизайн потребує не лише формотворення, а й здатності до комплексного аналізу проблеми, прогнозування результату та відповідальності за культурні й комунікативні наслідки проєктних рішень.

Результати наукових досліджень свідчать про складну структурну організацію креативності [9–12]. У її структурі виокремлюють мотиваційний компонент (внутрішню потребу в самовираженні, інтерес до новизни, прагнення до професійного зростання), емоційний компонент (емпатійність, емоційну чутливість, здатність до переживання художнього образу) та інтелектуальний компонент (гнучкість мислення, інтуїцію, здатність до асоціативних зв'язків і прогнозування результату діяльності). Важливе місце посідають також естетичні якості – чуття стилю, образність, схильність до імпровізації та прагнення до художньої досконалості.

Особливої ваги в структурі креативності набуває комунікативний аспект, що виявляється у здатності до співтворчості, міжособистісної взаємодії та інтеграції індивідуальних ідей у колективні проєкти. Завершальним рівнем виступає екзистенційний компонент, який передбачає наявність власної творчої позиції, позитивного ставлення до себе як до суб'єкта творчості та поєднання глибоких теоретичних знань із практичним досвідом [9].

Таким чином, креативність у професійній підготовці майбутнього дизайнера постає не як окрема здібність, а як цілісне особистісно-професійне утворення, що формується в освітньому процесі за умови створення спеціально організованого творчого середовища, застосування проєктних методів навчання та орієнтації на розвиток індивідуального стилю діяльності.

Дисципліни дизайнерського спрямування не лише створюють сприятливе середовище для розвитку цих складових, але й безпосередньо впливають на їх формування, оскільки поєднують художньо-естетичну, проєктно-конструкторську та комунікативну складові професійної підготовки. Вони створюють умови для розвитку образного мислення, творчої уяви, здатності до генерації оригінальних ідей та їх практичної реалізації в матеріальній і візуальній формах.

На основі навчальних планів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Професійна освіта (Дизайн)» за спеціальністю 015. Професійна освіта та спеціалізацією «Дизайн» (2021-2024 р), що реалізуються у освітньому середовищі Полтавського національного педагогічного університету імені В.Г. Короленка [4], вбачаємо за необхідне проаналізувати вплив дисциплін дизайнерського спрямування на креативний розвиток здобувачів освіти.

Особливе місце в системі дизайнерської підготовки посідає якісна світоглядна та технологічна база, яка в подальшому стає підґрунтям для творчої реалізації та запобігає поверхневій стилізації. Адже справжня якість дизайну вимірюється глибоким відчуттям матеріалу, ергономікою, життєздатністю ідеї та її соціальною значущістю.

«Історія дизайну одягу» та «Історія костюму» як профільні дисципліни виконують культурологічну та світоглядну функції у структурі дизайнерської освіти. Вони забезпечують формування історико-стильової компетентності, розкривають закономірності розвитку форм, силуетів, матеріалів і декоративних засобів у контексті соціокультурних процесів.

Особливого значення у формуванні та розвитку креативності як важливої складової компетентнісного розвитку особистості фахівця з дизайну набуває опанування дисципліни «Історія костюму». Вона спрямована на формування таких важливих якостей як здатність до стилістичного аналізу та інтерпретації візуальних джерел, розвиток умінь здобувачів вищої освіти працювати з архетипами, символами, культурними кодами різних епох. Це сприяє розвитку креативності на основі осмисленої традиції, коли новизна досягається не шляхом випадкових експериментів, а через творче переосмислення історичного досвіду. Доцільними є завдання на творчу інтерпретацію історичних образів, наприклад: створення сучасної колекції аксесуарів на основі стилістики обраної історичної епохи з авторським переосмисленням силуету та декору; розроблення візуальної концепції костюма персонажа, натхненного культурними кодами певної доби.

Цей концептуальний підхід поглиблюється під час опанування дисципліни «Дизайн і декоративне мистецтво» та «Основи орнаментики». Їх зміст дозволяє здобувачам не лише доторкнутися до нематеріальної культурної спадщини та сакральних смислів традиційних промислів, а й трансформувати цей досвід через призму сучасного мистецтва. Відбувається комплексне формування художньо-естетичної чутливості до базових категорій дизайну: форми, кольору, фактури, ритму та композиції. Виконуючи практичні вправи з декоративною інтерпретацією традиційних форм тенденціям сучасності, студенти розвивають художньо-творчу інтуїцію та емоційно-образне сприйняття, що дозволяє їм створювати глибокі, ціннісно наповнені проекти. Ефективними є завдання на декоративну трансформацію традиційних мотивів: створення авторського орнаментального модуля на основі народних символів із подальшим застосуванням у сучасному предметному або графічному дизайні; розроблення серії декоративних композицій, побудованих на ритмічному переосмисленні архетипних форм.

Вивчаючи дисципліну «Креативний дизайн», здобувачі освіти оволодівають концептуальними засадами сталого дизайну, розвиваючи нестандартне мислення під час роботи з вторинною сировиною. Особливий потенціал для особистісної реалізації та творчої самоідентифікації студентів ми вбачаємо у впровадженні в освітній процес технологій апсайклінгу. Практика надання нових смислів вторинним матеріалам виступає дієвим підґрунтям для опанування евристичних та асоціативних методів проектування, навчаючи майбутніх фахівців оперувати художніми метафорами, стилізацією та трансформацією форм. Застосовуються завдання, спрямовані на розвиток дивергентного мислення та екологічної свідомості, зокрема: проектування арт-об'єкта або елемента одягу з використанням вторинних матеріалів у техніці апсайклінгу з наданням їм нового символічного змісту; створення дизайнерського образу на основі художньої метафори (наприклад, «час», «пам'ять», «рух»). Це системно розвиває дивергентне мислення, формуючи здатність розглядати проектну задачу під різними кутами та продукувати варіативні рішення. У поєднанні ці курси розвивають здатність до візуального мислення як специфічного типу інтелектуальної діяльності дизайнера.

Навчальна дисципліна «Креативна майстерня створення і дизайн сувенірної продукції» є важливим складником креативного розвитку особистості студента в умовах вивчення дисциплін дизайнерського спрямування, оскільки поєднує теоретико-методологічні засади

сувенірної справи з практичним опануванням сучасних технологій виготовлення та декорування виробів. Зміст курсу спрямований на формування у здобувачів освіти здатності аналізувати історико-культурні аспекти розвитку народного й сучасного мистецтва, усвідомлювати роль сувенірної продукції як національного та культурного елемента, а також як інструменту популяризації освітніх послуг і регіональної ідентичності. У процесі опанування дисципліни студенти розвивають композиційне мислення, навички проєктування, здатність до використання різних матеріалів і технік (текстиль, паперопластика, декупаж, аплікація), що стимулює їхню творчу ініціативність, самостійність і готовність до інноваційної професійної діяльності. Практико-орієнтований характер курсу, застосування інтерактивних та проблемно-пошукових методів навчання, організація майстер-класів і творчих проєктів забезпечують умови для самовираження студентів, розвитку критичного мислення, уміння генерувати й адаптувати креативні ідеї, що є підґрунтям формування конкурентоспроможного фахівця у сфері професійної освіти та дизайну. Відкритий характер результату забезпечується завданнями на проєктування сувенірного продукту як носія культурної ідентичності, зокрема: розроблення концепції сувенірної серії для певного регіону або освітнього закладу з урахуванням його символіки; створення прототипу авторського сувеніра з комбінуванням різних технік і матеріалів.

Особливе місце у креативному розвитку майбутнього фахівця посідають практико-орієнтовані дисципліни: «Комплексне дизайн-проєктування», «Дизайн-практикум», «Художнє проєктування та макетування в дизайні», що передбачають виконання творчих завдань із відкритим результатом. Вони спрямовані на інтеграцію знань, умінь і навичок, отриманих під час вивчення теоретичних і художніх дисциплін.

Комплексне дизайн-проєктування як предмет підготовки основного циклу предметів покликаний спрямувати освітні зусилля студентів на формування здатності до системного бачення проблеми, аналізу вихідних умов та побудови цілісної проєктної концепції. Опанування дисципліною «Дизайн-практикум» зосереджено на розвитку навичок експериментування, пошукової діяльності, використанні методу проб і помилок, що є ключовими механізмами творчого процесу. Художнє проєктування та макетування забезпечують перехід від абстрактної ідеї до її матеріалізованої форми, стимулюючи розвиток просторового мислення та проєктної уяви. Використовуються творчі завдання типу: розроблення концепції об'єкта дизайну з невизначеними вихідними параметрами; пошук кількох альтернативних проєктних рішень однієї проблеми з подальшим вибором найбільш доцільного; створення макета як матеріалізованої інтерпретації абстрактної ідеї.

Дисципліни за вибором студентів «Брендинг» та «Технологія виробництва реклами» спрямовані на розвиток стратегічного мислення та навичок візуальної комунікації. Вони формують у студентів розуміння дизайну як засобу соціальної взаємодії та інформаційного впливу, що вимагає не лише художньої виразності, а й логічної структурованості та цілеспрямованості.

У процесі вивчення освітнього курсу «Брендинг» студенти опановують принципи створення візуальної ідентичності, символіки та іміджевих концепцій, що активізує здатність до узагальнення та концептуального мислення. Дисципліна «Технологія виробництва реклами» розвиває уміння трансформувати творчу ідею у готовий комунікативний продукт, поєднуючи креативність із технологічною доцільністю. Таким чином, формується проєктна креативність як інтегративна здатність створювати образ, орієнтований на цільову аудиторію. Отже, у процесі вивчення цих дисциплін доцільно застосовувати завдання, спрямовані на формування проєктної та комунікативної креативності, зокрема: створення візуальної айдентики вигаданого бренду з урахуванням його цінностей та цільової аудиторії; розроблення рекламного повідомлення на основі авторської художньої концепції без заданого шаблону подання.

Важливою особливістю креативного розвитку здобувачів освіти в Полтавському національному педагогічному університеті імені В. Г. Короленка також є практика створення тематичних

колекцій виробів, виготовлення яких потребує використання знань з комплексу опанованих впродовж навчання фахових дисциплін що сприяє процесу інтеграції здобутих компетентностей у проєктну діяльність. Яскравим прикладом такого міждисциплінарного підходу є розробка колекції паперових ляльок у традиційному одязі різних регіонів і епох. У процесі роботи студенти закріплюють знання, уміння, навички отримані під час опанування таких дисциплін як «Історія одягу», «Комплексне дизайн-проєктування», «Дизайн-практикум», «Художнє проєктування та макетування в дизайні», «Технологія виробництва реклами» та вчать креативно презентувати власні проєкти на підсумкових семінарах кафедри професійної освіти та дизайну.

Результати. На основі теоретичного аналізу та узагальнення змісту дисциплін дизайнерського циклу можна виокремити такі взаємопов'язані педагогічні умови креативного розвитку особистості студента:

1. Створення культурологічно насиченого освітнього середовища, орієнтованого на осмислення традиції та її творче переосмислення.

Ця педагогічна умова пов'язана з тим, що креативність дизайнера ґрунтується не лише на інноваційності, а й на здатності працювати з культурними кодами, архетипами та символами. Реалізація даної умови забезпечується через вивчення дисциплін історико-теоретичного спрямування («Історія костюму», «Історія дизайну одягу», «Основи орнаментики»), які формують історико-стильову компетентність, художньо-естетичну чутливість та здатність до інтерпретації візуальних джерел. Саме така основа сприяє формуванню креативності як осмисленої новизни, а не випадкової експериментальності.

2. Інтеграція художньо-естетичної, проєктної та комунікативної складових підготовки.

Креативний розвиток студента відбувається ефективно за умови поєднання образного мислення, проєктного аналізу та комунікативної взаємодії. Це забезпечується міждисциплінарною інтеграцією курсів художнього («Дизайн і декоративне мистецтво»), проєктного («Комплексне дизайн-проєктування», «Художнє проєктування та макетування») та комунікативно орієнтованого спрямування («Брендинг», «Технологія виробництва реклами»). У результаті формується цілісне бачення дизайн-об'єкта як художнього, технологічного та соціально значущого продукту, що активізує дивергентне й концептуальне мислення.

3. Використання проєктних, проблемно-пошукових та евристичних методів навчання.

Креативність як інтегративна особистісна якість потребує активізації пошукової діяльності студента. Застосування методу проєктів, навчальних дизайнерських кейсів, проблемних завдань з відкритим результатом і методів проб і помилок створює умови для розвитку дизайнерської інтуїції, асоціативності та здатності до експерименту. Практико-орієнтовані дисципліни («Дизайн-практикум», «Креативна майстерня...») забезпечують формування навичок самостійного прийняття рішень і відповідальності за власний творчий продукт.

4. Орієнтація змісту навчання на сталий дизайн та трансформацію матеріалу як джерело креативності.

Упровадження в освітній процес технологій апсайклінгу та роботи з вторинними матеріалами сприяє розвитку евристичного та дивергентного мислення. Перетворення утилітарних або зношених матеріалів на художній об'єкт формує здатність до метафоричного мислення, стилізації та трансформації форм. Така практика поєднує екологічну відповідальність із творчою самореалізацією, що розширює ціннісний компонент креативності.

5. Забезпечення емоційно сприятливого та психологічно безпечного освітнього середовища.

Розвиток креативності неможливий без підтримки емоційної сфери особистості. Формування атмосфери довіри, прийняття індивідуальності студента, підтримки творчої ініціативи та позитивного ставлення до помилки як етапу пошуку створює передумови для внутрішньої мотивації до творчості. У такому середовищі студент набуває впевненості у власних можливостях та здатності до самовираження.

6. Надання студенту можливості вибору засобів, матеріалів і способів реалізації творчого задуму. Креативний розвиток активізується за умови автономії студента у проєктній діяльності. Орієнтація завдань на самостійний вибір стилістики, технік, матеріалів і концепцій сприяє формуванню індивідуального авторського стилю та відповідальності за художнє рішення. Такий підхід стимулює розвиток проєктної креативності як здатності створювати концептуально цілісний продукт.

Дисципліни дизайнерського циклу забезпечують структурований вплив на креативний розвиток майбутнього фахівця через розподіл і взаємодію освітніх компонентів. Художні курси сприяють розвитку образного мислення й творчої уяви; історико-теоретичні дисципліни закладають культурно-сміслову підґрунтя діяльності; комунікативно орієнтовані курси розвивають уміння концептуалізувати та аргументовано презентувати ідеї; проєктно-практичні дисципліни забезпечують реалізацію творчих задумів у площині реального проєктування.

Узгоджена взаємодія цих складових сприяє набуттю компетентностей, що охоплюють візуально-аналітичне мислення, роботу з образно-символічними структурами, проєктне моделювання та міждисциплінарну координацію. Це підвищує адаптивність фахівця в динамічному середовищі й розширює можливості самореалізації.

Цілісність підготовки забезпечується методичним супроводом освітнього процесу, який передбачає застосування проєктних і проблемно-пошукових методів, інтеграцію змісту фахових курсів («Основи орнаментики», «Дизайн поліграфічної продукції», «Креативна майстерня створення та дизайн сувенірної продукції»), а також упровадження творчих завдань відкритого типу, що орієнтують здобувачів на самостійний вибір засобів реалізації задуму.

За таких педагогічних умов освітній процес набуває ознак творчого середовища, у якому стимулюється експериментування, варіативність рішень і рефлексивне осмислення результатів. Це створює передумови для становлення індивідуального стилю та готовності до інноваційної діяльності в галузі дизайну [6; 7].

Висновки. У результаті теоретичного аналізу з'ясовано, що креативність у підготовці майбутнього дизайнера є інтегративною особистісно-професійною якістю, яка формується в умовах спеціально організованого освітнього процесу та забезпечує здатність до створення оригінальних і соціально значущих художньо-проєктних рішень.

Доведено, що дисципліни дизайнерського циклу мають системоутворюючий вплив на розвиток креативності, оскільки інтегрують художньо-естетичний, проєктно-технологічний і комунікативний компоненти підготовки, сприяючи становленню цілісного дизайнерського мислення.

Обґрунтовано педагогічні умови ефективного розвитку творчого потенціалу студентів: міждисциплінарну інтеграцію змісту навчання, використання проєктних і проблемно-пошукових методів, створення культурологічно насиченого та психологічно безпечного освітнього середовища, надання здобувачам автономії у творчій діяльності.

Системне застосування креативно орієнтованих методик забезпечує розвиток дивергентного мислення, проєктної рефлексії та готовності до інноваційної діяльності, що підвищує професійну мобільність і конкурентоспроможність майбутнього фахівця.

Перспективи подальших досліджень пов'язуються з розробленням і експериментальною перевіркою моделей креативного розвитку студентів дизайнерських спеціальностей та створенням діагностичного інструментарію оцінювання рівнів сформованості креативності.

Література:

1. Желанова В. В. Креативність і візуальне мислення як основа художньо-проєктної компетентності майбутнього дизайнера. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. Вип. 14. С. 15–21. DOI: https://doi.org/10.59694/ped_sciences.2025.14.015

2. Кириченко Р. В. Особливості розвитку креативності майбутніх педагогів. *Актуальні проблеми психології: збірник наукових праць Інституту психології імені Г. С. Костюка*. Київ : ДП «Інформаційно-аналітичне агентство». Том X: Психологія навчання. Генетична психологія. Медична психологія. 2013. Вип. 25. С. 185–193
3. Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Дизайн) 2021-2025 р. URL: <https://surl.li/yhanvr> (дата звернення 17.01.2026).
4. Паньок Т. В., Дай Ч., Цзю Д. Розвиток креативності як один з головних чинників професійної підготовки майбутніх дизайнерів. *Актуальні проблеми сучасного дизайну: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (23 квітня 2020 р., м. Київ)*: В (2020). С. 315–318.
5. Петухова Т. А. Методичні стратегії розвитку креативного мислення студентів-дизайнерів у процесі проєктно-орієнтованого навчання. *Актуальні питання у сучасній науці: Серія «Педагогіка. 2025. № 8(38) 2025. С. 1395–1405 DOI : [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2025-8\(38\)-1395-1405](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2025-8(38)-1395-1405)*
6. Ткач М. М. Проблема розвитку креативності студентів упродовж професійної підготовки. Київ: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова. *Серія 5. Педагогічні науки: реалії , перспективи*, 2019. Вип. 66. С. 191–196.
7. Шевченко Н. Ф., Абдуллаєва С., Чепішко О. Особливості творчого потенціалу та психологічні чинники його розвитку в студентської молоді. В кн.: *Psychological patterns of social processes and personality development in modern society*. Riga: «Baltija Publishing». 2023. С. 494–511. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-362-0-25>
8. Шевченко Н. Ф., Горбань Г. О. Особливості розвитку креативності в учнів підліткового віку в умовах дистанційного навчання. *Журнал сучасної психології*. 2023. № 1. С. 131–138. <https://doi.org/10.26661/2310-4368/2023-1-16>
9. Яланська С. П. Психологія творчості. Полтава: ПНПУ імені В. Г. Короленка, 2014. 180 с.
10. Smith K., Pickering A., Bhattacharya J. The Creative Life: A Daily Diary Study of Creativity, Affect, and Well-Being in Creative Individuals. *Creativity Research Journal*. 2022. 34(4). P. 460–479. <https://doi.org/10.1080/010400419.2022.2122371>
11. Tan C.Y., Chuah C.Q., Lee S.T., Tan C.S. Being Creative Makes You Happier: The Positive Effect of Creativity on Subjective Well-Being. *Int J Environ Res Public Health*. 2021. 18(14). P. 7244. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147244>
12. Weir K. The science behind creativity. *Monitor on Psychology*. 2024. 53(3). <https://www.apa.org/monitor/2022/04/cover-science-creativity>

References:

1. Zhelanova, V. V. (2025). Kreatyvnyist i vizualne myslennia yak osnova khudozhno-proiektnoi kompetentnosti maibutnoho dyzainera [Creativity and visual thinking as the basis of art and project competence of the future designer]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedagogichni nauky*, (14), 15–21. https://doi.org/10.59694/ped_sciences.2025.14.015 [in Ukrainian].
2. Kyrychenko, R. V. (2013). Osoblyvosti rozvytku kreatyvnyosti maibutnykh pedahohiv [Peculiarities of creativity development of future teachers]. *Aktualni problemy psykholohii: zbirnyk naukovykh prats Instytutu psykholohii imeni H.S. Kostiuka*, Vol. X, Issue 25, 185–193. Kyiv, Ukraine: DP “Informatsiino-analitychne ahentstvo” [in Ukrainian].
3. *Osvitno-profesiina prohrama Profesiina osvita (Dyzain) 2021-2025 r.* [Educational and professional program Professional education (Design) 2021-2025]. (2021). Retrieved from <https://surl.li/yhanvr> [in Ukrainian].
4. Paniok, T. V., Dai, Ch., & Tsiu, D. (2020). Rozvytok kreatyvnyosti yak ody z holovnykh chynnykiv profesiinoi pidhotovky maibutnykh dyzaineriv [Development of creativity as one of the main factors in the professional training of future designers]. In *Aktualni problemy suchasnoho dyzainu: zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii* (pp. 315–318). Kyiv [in Ukrainian].
5. Petukhova, T. A. (2025). Metodychni stratehii rozvytku kreatyvnoho myslennia studentiv-dyzaineriv u protsesi proiektno-orientovanoho navchannia [Methodological strategies for the development of creative thinking of design students in the process of project-oriented learning]. *Aktualni pytannia u suchasni nauki: Serii "Pedagogika"*, 8(38), 1395–1405. [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2025-8\(38\)-1395-1405](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2025-8(38)-1395-1405) [in Ukrainian].
6. Tkach, M. M. (2019). Problema rozvytku kreatyvnyosti studentiv uprodovzh profesiinoi pidhotovky [The problem of developing students' creativity during professional training]. *Seriia 5. Pedagogichni nauky: realii, perspektyvy*, (66), 191–196. Kyiv: Vyd-vo NPU imeni M. P. Drahomanova [in Ukrainian].
7. Shevchenko, N. F., Abdullaieva, S., & Chepishko, O. (2023). Osoblyvosti tvorchoho potentsialu ta psykholohichni chynnyky yoho rozvytku v studentskoi molodi [Features of creative potential and

psychological factors of its development in student youth]. In Psychological patterns of social processes and personality development in modern society (pp. 494–511). Riga, Latvia: Baltija Publishing. <https://surl.li/xlgqcf> [in Ukrainian].

8. Shevchenko, N. F., & Horban, H. O. (2023). Osoblyvosti rozvytku kreatyvnosti v uchniv pidlitkovoho viku v umovakh dystantsiinoho navchannia [Features of creativity development in adolescents under distance learning conditions]. *Zhurnal suchasnoi psykholohii*, 1, 131–138. <https://doi.org/10.26661/2310-4368/2023-1-16> [in Ukrainian]

9. Yalanska, S. P. (2014). *Psykhologhiia tvorchosti* [Psychology of creativity]. Poltava: PNPУ imeni V. H. Korolenka [in Ukrainian].

10. Smith, K., Pickering, A., & Bhattacharya, J. (2022). The creative life: A daily diary study of creativity, affect, and well-being in creative individuals. *Creativity Research Journal*, 34(4), 460–479. <https://doi.org/10.1080/10400419.2022.2122371> [in English].

11. Tan, C. Y., Chuah, C. Q., Lee, S. T., & Tan, C. S. (2021). Being creative makes you happier: The positive effect of creativity on subjective well-being. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7244. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147244> [in English].

12. Weir, K. (2024). The science behind creativity. *Monitor on Psychology*, 53(3). <https://www.apa.org/monitor/2022/04/cover-science-creativity> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 30.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 02.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 378.091.12:62-051

DOI https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-8

ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ТЕХНОЛОГІЙ ДО ДІЯЛЬНОСТІ В МІЖШКІЛЬНИХ РЕСУРСНИХ ЦЕНТРАХ

Маклаков Костянтин Олександрович,
аспірант кафедри освітніх наук
Центральноукраїнського державного університету
імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0009-0003-5562-5753

У статті здійснено теоретичне обґрунтування педагогічних умов підготовки майбутніх учителів технологій до професійної діяльності в міжшкільних ресурсних центрах як інноваційної форми організації технологічної освіти. Актуальність дослідження зумовлена модернізацією змісту та структури технологічної освітньої галузі, впровадженням ресурсних моделей організації освітнього процесу та необхідністю формування готовності педагогів до роботи в умовах міжшкільної взаємодії, ресурсної концентрації та цифрової трансформації освіти.

На основі аналізу психолого-педагогічної літератури уточнено сутність поняття «педагогічні умови» та визначено їх роль у забезпеченні ефективності професійної підготовки. З'ясовано, що педагогічні умови виступають системним чинником, який поєднує змістові, середовищні, процесуальні й особистісні аспекти підготовки майбутніх учителів технологій.

У процесі дослідження використано методи теоретичного аналізу, узагальнення, систематизації наукових джерел, а також метод експертного оцінювання для визначення пріоритетності умов. За результатами експертного ранжування обґрунтовано комплекс взаємопов'язаних педагогічних умов, що забезпечують формування професійної готовності до діяльності в міжшкільних ресурсних центрах.

До таких умов віднесено: інтеграцію змісту професійної підготовки з урахуванням специфіки діяльності міжшкільного ресурсного центру; створення ресурсно-орієнтованого освітнього середовища з акцентом на розвиток інформаційно-цифрової компетентності; посилення практико-орієнтованої та інноваційної спрямованості підготовки через упровадження діяльнісних форм навчання та педагогічної практики; формування професійної мотивації та рефлексивної культури майбутнього вчителя технологій.

Доведено, що комплексна реалізація визначених умов забезпечує узгодженість структурних компонентів професійної підготовки, сприяє формуванню діяльнісного досвіду, розвитку інноваційного мислення та готовності до організації освітнього процесу в МРЦ. Запропонований підхід може бути використаний у процесі модернізації освітніх програм підготовки майбутніх учителів технологій та в подальших дослідженнях проблеми їх професійної готовності до інноваційної педагогічної діяльності.

Ключові слова: педагогічні умови, професійна підготовка, майбутній учитель технологій, міжшкільний ресурсний центр, інноваційна діяльність, професійна готовність, технологічна освіта.

Maklakov Kostyantyn. Pedagogical Conditions for Preparing Future Technology Teachers for Professional Activity in Interschool Resource Centers

The article provides a theoretical substantiation of the pedagogical conditions for preparing future technology teachers for professional activity in interschool resource centers as an innovative form of organizing technology education. The relevance of the study is determined by the modernization of the content and structure of the technological educational field, the implementation of resource-based models of organizing the educational process, and the need to develop teachers' readiness to work in conditions of interschool cooperation, resource concentration, and digital transformation of education.

Based on the analysis of psychological and pedagogical literature, the essence of the concept of "pedagogical conditions" is clarified and their role in ensuring the effectiveness of professional training is determined. It is

© Маклаков К. О., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

established that pedagogical conditions act as a systemic factor that integrates content-related, environmental, procedural, and personal aspects of preparing future technology teachers.

The study employed methods of theoretical analysis, generalization, and systematization of scientific sources, as well as the method of expert evaluation to determine the priority of the identified conditions. According to the results of expert ranking, a set of interrelated pedagogical conditions that ensure the formation of professional readiness for activity in interschool resource centers has been substantiated.

These conditions include: integration of professional training content taking into account the specifics of interschool resource center activities; creation of a resource-oriented educational environment with a focus on the development of information and digital competence; strengthening of the practice-oriented and innovative orientation of training through the implementation of activity-based learning forms and teaching practice; formation of professional motivation and reflective culture of future technology teachers.

It is proved that the comprehensive implementation of the defined conditions ensures the coherence of the structural components of professional training, contributes to the development of practical experience and innovative thinking, and promotes readiness to organize the educational process in interschool resource centers. The proposed approach can be used in the modernization of educational programs for training future technology teachers and in further research on their professional readiness for innovative pedagogical activity.

Key words: *pedagogical conditions, professional training, future technology teacher, interschool resource center, innovative activity, professional readiness, technology education.*

Вступ. Сучасний етап розвитку технологічної освіти характеризується впровадженням інноваційних підходів до організації освітнього процесу, посиленням міжінституційної взаємодії та створенням нових освітніх структур, зокрема міжшкільних ресурсних центрів (МРЦ). Такі центри виступають відкритими освітніми просторами, що забезпечують концентрацію матеріально-технічних, інформаційних і кадрових ресурсів для реалізації проєктно-технологічної діяльності здобувачів освіти. У зв'язку із цим особливої актуальності набуває проблема підготовки майбутніх учителів технологій до професійної діяльності в умовах інноваційного освітнього середовища.

Система професійної підготовки не повною мірою враховує специфіку організації освітнього процесу в міжшкільних ресурсних центрах, що зумовлює потребу у визначенні та науковому обґрунтуванні педагогічних умов, здатних забезпечити формування готовності майбутніх учителів технологій до виконання нових професійних функцій, які вирізняються від традиційних. Саме тому окреслена проблематика потребує системного теоретичного аналізу та практичного осмислення.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз наукових джерел свідчить про значну увагу учених до проблеми визначення педагогічних умов формування різних складових професійної компетентності майбутніх фахівців, які відображені в теоретичних доробках А. Вербицького, С. Гончаренка, А. Литвина, О. Пехоти, П. Підласого, О. Сухомлинської, Є. Хрикова й інших дослідників.

Проблема визначення й обґрунтування педагогічних умов професійної підготовки майбутніх учителів технологічної освітньої галузі знайшла відображення у працях вітчизняних науковців, які досліджують різні аспекти становлення професійної компетентності педагога. І. Андрощук у своєму дослідженні визначає педагогічні умови підготовки майбутніх вчителів трудового навчання і технологій до педагогічної взаємодії; дослідження Л. Оршанського, І. Нишака, Ю. Павловського полягає у виявленні, вивченні й обґрунтуванні педагогічних умов ефективного формування творчої активності майбутніх учителів трудового навчання у процесі професійної підготовки; С. Ткачук розглянув педагогічні умови формування готовності сучасного вчителя трудового навчання до використання інформаційних технологій; П. Шевцов теоретично обґрунтовує педагогічні умови формування правової компетентності майбутніх учителів технологій у процесі професійної підготовки; М. Бурик у своїй статті визначає та обґрунтовує педагогічні умови формування самоосвітньої компетентності майбутніх учителів трудового навчання та технологій.

Аналіз наукових праць засвідчує багатовекторність досліджень у сфері визначення педагогічних умов професійної підготовки майбутніх учителів технологій. Водночас проблема обґрунтування педагогічних умов їх підготовки до діяльності в міжшкільних ресурсних центрах залишається недостатньо розробленою та потребує спеціального наукового осмислення.

Метою статті є теоретичне обґрунтування та визначення педагогічних умов підготовки майбутніх учителів технологій до діяльності в міжшкільних ресурсних центрах, а також розкриття їх змістового наповнення та ролі у формуванні професійної готовності до інноваційної педагогічної діяльності.

Матеріали та методи. У процесі дослідження було використано низку методів, зокрема: вивчення, аналіз, узагальнення та систематизація психолого-педагогічних, соціально-педагогічних, методичних джерел із проблеми виокремлення та визначення педагогічних умов підготовки майбутніх учителів, метод експертного оцінювання для визначення пріоритетності умов.

Результати. Упровадження освітніх інновацій, орієнтованих на підвищення результативності освітнього процесу, зумовлює потребу в глибокому аналізі та теоретичному осмисленні чинників, що визначають його ефективність, успішність і якість. Як зазначає С. Гончаренко, педагогічний процес визначається такими взаємопов'язаними компонентами: мета, завдання, зміст, методи, засоби та форми взаємодії педагогів і вихованців, результат [2, с. 253]. Аналіз психолого-педагогічної літератури дає підстави стверджувати, що проблема створення умов, які забезпечують ефективність педагогічного процесу, є актуальною і водночас недостатньо розробленою в педагогічній теорії і практиці. Потрібно зазначити, що саме поняття «умова» трактується дослідниками неоднозначно, оскільки одні вчені вважають, що умова – це правило, яке забезпечує нормальну роботу будь-чого, інші визначають її як категорію, яка виявляє ставлення предмета до навколишніх явищ, без яких він існувати не може. Це пояснюється, на нашу думку, неоднозначністю філософського трактування цього феномену.

На цій основі постає потреба у виокремленні та науковому обґрунтуванні таких умов, за яких інноваційні перетворення є не лише можливими, а й педагогічно доцільними та результативними.

Потребує уточнення конструкт «педагогічні умови». На думку А. Литвина, «педагогічні умови – комплекс спеціально спроектованих генеральних чинників впливу на зовнішні та внутрішні обставини навчально-виховного процесу й особистісні параметри всіх його учасників. Педагогічні умови забезпечують цілісність навчання та виховання в інформаційно-освітньому середовищі закладу освіти відповідно до вимог суспільства та запитів ринку праці, сприяють всебічному гармонійному розвитку особистості та створюють сприятливі можливості для виявлення її задатків, урахування потреб і формування загальнолюдських і професійно важливих якостей, базових кваліфікацій, ключових, загальних і професійних компетентностей» [5, с. 33].

Зокрема, науковець пропонує комплекс педагогічних умов, що можуть стосуватися як стратегії розвитку певної ланки освіти (загальної чи професійної) загалом, так і освітньої системи певного закладу освіти. Автор зазначає, «комплекс є достатньо універсальним і може застосовуватися для проектування технології формування окремих складових компетентності майбутніх фахівців у процесі загально-наукової, загальнопрофесійної та професійно орієнтованої підготовки». До таких умов А. Литвин відносить: 1) ресурсне забезпечення; 2) обставини та середовище; 3) позицію педагога; 4) ставлення учнів (студентів); 5) спрямованість на особистість [там само, с. 29–31].

С. Ткачук розглядає педагогічні умови «як один з компонентів педагогічної системи, що відбиває сукупність можливостей освітнього і матеріально-просторового середовища, що впливають на особовий і процесуальний аспекти цієї системи і що забезпечують її ефективне функціонування і розвиток» [8, с. 390].

Розглядаючи психолого-педагогічні умови формування професійно-педагогічної компетентності майбутніх учителів, З. Курлянд [4] визначає, що «це – створення позитивної мотиваційної настанови на педагогічну діяльність у просторі креативно-професійного середовища вищого педагогічного навчального закладу; професійно-педагогічна спрямованість оновленого змісту, форм і методів фахової підготовки майбутніх учителів; створення науково-методичного забезпечення організації навчально-виховного процесу, що відображає динаміку реалізації власної освітньої траєкторії кожного студента».

Аналіз розуміння сутності поняття «педагогічні умови» дає можливість окреслити кілька ключових положень. Отже, педагогічна умова є складовою цілісної педагогічної системи й функціонує у взаємозв'язку з її метою, змістом, формами, методами та результатами навчання.

Педагогічні умови охоплюють сукупність можливостей освітнього й матеріального середовища. Ідеться про методи, форми, засоби та прийоми навчання, а також інформаційні, технічні й навчально-методичні ресурси, які забезпечують організацію освітнього процесу. Водночас вони мають динамічний характер, оскільки змінюються залежно від цілей підготовки й особливостей освітнього середовища.

З метою визначення пріоритетних педагогічних умов підготовки майбутніх учителів технологій до діяльності в міжшкільних ресурсних центрах у межах дослідження було застосовано метод експертного оцінювання. Для цього сформовано експертну групу, до складу якої увійшли науково-педагогічні працівники закладів вищої освіти, які здійснюють підготовку здобувачів за спеціальністю А4.10 «Середня освіта (Технології)» і мають практичний досвід організації методичної та практичної підготовки майбутніх учителів.

У процесі опитування експертам було запропоновано здійснити ранжування визначених педагогічних умов за ступенем їх значущості для забезпечення ефективності підготовки майбутніх учителів технологій до професійної діяльності в умовах міжшкільного ресурсного центру. За результатами проведеного експертного оцінювання визначено перелік педагогічних умов, які експерти визнали найбільш значущими для забезпечення ефективності цього процесу, зокрема:

1. Інтеграція змісту професійної підготовки з урахуванням специфіки діяльності міжшкільного ресурсного центру.
2. Створення ресурсно-орієнтованого освітнього середовища.
3. Посилення практико-орієнтованої та інноваційної спрямованості підготовки.
4. Формування професійної мотивації та рефлексивної культури майбутнього вчителя технологій.

Розглянемо кожну з педагогічних умов детальніше.

Перша умова передбачає цілеспрямоване оновлення навчальних планів і освітніх програм, введення модулів та вибіркового дисциплін, орієнтованих на організацію, методика й управління діяльністю в МРЦ, а також забезпечення наскрізної інтеграції теоретичної, методичної та практичної складових підготовки. Одним із механізмів реалізації інтеграції змісту професійної підготовки є впровадження вибіркової навчальної дисципліни «Методика організації освітнього процесу з технологій у міжшкільному ресурсному центрі», спрямованої на формування методичної готовності майбутнього вчителя до проєктування, реалізації та оцінювання освітньої діяльності в ресурсно насиченому середовищі. Дисципліна виконує інтегративну функцію, поєднуючи теоретичну підготовку, педагогічну практику та реальні професійні завдання діяльності в МРЦ.

Такий підхід забезпечує узгодженість компонентів професійної підготовки й формування цілісного уявлення про функції та специфіку роботи в освітньому середовищі центру. Погоджуємося з О. Хищенком, який уважає, що важливе завдання професійно-педагогічної підготовки майбутніх учителів трудового навчання полягає у підготовці творчих педагогів, здатних

самостійно мислити, аналізувати різноманітні методичні та практичні матеріали, альтернативні підручники, програми, здійснювати їх відбір і будувати власну роботу відповідно до сучасних вимог розвитку системи освіти [9, с. 423].

Друга умова полягає у створення в закладі вищої педагогічної освіти сучасного освітнього простору, який забезпечує доступ до матеріально-технічних, інформаційних і цифрових ресурсів, необхідних для підготовки до діяльності в міжшкільному ресурсному центрі. Йдеться про функціонування технологічних майстерень, STEM/STEAM-просторів, лабораторій, використання спеціалізованого програмного забезпечення, цифрових платформ для проектування, моделювання, управління освітнім процесом.

Ресурсно-орієнтоване середовище має забезпечувати не лише матеріальну основу підготовки, а й цілеспрямований розвиток інформаційно-цифрової компетентності майбутніх учителів технологій, що передбачає здатність ефективно використовувати цифрові інструменти в освітній, проєктній та організаційній діяльності, здійснювати пошук, аналіз, оброблення та представлення інформації, а також організовувати цифрову взаємодію в умовах освітнього простору. Як зазначає М. Близнюк, у сучасній технологічній освіті інформаційні технології виконують багатофункціональну роль і застосовуються за кількома взаємопов'язаними напрямками. Передусім вони виступають засобом підвищення якості та ефективності навчання, удосконалюючи процес викладання й організацію пізнавальної діяльності учнів. Водночас слугують інструментом навчання й самопізнання, сприяють творчому розвитку молоді та розширюють можливості для індивідуалізації освітнього процесу [2, с. 46].

Освітнє середовище у ЗВО створює об'єктивні передумови для реалізації інноваційних форм навчання та професійної діяльності, забезпечує варіативність освітнього процесу та його відповідність сучасним вимогам технологічної освіти. Важливо забезпечити доступ студентів до STEM/STEAM-просторів, оскільки «метою розвитку STEM-освіти в Україні є комплексне поширення інноваційних методик викладання та об'єднання зусиль учасників освітнього процесу і соціальних партнерів у формуванні необхідних компетентностей здобувачів освіти, що нададуть можливість подолати труднощі, поєднавши природничі науки, технології, інженерію та математику», що є актуальним у підготовці майбутнього вчителя технологій [3, с. 159].

Третя умова відображає процесуальний аспект підготовки та передбачає організацію навчально-професійної діяльності студентів на засадах діяльнісного й інноваційного підходів. Її реалізація забезпечується через систематичне використання проєктного навчання, кейс-методу, тренінгових технологій, моделювання професійних ситуацій, групових форм роботи тощо.

Ключовим механізмом реалізації цієї умови є педагогічна практика, зорієнтована на виконання організаційно-управлінських, координаційних і методичних функцій у міжшкільних ресурсних центрах. Такий підхід забезпечує набуття реального професійного досвіду та формування діяльнісного компонента готовності.

Розвиток інноваційних технологій створює нові можливості для вдосконалення процесу навчальної та дослідницької діяльності в контексті особистісно орієнтованої концепції [10].

Четверта умова передбачає розвиток стійкої мотивації до інноваційної діяльності в ресурсному освітньому середовищі, усвідомлення соціальної значущості діяльності МРЦ, формування здатності до самоаналізу, ведення професійного портфоліо, оцінювання результатів проєктної та практичної діяльності. У межах цієї умови також забезпечується розвиток психологічної та інклюзивної готовності до роботи з різнорідними учнівськими групами.

Цілком погоджуємося з Л. Оршанським, який стверджує, що мотиваційний чинник сприяє утвердженню усвідомленого становлення студентів допрофесійної підготовки, формуванню переконання у її необхідності для професійного становлення сучасного педагога; породжує бажання до постійного саморозвитку, тобто потребу в задоволенні суспільних та особистісних цілей навчання [6, с. 14].

Таким чином, реалізація окреслених організаційно-педагогічних умов забезпечує системне формування професійної готовності майбутніх учителів технологій до інноваційної діяльності в міжшкільному ресурсному центрі як інтегративного результату їх професійної підготовки.

Висновки. За результатами проведеного дослідження з'ясовано, що ефективність підготовки майбутніх учителів технологій до діяльності в міжшкільних ресурсних центрах забезпечується системною реалізацією взаємопов'язаних педагогічних умов. На основі теоретичного аналізу наукових джерел і результатів експертного оцінювання визначено чотири пріоритетні умови: інтеграцію змісту професійної підготовки з урахуванням специфіки діяльності МРЦ; створення ресурсно-орієнтованого освітнього середовища; посилення практико-орієнтованої та інноваційної спрямованості підготовки; формування професійної мотивації та рефлексивної культури майбутнього вчителя технологій.

Обґрунтовано, що їх комплексна реалізація забезпечує узгодженість змістового, середовищного, процесуального й особистісного компонентів підготовки, сприяє розвитку інформаційно-цифрової компетентності, формуванню діяльнісного досвіду та стійкої мотивації до інноваційної професійної діяльності. Запропонований комплекс педагогічних умов може бути використаний у процесі модернізації освітніх програм підготовки майбутніх учителів технологій та подальших наукових дослідженнях проблеми професійної готовності до роботи в міжшкільних ресурсних центрах.

Література:

1. Близнюк М. М. Інноваційні технології в галузі технологічної освіти. *Технологічна і професійна освіта: проблеми і перспективи* : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 21 жовтня 2022 р. Глухів : Глухівський НПУ ім. О. Довженка, 2022. С. 45–49.
2. Гончаренко С. У. Український педагогічний словник. Київ : Либідь, 1997. 376 с.
3. Інноваційні технології в сучасному освітньому просторі: колективна монографія / за заг. ред. Г. Л. Єфремової. Суми : Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2020. 444 с.
4. Курлянд З. Н. Психолого-педагогічні умови формування професійно-педагогічної компетентності майбутніх учителів. *Наука і освіта : наук.-практ. журнал*. 2008. № 8–9. С. 171–176. URL: <http://dspace.pdpu.edu.ua/bitstream/123456789/5791/1/Kurland.pdf>.
5. Литвин А. В. Методологічні засади поняття «педагогічні умови»: практ. посіб. 3-тє вид., доп. Львів : ЛДУБЖД, 2022. 90 с.
6. Оршанський Л. В., Нищак І. Д., Павловський Ю. В. Педагогічні умови формування творчої активності майбутніх учителів трудового навчання у процесі професійної підготовки. *Молодь і ринок*. 2022. № 1 (199). С. 12–18. URL: <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2022.254027>.
7. Проектування змісту профільного навчання технологій у старшій школі : колективна монографія / А. М. Тарара, В. В. Вдовченко, Т. С. Мачача, В. І. Туташинський. Київ : Педагогічна думка, 2017. 361 с.
8. Ткачук С. Педагогічні умови формування готовності сучасного вчителя трудового навчання до використання інформаційних технологій. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2016. № 44. С. 388–391. URL: <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/3199>.
9. Хищенко О. О. Особливості підготовки майбутніх учителів до інноваційної діяльності на уроках трудового навчання. *Молодий вчений*. 2020. № 5 (81). С. 420–425. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-5-81-86>.
10. Tsyna A., Tsyna V., Novopysmennyi S., Blyzniuk M., Rudencenko A., Chystiakova L. et al. The Impact of Advanced Educational Technologies on Research in the Digital Age. *Metaverse Basic and Applied Research* [Internet]. 2025. Vol. 4. <https://mr.ageditor.ar/index.php/mr/article/view/166>. ISSN-e 2953-4577. <https://doi.org/10.56294/mr2025166>.

References:

1. Blyzniuk, M.M. (2022). Innovatsiini tekhnolohii v haluzi tekhnolohichnoi osvity [Innovative technologies in the field of technology education]. In *Tekhnolohichna i profesiina osvita: problemy i perspektyvy: materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 45–49). Hlukhivskiyi NPU im. O. Dovzhenka [in Ukrainian].

2. Honcharenko, S.U. (1997). *Ukrainskyi pedahohichnyi slovnyk* [Ukrainian pedagogical dictionary]. Lybid [in Ukrainian].
3. Innovatsiini tekhnolohii v suchasnomu osvithnomu prostori [Innovative technologies in the modern educational space]. (2020). In H. L. Yefremova (Ed.), *Kolektyvna monohrafiia*. Vyd-vo SumDPU imeni A. S. Makarenka [in Ukrainian].
4. Kurliand, Z. N. (2008). Psykholoho-pedahohichni umovy formuvannia profesiino-pedahohichnoi kompetentnosti maibutnikh uchyteliv [Psychological and pedagogical conditions for the formation of professional and pedagogical competence of future teachers]. *Nauka i osvita*, (8–9), 171–176. URL: <http://dspace.pdpu.edu.ua/bitstream/123456789/5791/1/Kurliand.pdf> [in Ukrainian].
5. Lytvyn, A.V. (2022). Metodolohichni zasady poniattia “pedahohichni umovy” [Methodological foundations of the concept of “pedagogical conditions”] (3rd ed.). LDUBZhd [in Ukrainian].
6. Orshanskyi, L.V., Nyshchak, I.D., & Pavlovskyi, Yu.V. (2022). Pedahohichni umovy formuvannia tvorchoi aktyvnosti maibutnikh uchyteliv trudovoho navchannia u protsesi profesiinoi pidhotovky [Pedagogical conditions for the formation of creative activity of future teachers of labor training in the process of professional training]. *Molod i rynek*, 1 (199), 12–18. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2022.254027> [in Ukrainian].
7. Tarara, A.M., Vdovchenko, V.V., Machacha, T.S., & Tutashynskyi, V.I. (2017). Proektuvannia zmistu profilnoho navchannia tekhnolohii u starshii shkoli [Designing the content of specialized technology education in high school]. *Pedahohichna dumka* [in Ukrainian].
8. Tkachuk, S. (2016). Pedahohichni umovy formuvannia hotovnosti suchasnoho vchytelia trudovoho navchannia do vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii [Pedagogical conditions for forming the readiness of a modern teacher of labor training to use information technologies]. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 44, 388–391. Retrieved from <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/3199> [in Ukrainian].
9. Khyshchenko, O.O. (2020). Osoblyvosti pidhotovky maibutnikh uchyteliv do innovatsiinoi diialnosti na urokakh trudovoho navchannia [Features of preparing future teachers for innovative activity in labor training lessons]. *Molodyi vchenyi*, 5 (81), 420–425. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-5-81-86> [in Ukrainian].
10. Tsyna, A., Tsyna, V., Novopysmennyi, S., Blyzniuk, M., Rudencenko, A., Chystiakova, L., et al. (2025). The impact of advanced educational technologies on research in the digital age. *Metaverse Basic and Applied Research*, 4. <https://doi.org/10.56294/mr2025166> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 29.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 378.147:004:51

DOI https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-9

ІНТЕГРАЦІЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН У ПРАКТИЧНУ ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК: МЕТОДОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ

Мироненко Оксана Василівна,

кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій
Економіко-технологічного інституту імені Роберта Ельворті
ORCID ID: 0000-0001-8967-0171

Паращук Степан Дмитрович,

кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій
Економіко-технологічного інституту імені Роберта Ельворті
ORCID ID: 0000-0002-8609-3206

Ізвалов Олексій Володимирович,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій
Економіко-технологічного інституту імені Роберта Ельворті
ORCID ID: 0000-0002-4935-7153

В умовах розвитку AI, GameDev та кібербезпеки виникає потреба у розумінні математичного апарату, прихованого за програмним кодом. Дослідження спрямоване на подолання розриву між академічним викладанням математики та прикладними вимогами IT-індустрії. Робота присвячена аналізу міждисциплінарних зв'язків між розділами та темами фундаментальних математичних дисциплін та структурними елементами фахових дисциплін у підготовці бакалаврів комп'ютерних наук. Розглядається практична імплементація математичного апарату в таких сферах, як Data Science, комп'ютерна графіка, кібербезпека та розробка ігрового штучного інтелекту. Особливу увагу приділено впровадженню розв'язання реальних інженерних кейсів в навчальний процес.

Метою роботи є демонстрація та аналіз проєкції на актуальні IT-технології та у конкретні інженерні навички класичних математичних теорій і ключових розділів математичних дисциплін: елементарна математика та тригонометрія, вища математика (лінійна алгебра та математичний аналіз), теорія ймовірностей, ймовірнісні процеси та математична статистика (окрему увагу приділено використанню законів розподілу: нормальний розподіл, розподіл Пуассона), теорія інформації, дискретна математика (зокрема, теорія графів), теорія чисел і криптографія та чисельні методи.

Результатом дослідження стала розробка матриці практичних інженерних кейсів, яка встановлює пряму відповідність між математичним концептом та IT-технологією. Запропонований підхід дозволяє сформувати у студентів цілісний інженерний світогляд, підвищити мотивацію до вивчення фундаментальних дисциплін та забезпечити підготовку конкурентоспроможних фахівців, здатних створювати та усвідомлено використовувати оптимізовані та надійні програмні продукти.

Ключові слова: IT-освіта, підготовка фахівців комп'ютерних наук, теорія ймовірностей, дискретна математика, теорія графів, лінійне програмування, Big Data, процедурна генерація, теорія ігор, криптографія.

Myronenko Oksana, Parashchuk Stepan, Izvalov Oleksii. Integration of fundamental mathematical disciplines into the practical training of computer science specialists: methodological aspect

In the context of the development of AI, GameDev and cybersecurity, there is a need to understand the mathematical apparatus hidden behind the program code. The research is aimed at bridging the gap between academic teaching of mathematics and the applied requirements of the IT industry. The work is devoted to the analysis of interdisciplinary connections between sections and topics of fundamental mathematical disciplines and structural elements of professional disciplines in the training of bachelors of computer science. The practical implementation of mathematical tools in such areas as Data Science, computer graphics, cybersecurity, and the development of gaming artificial intelligence is considered. Special attention is paid to the implementation of solving real engineering cases in the educational process.

The aim of the work is to demonstrate and analyze the projection onto current IT technologies and into specific engineering skills of classical mathematical theories and key sections of mathematical disciplines: elementary mathematics and trigonometry, higher mathematics (linear algebra and mathematical analysis), probability theory, probabilistic processes and mathematical statistics (special attention is paid to the use of distribution laws: normal distribution, Poisson distribution), information theory, discrete mathematics (in particular, graph theory), number theory and cryptography and numerical methods.

The result of the research was the development of a matrix of practical engineering keys, which establishes a direct correspondence between a mathematical concept and IT technology. The proposed approach allows students to form a holistic engineering worldview, increase motivation to study fundamental disciplines and ensure the training of competitive specialists who are able to create and consciously use optimized and reliable software products.

Key words: *IT education, training of computer science specialists, probability theory, discrete mathematics, graph theory, linear programming, Big Data, procedural generation, game theory, cryptography.*

Вступ. Сучасна парадигма ІТ-освіти вимагає відходу від абстрактного викладання математики. Студенти часто не бачать прямого зв'язку між сухими формулами та написанням програмного коду. Актуальність інтеграції математичних дисциплін у підготовці фахівців комп'ютерних наук зумовлена стрімким розвитком інформаційних технологій, зростанням вимог до аналітичних навичок та здатності працювати з великими обсягами даних.

Сучасний ринок праці потребує спеціалістів, які володіють не лише практичними навичками програмування, а й здатні застосовувати математичні методи для моделювання, оптимізації та прогнозування. Тому питання інтеграції математики в ІТ-освіті є надзвичайно актуальним та важливим для забезпечення конкурентоспроможності випускників та їхньої готовності до викликів цифрової економіки.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблему підготовки фахівців ІТ-сфери, що потребує вдосконалення математичної складової, рівня сформованості інформаційно-цифрової компетентності [5; 6], розширення і поглиблення вивчення математичних дисциплін розглядали автори робіт [2, 7–9]. Методику дослідження міждисциплінарних зв'язків при підготовці фахівців інженерних спеціальностей наведено в роботах [1; 3; 4]. Зокрема, вдосконалення навчальних програм математичних дисциплін для розвитку креативного мислення фахівців комп'ютерних наук розглядає група авторів Титова О., Лузан П., Сосницька Н., Кулешов С., Супрун О. [10]. Але не прослідковуються лінійні зв'язки безпосередньо з розділами базових математичних дисциплін, що входять до освітньо-професійної програми бакалавра спеціальностей 122–Комп'ютерні науки та 123–Комп'ютерна інженерія.

Проведений аналіз досліджень і публікацій показав, що цей напрямок дослідження взаємозв'язків між фундаментальними та фаховими дисциплінами ставить нові вимоги до ІТ-освіти.

Матеріали та методи. Методи аналізу і синтезу та порівняння застосовані до розгляду трансформації класичних розділів математики у конкретні навички програміста та результати його праці.

1. Елементарна математика та тригонометрія: кінематика віртуальних світів

Часто студенти молодших курсів ігнорують шкільну програму тригонометрії, вважаючи її "пройденим етапом". Проте у розробці ігор (GameDev) тригонометричні функції є основою

руху та взаємодії об'єктів. На відміну від абстрактних задач на доведення тотожностей, у програмуванні тригонометрія вирішує задачу перетворення кутів у вектори руху і навпаки. Рух об'єкта, тобто реалізація переміщення персонажа під певним кутом неможлива без розуміння проєкцій вектора швидкості на осі координат: $v_x = v \cdot \cos(\alpha)$ та $v_y = v \cdot \sin(\alpha)$.

Функція `atan2` (арктангенс двох аргументів (`Math.atan2(y, x)`)) є однією з найбільш використовуваних функцій у стандартних бібліотеках мов (C++, C#, Python, JS). Вона дозволяє визначити кут повороту об'єкта (наприклад, гармати танка або погляду персонажа) до цілі за координатами миші, автоматично враховуючи знаки чвертей координатної площини, що рятує код від громіздких умов `if-else`.

У процедурній анімації для створення ефекту "дихання" інтерфейсу, плавання об'єктів у воді, розрахунку віддачі зброї (`recoil patterns`) або генерації хвиль використовуються синусоїдальні функції (`sin(time)`). Розуміння періоду, амплітуди та частоти коливань дозволяє програмісту створювати "живі" анімації без використання важких графічних асетів.

2. Вища математика

Для повноцінної підготовки Computer Science фахівця (особливо в контексті тем 3D-моделювання, штучний інтелект (ШІ) та Data Science) критично важливим є обговорення таких фундаментальних розділів (стовпів) Вищої математики, як лінійна алгебра та математичний аналіз (Calculus).

Лінійна алгебра є найголовнішим елементом для 3D-моделювання та комп'ютерної графіки. Комп'ютерна графіка неможлива без матриць, векторів, кватерніонів та лінійних перетворень (обертання, масштабування, переміщення). В ML/AI: Робота нейронних мереж – це по суті множення величезних матриць. Без розуміння власних векторів та власних чисел (`eigenvectors/eigenvalues`) неможливо зрозуміти, як працює, наприклад, метод головних компонент (PCA) для зменшення розмірності даних.

В сучасному Machine Learning оптимізація базується на таких напрямках математичного аналізу (Calculus), як знаходження градієнта. Поняття похідної, градієнтного спуску (Gradient Descent), часткових похідних – це двигун, який навчає нейромережі. В свою чергу у GameDev фізичні рушії ігор базуються на диференціальних рівняннях та інтегруванні (наприклад, рух тіл та балістика).

3. Теорія ймовірностей та математична статистика

Одним із найбільш затребуваних напрямків сьогодні є робота з базами даних. У ході дискусії було визначено, що базові поняття теорії ймовірностей є критичними для розуміння Big Data та систем масового обслуговування.

Такі числові характеристики випадкових величин, як поняття моди, медіани, дисперсії та середнього квадратичного відхилення не є просто абстрактними величинами. Для розробників сервісів на кшталт YouTube або Netflix це інструменти аналізу «утримання аудиторії» та аналізу поведінки користувачів. Наприклад, аналіз квантилів дозволяє відсіяти аномально короткі або довгі сесії перегляду, допомагає точніше налаштувати рекомендаційні алгоритми (рис. 1).

У комп'ютерній графіці та 3D-моделюванні широко застосовуються закони розподілу випадкових величин. Окремий інтерес становить застосування законів розподілу випадкових величин у процедурній генерації контенту (PCG).

Рівномірний розподіл - найпростіший тип випадковості (`rand()`), який, однак, виглядає неприродно при створенні органічних об'єктів.

Нормальний розподіл (Гауса) використовується для генерації ландшафтів (висоти гір) та розкиду характеристик ігрових персонажів.

Розподіл Пуассона є основою для вирішення проблеми з наведеного прикладу задачі моделювання «посипки на пончику» (Blender Guru tutorial context). Рівномірний розподіл призводить до злипання об'єктів та утворення порожнеч. Натомість використання алгоритмів,

заснованих на розподілі Пуассона (Poisson Disk Sampling), дозволяє досягти рівномірного, але випадкового покриття поверхні, що є стандартом у сучасній комп'ютерній графіці (рис. 2).

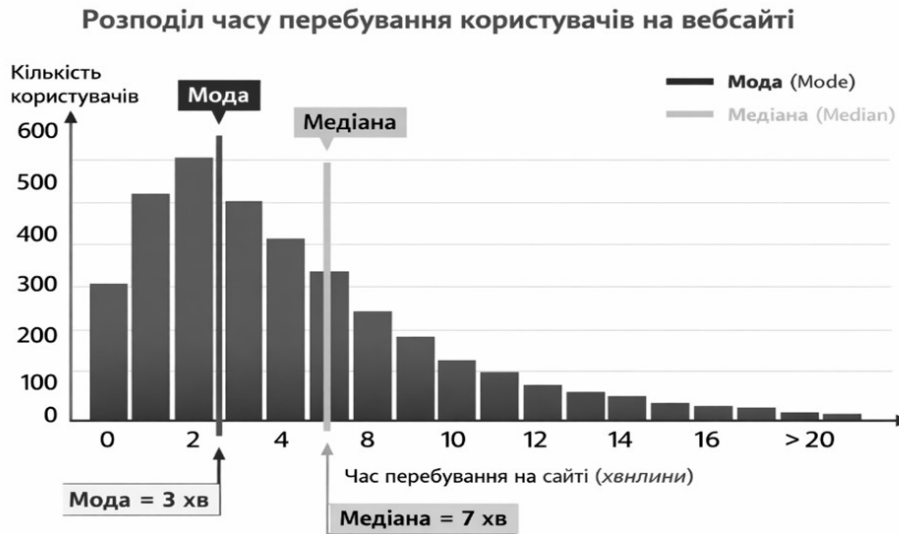


Рис. 1. Гістограма розподілу часу перебування користувачів на вебсайті із зазначенням моди та медіани

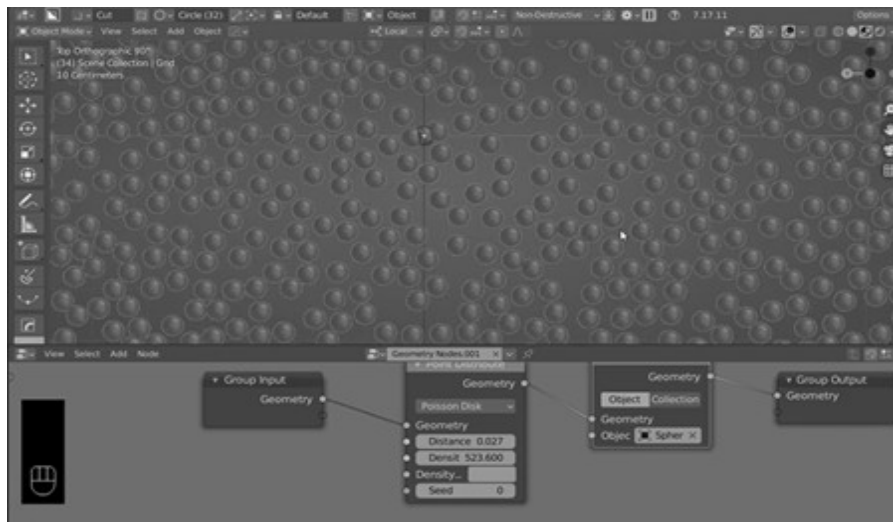


Рис. 2. Розподіл об'єктів у програмі 3D-моделювання Blender за диском Пуассона

Випадкові процеси та теорія масового обслуговування знайшли своє застосування у роботі комп'ютерних мереж. Так, стаціонарні випадкові процеси є математичною моделлю для проектування архітектури серверів. Задача оцінки необхідних потужностей для вебсайту, щоб він витримав пікові навантаження (DDoS-атаки або «ефект Чорної п'ятниці»), вирішується методами теорії масового обслуговування. Потік заявок на сервер моделюється як найпростіший потік подій (потік Пуассона).

Регресійний аналіз та кореляційні зв'язки необхідні для моделювання, зокрема, у бізнес-інформатиці. Вивчаючи дисципліну «Бізнес-інформатика», студенти використовують кореляційно-регресійний аналіз для прогнозування реальних процесів. В якості прикладу наведено практичну задачу з аналізу даних сервісів велопрокату: залежність попиту від локації станції, погоди та часу доби дозволяє оптимізувати логістику переміщення велосипедів (електричних самокатів) між станціями.

4. Теорія інформації

Теорія інформації – місток між ймовірністю та Data Science. Сучасна підготовка ІТ-фахівця неможлива без основ теорії інформації Клода Шеннона. Ця дисципліна демонструє, як логарифми та ймовірності трансформуються у ефективність зберігання та передачі даних.

Вивчення теорії інформації надає студентам розуміння поняття ентропії, що дозволяє їм зрозуміти межі стиснення інформації. Алгоритми архівації (ZIP) або кодування медіа (JPEG, MP3) базуються на видаленні надлишковості даних. Розуміння алгоритму Хаффмана (Huffman coding) є чудовим прикладом застосування бінарних дерев та ймовірнісного підходу для мінімізації обсягу пам'яті.

У контексті штучного інтелекту теорія інформації пояснює, як мережа «вчиться». Функція втрат перехресної ентропії (Cross-Entropy Loss), яка є стандартом для задач класифікації в Deep Learning, фактично вимірює відстань між передбаченим розподілом ймовірностей та реальним. Без розуміння логарифмічної природи цієї метрики студенту важко зрозуміти поведінку градієнтного спуску при навчанні моделі.

5. Дискретна математика: логіка, множини та криптографія

Комп'ютерна дискретна математика формує «алгоритмічний скелет» мислення будь-якого розробника, зокрема розробника програмного забезпечення. Розглянемо деякі її розділи в світлі комп'ютерних технологій.

Теорія множин є основою у базах даних та 3D-геометрії. Операції над множинами мають пряму проєкцію в інженерні задачі. Зокрема, SQL-запити, такі як операції JOIN, UNION, INTERSECT є прямою реалізацією теоретико-множинних операцій та їх законів. У 3D-моделюванні булеві операції над множинами (об'єднання, різниця, перетин) використовуються для створення складних форм з примітивів CSG (Constructive Solid Geometry). Наприклад, щоб зробити отвір у стіні, необхідно від об'єкта «стіна» відняти об'ємний об'єкт «паралелепіпед».

Невід'ємною частиною кодування є булева алгебра та алгоритми оптимізації коду. Розуміння законів де Моргана, диз'юнктивних та кон'юнктивних нормальних форм дозволяє спрощувати складні логічні умови в коді (if, while). Це не лише покращує читабельність коду (Clean Code), але й, у випадку низькорівневого програмування або розробки під мікроконтролери, суттєво економить такти процесора.

Комбінаторика та основи кібербезпеки. Комбінаторний аналіз є базою для розуміння стійкості криптографічних систем. На практичних заняттях студенти розраховують ентропію паролів: перехід від алфавіту з 26 символів до алфавіту з цифрами та спеціальними символами (наприклад, 72 символи) при довжині пароля L збільшує складність перебору від 26^L до 72^L . Це наочно демонструє студентам складність коду та важливість політики безпеки.

Теорія графів є одним з найбільш застосовних розділів комп'ютерної дискретної математики у різноманітних напрямках Computer Science.

Розділи теорії графів, зокрема маршрути та ваги на графах, є фундаментом роботи нейронних мереж у штучному інтелекті. Так, алгоритми пошуку шляху є первинною основою від класичної задачі комівояжера до алгоритмів A^* (A-star), адже все це базується на зважених графах. Студенти реалізують ці алгоритми як для логістичних задач (навігатори, доставка), так і для переміщення юнітів у стратегічних іграх.

Деревні конфігурації, T-факторизації, проходження гілок, рівнів та розгалужень на деревах дає можливість розуміти і знаходити всі можливі варіанти рішень практичних задач та ігрових ситуацій. Участь студентів у різноманітних конкурсах, таких як IBM "Ponder This", часто вимагає нестандартного використання графів. Зокрема, деревні конфігурації та генерація лабіринтів були згадані в задачі, де генерація ідеального лабіринту зводилася до побудови кістякового дерева (spanning tree) на графі клітин. Також дерева рішень (Game Trees) є основою для ство-

рення ботів у іграх з повною інформацією таких, як «Хрестики-нулики», візуалізація дерева рішень якої представлена на рис. 3, шахи та інші.

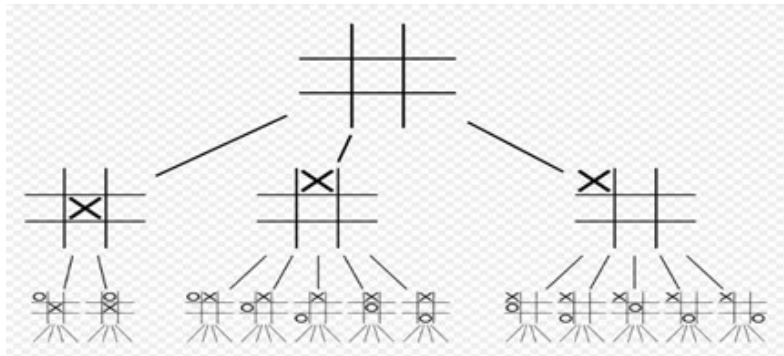


Рис. 3. Дерево рішень для гри «Хрестики-нулики»

5. Дослідження операцій та методи оптимізації

В комп'ютерному програмуванні широко використовується математичне моделювання ситуацій, де необхідно знайти оптимальне (найкраще) рішення при обмежених ресурсах (вихідних даних). Лінійне програмування дозволяє вирішувати безліч практичних задач, зокрема економічних та побутових.

Класична «задача про наплічник (рюкзак)» (Knapsack problem) або транспортна задача розглядаються не лише теоретично. Студенти вчаться розв'язувати їх декількома шляхами:

- 1) аналітично, використовуючи логічні міркування та методи лінійного програмування (симплекс-метод і метод потенціалів);
- 2) інструментально, використовуючи надбудову для пошуку розв'язку «Розв'язувач» (Solver) в MS Excel для швидкого прототипування;
- 3) програмно, реалізуючи симплекс-метод або жадібні алгоритми мовами Python та C++.

Пакет завдань для студентів також включає задачу про призначення (Assignment problem) – оптимальний розподіл співробітників по задачах на основі їх ефективності, що є актуальним для менеджменту ІТ-проектів.

Теорія ігор та мультиагентні системи. На старших курсах (зокрема, в рамках дисципліни «Штучний інтелект») теорія ігор переходить у практичну площину. Студенти розробляють інтелектуальних агентів для ігор. Навчальний процес будується поетапно:

- I. Створення бота, що робить випадкові ходи (Random Walker).
- II. Створення бота, що аналізує поточну ситуацію (Greedy strategy).
- III. Створення бота, що прораховує ходи наперед (Minimax algorithm).

Фіналом навчання є проведення турніру між програмами студентів, що додає елемент гейміфікації в освітній процес (рис. 4).

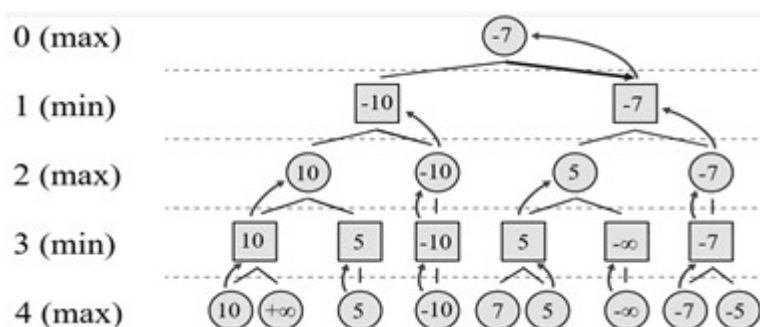


Рис. 4. Приклад схеми роботи алгоритму Мінімаксу

6. Чисельні методи

Комп'ютери не працюють з дійсними числами ідеально точно (проблема $0.1 + 0.2 \neq 0.3$). Ця особливість збереження дійсних чисел у бінарному форматі із обмеженням довжини мантиси можна проілюструвати навіть у Excel і для студентів нетехнічних спеціальностей (маркетинг, менеджмент). Розглядаємо уявну ситуацію: у банку акція – кожен день гроші на рахунку збільшуються в 11 разів, а банк за це бере одну гривню. Пропонуємо студентам розрахувати, як зміниться сума вкладу протягом місяця, якщо спочатку вона становила 10 копійок (0.1 гривні). Для цього у комірку A1 вводиться число 0.1, а у комірку A2 вводиться формула: $= A1 * 11 - 1$. З чисто математичної точки зору сума не повинна змінюватися, оскільки $0.1 * 11 - 1 = 0.1$. Зміни також і не помітні, якщо склонувати формулу з комірки A2 на кілька рядків нижче. Проте, при подальшому клонуванні похибка стане все більш явною (рис.5).

	A	10	0.100000019	20	493.9198573
1	0.1	11	0.100000209	21	5432.11843
2	0.1	12	0.100002304	22	59752.30274
3	0.1	13	0.100025341	23	657274.3301
4	0.1	14	0.100278748	24	7230016.631
5	0.1	15	0.103066233	25	79530181.94
6	0.1	16	0.133728561	26	874832000.3
7	0.1	17	0.471014168	27	9623152003
8	0.1	18	4.181155846	28	1.05855E+11
9	0.100000002	19	44.9927143	29	1.1644E+12
10	0.100000019	20	493.9198573	30	1.28084E+13

Рис. 5. Накопичення похибки протягом 30 кроків

Тому важливим є розуміння похибок округлення, апроксимації функцій, інтерполяції – це те, що відрізняє інженера від кодера-початківця, особливо в наукомісткому софті.

7. Теорія чисел.

Якщо раніше теорія чисел вважалася "найчистішою" та найбільш абстрактною галуззю математики, то в епоху блокчейну та HTTPS вона стала основою цифрової безпеки.

Модульна арифметика: Операція знаходження залишку від ділення (modulo operation, %) є ключовою для побудови циклічних груп. Обмін ключами Діффі-Гелмана, що захищає з'єднання у месенджерах, базується на складності задачі дискретного логарифмування у скінченних полях. Студенти мають усвідомити, що безпека їхніх банківських транзакцій тримається на складності обернених математичних операцій.

Еліптичні криві (ECC): Сучасні стандарти шифрування відходять від класичного RSA у бік еліптичних кривих. Тут алгебраїчна геометрія зустрічається з теорією полів. Розуміння групового закону додавання точок на кривій дозволяє створювати ключі, які при меншій довжині (і менших витратах процесорного часу смартфонів) забезпечують вищу стійкість, ніж факторизація великих чисел.

Геш-функції та колізії: Принцип Діріхле ("задача про кроликів та клітки") з комбінаторики знаходить пряме відображення у розумінні колізій геш-функцій. Це критично важливо як для структур даних (Hash Map), так і для цілісності даних у блокчейн-системах (Proof-of-Work).

Результати. За результатами дослідження побудована матриця практичних інженерних кейсів за розділами математики (табл. 1), які впроваджуються у навчальний процес Економіко-технологічного інституту імені Роберта Ельворті та пропонуються для впровадження у інших вищих навчальних закладах ІТ-спрямування.

Таблиця 1

Математичний концепт	Технології IT/сфера застосування	Практичний інженерний кейс
Елементарна математика		
Тригонометричні функції (sin, cos, arctg)	GameDev, UI/UX	Розрахунок польоту снаряда (балістика), поворот гармати танка за курсором миші, створення плавної анімації інтерфейсу ("дихання" кнопки).
Інтерполяція (Лінійна, Безьє)	Комп'ютерна графіка	Плавний рух камери, побудова кривих у векторних редакторах (Figma, Adobe Illustrator).
Лінійна алгебра		
Матриці та операції над ними	3D-графіка (OpenGL/DirectX), Нейромережі	Трансформація об'єктів у просторі (поворот, масштаб). У ML – це шар нейромережі (множення ваг на входи).
Вектори (нормалізація, скалярний добуток)	GameDev, Пошукові системи	Визначення, чи бачить ворог гравця (кут між векторами). Розрахунок освітлення (Lambert shading). Пошук схожості текстів (Cosine similarity).
Власні числа та вектори (Eigenvalues)	Data Science, Google PageRank	Алгоритм PCA (стиснення даних зі збереженням суті), ранжування веб-сторінок у пошуку.
Математичний аналіз		
Похідна та градієнт	Machine Learning (Deep Learning)	Алгоритм зворотного поширення помилки (Backpropagation) – навчання нейромережі через мінімізацію функції втрат.
Чисельне інтегрування	Фізичні рушії (PhysX, Havok)	Розрахунок позиції тіла на основі швидкості та прискорення у кожному кадрі гри.
Теорія ймовірностей та статистика		
Нормальний розподіл (Гауса)	Game Design, Процедурна генерація	Генерація реалістичного ландшафту (висоти гір), розкид характеристик персонажів (щоб не всі були однакові).
Розподіл Пуассона	DevOps, Архітектура серверів	Моделювання черги запитів до веб-сервера, захист від DDoS (виявлення аномалій у трафіку).
Байсова ймовірність	Кібербезпека, ШІ	Робота спам-фільтрів (ймовірність, що лист є спамом за наявності певних слів).
Дискретна математика		
Теорія графів (пошук шляху, A* алгоритм Дейкстри)	Логістика, GameDev (AI)	Побудова маршруту в Google Maps або навігаторі. Пошук шляху ботом у лабіринті гри.
Дерева (Бінарні, B-дерева, Quadtrees)	Бази даних, 3D-оптимізація	Індексація в SQL (швидкий пошук). Відсікання невидимих об'єктів у іграх (Frustum Culling) для підняття FPS.
Булева алгебра та бітові операції	Системне програмування, Embedded	Робота з правами доступу (Unix chmod), маски мереж (Subnetting), оптимізація пам'яті на мікроконтролерах.
Теорія чисел та криптографія		
Модульна арифметика (залишки від ділення)	Криптографія, Блокчейн	Обмін ключами Діффі-Гелмана, генерація адрес криптогаманців, робота хеш-таблиць (Hash Map).
Еліптичні криві	Сучасний захист (HTTPS, TLS)	Шифрування повідомлень у месенджерах (Signal, WhatsApp), цифрові підписи.
Теорія інформації		
Ентропія Шеннона	Data Science, Стиснення даних	Алгоритми архівації (ZIP, RAR). Побудова дерев рішень у ML (вибір найкращого запитання для поділу даних).
Відстань Левенштейна	NLP (Обробка тексту)	Перевірка орфографії (автокорекція), пошук нечітких дублікатів у базах даних.
Чисельні методи		
Плаваюча точка (IEEE 754) та похибки	FinTech (Банківський софт)	Розуміння, чому $0.1 + 0.2 \neq 0.3$. Запобігання втраті грошей при транзакціях через помилки округлення.

Висновки. Інтеграція математичної підготовки з курсами програмування (C++, Python, JS) забезпечує формування цілісного інженерного світогляду. Студенти, які розуміють математичну природу алгоритмів (від теорії ймовірностей у генерації зображень до теорії графів у побудові маршрутів), здатні створювати більш ефективний, оптимізований та надійний програмний продукт. Математика перестає бути абстракцією і стає потужним інструментом у руках IT-фахівця.

Література:

1. Наконечна, Т.В., Нікулін, О.В. Використання семантичних мереж при підготовці фахівців. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. 2022. Вип. 22, с. 113–125. <https://doi.org/10.15421/322212>
2. Паращук С.Д., Неділько В.М., Мироненко О.В., Цаплін О. О. Основи дослідження операцій: принципи та математичні методи. *Журнал «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»)*. 2025. № 4(45), с. 1426–1434. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-4\(45\)-1426-1434](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-4(45)-1426-1434)
3. Петрук, В., Семеніхіна, О., Сабаш, Ю. Нові підходи до статистичного аналізу результатів педагогічного експерименту. *Фізико-математична освіта*. 2022. т.33(1), с. 36–42. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-033-1-006>
4. Семеріков С. О. Теоретико-методичні основи фундаменталізації навчання інформатичних дисциплін у вищих навчальних закладах : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.02 : Київ, 2009. 536 с. <https://doi.org/10.31812/0564/593>
5. Трифонова О. М. Визначення рівня сформованості інформаційно-цифрової компетентності у майбутніх фахівців комп'ютерних технологій. *Наукові записки. Серія : Педагогічні науки*. Кропивницький, 2019, Вип. 177(2). с. 128–135. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2019_177\(2\)_30](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2019_177(2)_30)
6. Трифонова О. М. Методична система розвитку інформаційно-цифрової компетентності магістрів комп'ютерних технологій. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2019. Вип. 185, с. 174–179. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2019-1-185-174-179>
7. Astafieva M., Lytvynova S., Proshkin V. Mathematical Modeling as a Tool for Interdisciplinary Training of Future Computer Science and Cybersecurity Specialists. *CEUR-WS.org*, 3187, 2021. P. 103–116. <https://ceur-ws.org/Vol-3187/>
8. Myronenko O.V., Izvalov O.V. Fundamental mathematical disciplines as the basis of training computer science specialists. Scientific-Practical Conference: “Promising areas of theoretical and applied research ‘2025””, USA, Seattle, November, 2025, p. 41–45. <https://www.proconference.org/index.php/usc/issue/view/usc34-00/usc34-00>
9. Roger G. Hadgraft, Anette Kolmos. Emerging learning environments in engineering education. *Australasian Journal of Engineering Education*. 2020. Vol. 25. Is. 1. p. 3–16. <https://doi.org/10.1080/22054952.2020.1713522>
10. Titova O., Luzan P., Sosnytska N., Kulieshov S., Suprun O. Information and Communication Technology Tools for Enhancing Engineering Students' Creativity. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV*. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_33

References:

1. Nakonechna, T.V., & Nikulin, O.V. (2022). Vykorystannya semantychnykh merezh pry pidhotovtsi fakhivtsiv. Pytannya prykladnoyi matematyky i matematychnoho modelyuvannya. [The use of semantic networks in the training of specialists]. *Issues of applied mathematics and mathematical modeling*, 22, 113–125. <https://doi.org/10.15421/322212> [in Ukrainian]
2. Parashchuk, S.D., Nedilko, V.M., Myronenko, O.V., & Tsaplin, O. O. (2025). Osnovy doslidzhennya operatsiy: pryntsyipy ta matematychni metody. [Fundamentals of operations research: principles and mathematical methods]. *Journal "Science and Technology Today" (Technology Series)*, 4(45), 1426–1434. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-4\(45\)-1426-1434](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-4(45)-1426-1434) [in Ukrainian]
3. Petruk, V., Semenikhina, O., & Sabadosh, Yu. (2022). Novi pidkhody do statystychnoho analizu rezul'tativ pedahohichnoho eksperymentu. [New approaches to statistical analysis of pedagogical experiment results]. *Physical and mathematical education*, 33(1), 36–42. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-033-1-006> [in Ukrainian]
4. Semerikov, S. O. (2009). Teoretyko-metodychni osnovy fundamentalizatsii navchannia informatychnykh dystsyplin u vyshchyykh navchalnykh zakladakh [Theoretical and methodological foundations of fundamentalization of teaching of computer science disciplines in higher educational institutions]. *Doctor's thesis*. 536 p. Kyiv, 2009. 536 s. <https://doi.org/10.31812/0564/593> [in Ukrainian]
5. Tryfonova, O. M. (2019). Vyznachennia rivnia sformovanosti informatsiino-tsyfrovoi kompetentnosti u maibutnykh fakhivtsiv kompiuternykh tekhnolohii [Determining the level of information and digital competence in future computer technology specialists]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedahohichni nauky*. Vyp. 177(2). p. 128–135. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2019_177\(2\)_30](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2019_177(2)_30) [in Ukrainian]
6. Tryfonova, O. M. (2019). Metodychna systema rozvytku informatsiino-tsyfrovoi kompetentnosti mahistriv kompiuternykh tekhnolohii [Methodological system for the development of information and digital

competence of computer technology masters]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedagogichni nauky*. Vyp. 185, p. 174–179. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2019-1-185-174-179.2> [in Ukrainian]

7. Astafieva, M., Lytvynova, S., & Proshkin, V. (2021). Mathematical Modeling as a Tool for Interdisciplinary Training of Future Computer Science and Cybersecurity Specialists. *CEUR-WS.org*, 3187, 118–132. <https://ceur-ws.org/Vol-3187/>

8. Myronenko, O.V., & Izvalov, O.V. (2025). Fundamental mathematical disciplines as the basis of training computer science specialists. *Scientific-Practical Conference: Promising areas of theoretical and applied research '2025, USA, Seattle, November*, p. 41–45. <https://www.proconference.org/index.php/usc/issue/view/usc34-00/usc34-00>

9. Roger, G. Hadgraft, Anette, Kolmos. (2020). Emerging learning environments in engineering education. *Australasian Journal of Engineering Education*, Vol. 25, Is.1, p. 3–16. <https://doi.org/10.1080/22054952.2020.1713522>

10. Titova, O., Luzan, P., Sosnytska, N., Kulieshov, S., & Suprun, O. (2021). Information and Communication Technology Tools for Enhancing Engineering Students' Creativity. In: Ivanov V., Trojanowska J., Pavlenko I., Zajac J., Peraković D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV*. DSMIE. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_33

Дата першого надходження статті до видання: 28.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 378.147

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-10>

ІНТЕГРАЦІЯ ФІЗИЧНИХ ОСНОВ РОБОТОТЕХНІКИ ТА ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЗАСІБ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ І ДОСЛІДНИЦЬКОЇ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

Садовий Микола Ілліч,

доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри інформаційних та цифрових технологій
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0000-0001-6582-6506

Трифорова Олена Михайлівна,

доктор педагогічних наук, професор,
завідувач кафедри інформаційних та цифрових технологій
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0000-0002-6146-9844

Колесник Юрій Миколайович,

бакалавр, спеціальність 015 «Професійна освіта (за спеціалізаціями)»,
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0009-0002-5242-4051

Побіяха Софія Олегівна,

бакалавр, спеціальність 015 «Професійна освіта (за спеціалізаціями)»,
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0009-0001-3607-1500

У статті розглядаються інноваційні аспекти методики формування у здобувачів освіти цифрової та дослідницької компетентностей робототехнічними засобами як започаткування новітнього підходу до створення системи фізичного експерименту, що ґрунтується на сучасному обладнанні з використання програмних інструментів та елементів 4G-технологій. Здійснено аналіз досліджень, які відповідають вибраній тематиці, створено установку для дослідження здобувачами освіти явища електромагнітної індукції, де розглядається як природне явище, так і етапи його розвитку, та встановлення закономірностей. Поєднання автоматизованої системи гармонійного коливального руху постійного магніту, системи вимірювання електрорушійної сили та фіксації величини електричного струму, візуалізації графічного розвитку явища на дисплей і моніторингу за його станом у будь-який момент часу дає змогу мотивувати здобувачів освіти до дослідницької та проєктної діяльності, розвивати креативність, інженерного мислення, а в цілому – формувати готовність до безперервного навчання впродовж усього продуктивного періоду життя особистості. Започатковується новітній підхід до формування фізичного експерименту, в основі якого покладено новітнє електронне обладнання, доступні програмні коди, що забезпечує вивчення як сутності явищ (закладених у навчальних програмах), так і їх стан у динаміці. Усе це дає можливість спостерігати конкретні закономірності електромагнітної індукції: наприклад, лінійний або нелінійний характер зміни ЕРС залежно від швидкості руху магніту, вплив форми траєкторії на величину індукованої напруги, або залежність пікових значень ЕРС від відстані між магнітом і витками котушки. Автоматизований експеримент дає змогу фіксувати ці залежності у вигляді стабільних повторюваних графіків, що є недостатнім під час традиційних демонстрацій, де рух є невідтворюваним, а вимірювання надто залежними

© Садовий М. І., Трифорова О. М., Колесник Ю. М., Побіяха С. О., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

від людського фактора. Такий підхід до організації фізичного експерименту на прикладі вивчення електромагнітної індукції дає можливість поширити його основну ідею на створення відповідного обладнання та методики його впровадження в практику і на інші теми навчальних дисциплін.

Ключові слова: цифрова компетентність, дослідницька компетентність, освітній процес, метод проєктів, новітнє цифрове обладнання, фізичний експеримент.

Sadovyi Mykola, Tryfonova Olena, Kolesnyk Yuriy, Pobiakha Sofia. Integration of the physical foundations of robotics and digital technologies as a means of developing learners' digital and research competencies

The article considers innovative aspects of the methodology for developing digital and research competencies in learners through the use of robotic tools as the initiation of a modern approach to creating a system of physical experimentation based on contemporary equipment, software tools, and elements of 4G technologies. An analysis of studies relevant to the chosen topic is carried out, and an experimental setup is developed for learners to investigate the phenomenon of electromagnetic induction, considering it both as a natural phenomenon and through the stages of its development and the identification of underlying regularities. The integration of an automated system of harmonic oscillatory motion of a permanent magnet, a system for measuring electromotive force and recording electric current values, graphical visualization of the phenomenon's development on a display, and continuous monitoring of its state at any moment in time enables the motivation of learners toward research and project-based activities, fosters creativity and engineering thinking, and, overall, contributes to the formation of readiness for lifelong learning throughout the productive period of an individual's life. A novel approach to the organization of physical experimentation is introduced, based on advanced electronic equipment and accessible software codes, which ensures the study of both the essence of physical phenomena (as defined in educational curricula) and their dynamic behavior. This approach makes it possible to observe specific regularities of electromagnetic induction, such as the linear or nonlinear nature of EMF variation depending on the speed of magnet motion, the influence of the trajectory shape on the magnitude of the induced voltage, or the dependence of peak EMF values on the distance between the magnet and the coil turns. Automated experimentation allows these relationships to be recorded in the form of stable, reproducible graphs, which is unattainable in traditional demonstrations where motion is non-reproducible and measurements are highly dependent on the human factor. Such an approach to organizing physical experiments, illustrated by the study of electromagnetic induction, makes it possible to extend its core idea to the development of appropriate equipment and methodologies for implementation in practice across other topics of academic disciplines.

Key words: digital competence, research competence, educational process, project method, modern digital equipment, physical experiment.

Вступ. Розуміння фізичних явищ і процесів є фундаментом розвитку сучасного техногенно-інформаційного суспільства XXI століття. Адже саме закони фізики лежать в основі роботи комп'ютерів, телекомунікаційних систем, сенсорних технологій та енергетичних пристроїв. Науковці підкреслюють, що фізика продовжує залишатися базою науково-технічного прогресу XXI ст. [1; 2; 3; 7]. На початку XXI століття фізика забезпечила створення мікропроцесорів, на яких працюють смартфони, ноутбуки та обчислювальні сервери – ключові елементи цифрової інфраструктури. Розвиток оптичної фізики дав змогу побудувати глобальні волоконо-оптичні мережі, що забезпечують швидкісний інтернет і функціонування світових інформаційних систем.

У період активної цифровізації змінюється підхід до створення демонстраційних та експериментальних установок для дослідження природничих явищ. Традиційні стенди, розроблені десятиліттями раніше, часто не враховують сучасних можливостей автоматизації, сенсорних систем і точного керування рухом, що обмежує їх функціональність у кількісних дослідженнях. Тому виникає потреба поєднати накопичений досвід експериментаторської практики із сучасними технічними рішеннями, зокрема роботизованими приводами, мікроконтролерами та цифровими засобами реєстрації сигналів.

Перспективність застосування роботизованих рішень полягає у можливості створення точних відтворюваних експериментів, що відповідають вимогам сучасного науково-технічного аналізу та дають змогу досліджувати закономірності, які раніше було складно зафіксувати стандартними механічними засобами. У зв'язку із цим постає проблема запровадження новітнього підходу до формування сучасного демонстраційного та фронтального експерименту та формування методики його проведення.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідники В. Ф. Заболотний, О. М. Трифонова, Д. В. Соменко [1; 9–12] досить детально розглянули теоретичні та методичні основи формування інформатично-цифрової компетентності в навчанні фізики й технічних дисциплін, розробили практичні рекомендації щодо використання комп'ютерних демонстрацій та навчальних програм, що добре поєднуються з ідеєю інтеграції мікроконтролерних платформ у навчальний експеримент.

А. М. Кух [2] дослідив теоретико-методичні засади підготовки вчителя фізики в інформаційно-освітньому середовищі з використанням апаратно-програмних комплексів. Це створює методологічну базу для введення робототехнічних елементів у курси фізики і техніки, бо саме підготовлені вчителі можуть ефективно інтегрувати такі засоби в освітній процес.

О. С. Мартинюк має здобутки в освітній робототехніці та 3D-моделюванні, розробив навчальні робототехнічні комплекти, що дають можливість перевести здобувачів освіти від пасивного сприйняття експериментів до активної дослідницької діяльності та проектної роботи, де знання фізики застосовують у створенні реальних пристроїв [3].

В. Я. Гайда, М. І. Садовий, В. В. Слюсаренко, О. М. Трифонова створили методичні матеріали та практичні засоби для лабораторних робіт з фізики, зокрема з електродинаміки й оптики, досліджували варіанти використання віртуальних середовищ для проектної діяльності, чим започаткували інтеграцію цифрових симуляцій та апаратних вимірювальних стендів у шкільну і вищу освіту, включно з новітнім обладнанням RHYWE [6; 8].

І. А. Сліпухіна, І. С. Чернецький досліджують застосування інноваційних підходів у проектній діяльності, розвинули ідею поступового ускладнення експериментів через введення контролерів і датчиків, щоб учні крок за кроком набували і практичних навичок, і фундаментальних знань [7].

М. І. Садовий, О. М. Трифонова, Д. В. Соменко у своїх дослідженнях зосереджують увагу на проблемі формування предметних компетентностей у студентів природничо-математичної та цифрової галузей шляхом упровадження технологій цифрових двійників, аналізують їх значущість у контексті сучасної промислової революції 4.0, а також обґрунтовують доцільність інтеграції цифрових двійників в освітні програми технічних спеціальностей. При цьому розглядаються можливості використання цифрових двійників для моделювання реальних об'єктів і процесів, моніторингу й аналізу даних у реальному часі, підвищення ефективності освітнього процесу й розвитку критичного мислення, аналітичних умінь та здатності студентів до прийняття обґрунтованих рішень в умовах цифрової економіки [6].

Таким чином, дослідники підкреслюють, що впровадження у практику роботи закладів освіти цифрових технологій, використання мікроконтролерів, сенсорних модулів і робототехнічних платформ тощо сприяє розвитку дослідницьких умінь, формуванню технічного мислення та підвищенню якості засвоєння, зокрема фізичних понять. Взаємозв'язок фізики та робототехніки розглядається як перспективний напрям модернізації демонстраційного та фронтального експерименту, що відповідає вимогам STEM-освіти та концепції розвитку педагогічної освіти до 2032 року [4; 5]. Використання роботизованих систем у навчанні фізики відкриває нові можливості для підвищення ефективності освітнього процесу, розвитку інноваційного мислення й формування компетентностей, затребуваних у сучасному цифровому суспільстві.

Мета дослідження полягає у виокремленні методичних особливостей формування цифрової та дослідницької компетентностей здобувачів освіти робототехнічними засобами під час освітньої діяльності.

Матеріали та методи. Теоретичний та емпіричний аналіз психолого-педагогічних і методичних досліджень з розвитку цифрової та дослідницької компетентностей здобувачів освіти робототехнічними засобами та реалізація його в практичній діяльності.

Результати. У сучасних умовах розвитку цифрових технологій постає потреба у створенні сучасних і більш точних засобів дослідження фізико-технічних явищ, наприклад, електромагнітної індукції. З часів М. Фарадея традиційне ручне виконання дослідів зі створення індукційного струму обмежене низкою факторів: траєкторія переміщення магніту часто відхиляється від заданої лінії; швидкість руху змінюється від циклу до циклу; амплітуда та темп коливань

не відтворюються точно. Ці та інші нестабільності спричиняють похибки вимірювання індукованої напруги та сили струму, зокрема коливання амплітуди сигналу, нерівномірність пікових значень, шум на графіках залежності ЕРС від часу. У таких умовах важко отримати достовірні кількісні дані: наприклад, точні значення максимальної ЕРС, реальні графіки залежності індукованої напруги від швидкості зміни магнітного потоку або порівняння індукції за різних режимів руху тощо.

Створення й використання робототехнічних систем дає можливість уникнути цих обмежень, оскільки параметри руху – швидкість, амплітуда, частота та тип переміщення магніту задаються точно й залишаються стабільними впродовж усіх повторень експерименту. Це дає можливість спостерігати конкретні закономірності електромагнітної індукції: наприклад, лінійний або нелінійний характер зміни ЕРС залежно від швидкості руху магніту, вплив форми траєкторії на величину індукованої напруги або залежність пікових значень ЕРС від відстані між магнітом і витками котушки. Автоматизований експеримент дає змогу фіксувати ці залежності у вигляді стабільних повторюваних графіків, що є недоступним під час традиційних демонстрацій, де рух є невідтворюваним, а вимірювання надто залежними від людського фактору.

Принципову схему розробленої нами роботизованої установки наведено на рис. 1, а реальну установку – на рис. 2.

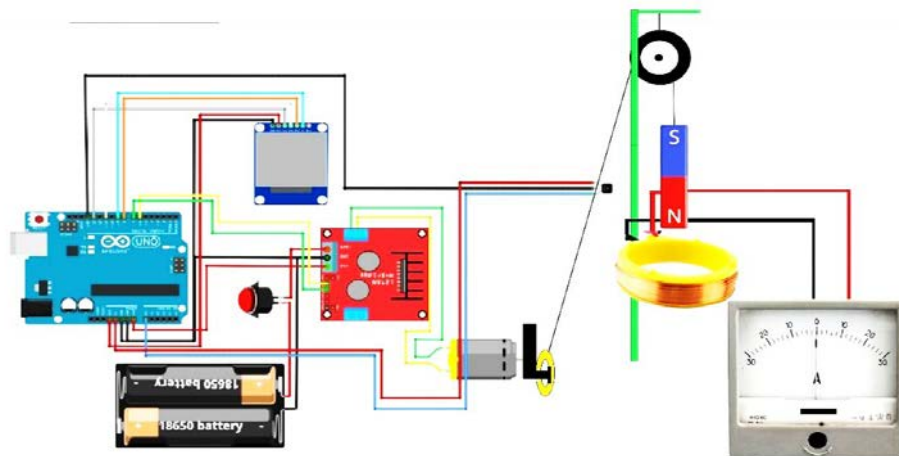


Рис. 1. Принципова схема установки

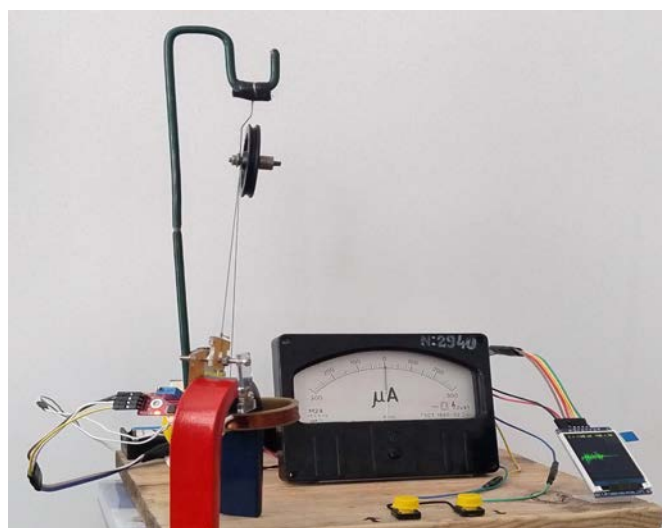


Рис. 2. Роботизована система дослідження явища електромагнітної індукції

Пристрій складається з мікроконтролера Arduino Uno, який виконує функції центрального керування, зчитування аналогових сигналів та формування керуючих імпульсів. Привід переміщення забезпечує електродвигун постійного струму, керований через драйвер L298N, що дозволяє регулювати швидкість і напрям обертання для точного позиціонування магніту на штоку. На нитці закріплено постійний магніт, зміна положення якого створює змінний магнітний потік у зоні чутливості індукційної котушки. Нитка намотується на вал електродвигуна.

Реєстрацію магнітної індукції здійснює датчик Холла на базі компаратора LM393, який подає пропорційний рівень сигналу на аналоговий вхід Arduino [13]. Це дає змогу контролювати інтенсивність магнітного поля та відстежувати момент проходження магніту через область котушки. Проста за конструкцією індукційна котушка безпосередньо під'єднана до вимірювального входу мікроконтролера й генерує ЕРС у відповідь на зміну магнітного потоку, що забезпечує реєстрацію форми сигналу й амплітуди індукованої напруги.

Показники магнітного поля, індукованої напруги та швидкісних параметрів відображаються на OLED-дисплеї 0.96", що забезпечує оперативний візуальний контроль за ходом експерименту. Система живиться від двосекційного літій-іонного джерела 7,4 V (2×18650) гарантує стабільну роботу двигуна, драйвера та низьковольтної електроніки. Усі компоненти змонтовані на макетній платі з мінімальною довжиною сигнальних трас, що знижує рівень паразитних наводок і підвищує точність реєстрації сигналів.

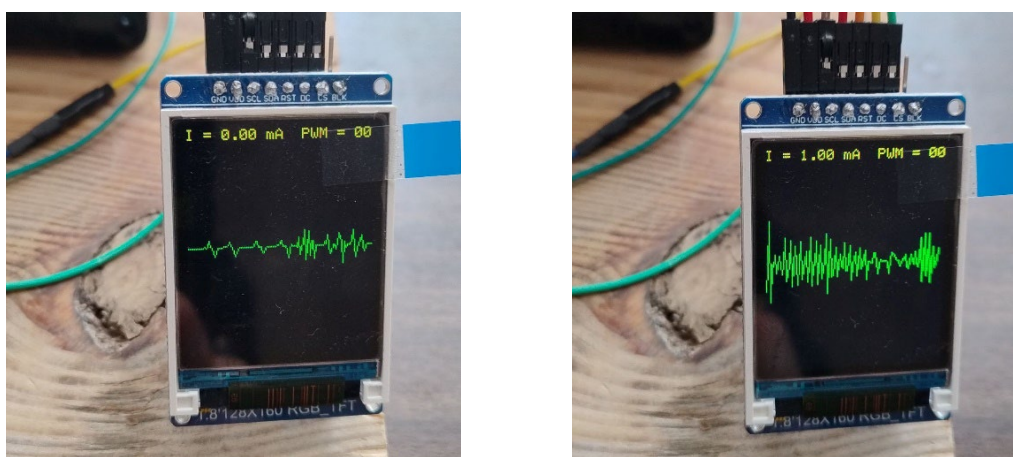


Рис. 3. Графіки індукованого струму в котушці за різної швидкості зміни магнітного поля

Сила індукційного струму, що виникає в котушці, прямо пропорційна швидкості зміни магнітного поля. Чим швидше змінюється магнітний потік, тим більшою є електрорушійна сила індукції, а отже, і сила струму. Аналіз отриманих графіків підтверджує цю залежність, за повільної зміни магнітного поля на графіку спостерігається мала амплітуда коливань, що відповідає незначному значенню індукованого струму. За збільшення швидкості зміни магнітного потоку амплітуда сигналу суттєво зростає, що свідчить про генерацію більшої сили струму в котушці. Отримані результати узгоджуються із законом електромагнітної індукції та підтверджують пропорційну залежність між швидкістю зміни магнітного поля і величиною індукованого струму.

Використання автоматизованої системи дає можливість здійснити аналіз таких параметрів: вплив швидкості руху магніту на амплітуду ЕРС, зміна форми сигналу залежно від орієнтації магніту відносно осі котушки, залежність часу наростання сигналу від параметрів траєкторії. На відміну від традиційних демонстрацій, де умови виконання досліду визначаються ручним керуванням, рухомі роботизована установка забезпечує повторюваність кожного циклу та можливість точного порівняння отриманих графіків.

Створення прототипу передбачає тестування режимів руху, калібрування датчиків та аналіз форми сигналу за різних значень швидкості й амплітуди. Реєстрація параметрів здійснювалася за допомогою дисплея та відповідних електронних модулів, що дає змогу отримати часові залежності ЕРС та провести їхню подальшу обробку.

Програмне забезпечення дає можливість робити фіксовані зміни даних (у мілісекундному циклі), керувати приводом, а отже, аналізувати амплітудно-часові характеристики.

Код програми для установки з роботизованої системи дослідження явища електромагнітної індукції:

```
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_ST7735.h>
#include <SPI.h>

#define TFT_CS 10
#define TFT_DC 9
#define TFT_RST 8

#define HALL_AO AO

#define IN1 6
#define IN2 7

#define BUTTON_UP 3
#define BUTTON_DOWN 4

Adafruit_ST7735 tft = Adafruit_ST7735(TFT_CS, TFT_DC, TFT_RST);
int x = 0;
int prevY = 80;
const int centerY = 80;

int motorSpeed = 0; // стартова швидкість

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_UP, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_DOWN, INPUT_PULLUP);

  analogWrite(IN1, motorSpeed);
  digitalWrite(IN2, LOW);

  tft.initR(INITR_BLACKTAB);
  tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);

  tft.setTextSize(1);
  tft.setTextColor(ST77XX_YELLOW);
  tft.setCursor(10, 5);
  tft.print("EM LAB");
  delay(1500);
  tft.fillScreen(ST77XX_BLACK);

  //Початкове відображення струму і швидкості
  tft.setCursor(0, 0);
  tft.setTextColor(ST77XX_YELLOW, ST77XX_BLACK);
  tft.print("I = 0,00 mA PWM = 0");
}
```

```
void loop() {  
  //Кнопки для регулювання швидкості  
  if (digitalRead(BUTTON_UP) == LOW) {  
    motorSpeed = constrain(motorSpeed + 17, 0, 255);  
    delay(150);  
  }  
  if (digitalRead(BUTTON_DOWN) == LOW) {  
    motorSpeed = constrain(motorSpeed - 17, 0, 255);  
    delay(150);  
  }  
  
  //Встановлюємо швидкість мотора  
  analogWrite(IN1, motorSpeed);  
  digitalWrite(IN2, LOW);  
  
  // Зчитування датчика Холла [11]  
  int sensorValue = analogRead(HALL_A0);  
  static int lastVal = sensorValue;  
  int delta = sensorValue - lastVal;  
  lastVal = sensorValue;  
  
  int amplified = constrain(delta * 3, -512, 512);  
  int y = centerY - amplified / 8;  
  y = constrain(y, 20, 159);  
  
  // === Малюємо графік ===  
  tft.drawLine(x, prevY, x + 1, y, ST77XX_GREEN);  
  prevY = y;  
  x++;  
  if (x > 127) {  
    x = 0;  
    tft.fillRect(0, 20, 128, 130, ST77XX_BLACK);  
  }  
  
  //Відображення струму і PWM  
  float current_mA = map(sensorValue, 0, 1023, -20, 20); // масштаб до  
±20мА  
  tft.setCursor(0, 0);  
  tft.setTextColor(ST77XX_YELLOW, ST77XX_BLACK);  
  tft.setTextSize(1);  
  tft.print("I = ");  
  tft.print(current_mA, 2);  
  tft.print(" mA   P̄WM = ");  
  tft.print(motorSpeed);  
  
  delay(40);  
}
```

За допомогою розробленої установки успішно формуються цифрова та дослідницька компетентності здобувачів освіти сучасними робототехнічними засобами. Запропонований підхід започатковує новітній погляд на методику навчання природничих явищ, зокрема електромагнітної індукції цифровими технологіями. Установка дає змогу впроваджувати в освітній процес проектну діяльність [14]. Її можна використати і для дослідження інших фізичних явищ.

Висновки. У статті здійснено огляд стану застосування робототехнічних систем для дослідницької діяльності, обґрунтовано актуальність використання автоматизованих засобів у фізичних експериментах. Приведено методику розробки та використання установки інтеграції робототехніки з вивченням електромагнітної індукції. Поєднання робототехнічних компонентів із

класичним фізичним експериментом формує ефективний інструмент для дослідження закономірностей електромагнітної індукції та виступає перспективним напрямом модернізації експериментаторської практики в природничих науках. У подальшому доцільно розширити можливості створеної установки для вивчення інших явищ і використати запропонований підхід для формування системи новітнього цифрового обладнання.

Література:

1. Заболотний В. Ф., Лаврова А. В. Навчальний фізичний експеримент з використанням цифрової лабораторії Nova5000. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія: Педагогічна.* 2013. Вип. 19. С. 82–85.
2. Кух А. М. Освітнє середовище в структурі інноваційної системи фахової підготовки майбутніх учителів фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія : Педагогічна.* 2008. Вип. 14. С. 73–76.
3. Мартинюк О. С., Мирончук Г. Л., Панкевич С. С. Організаційно-методичні умови використання цифрових лабораторій у системі впровадження освітнього напрямку STEM. *Фізика та освітні технології.* 2022. Вип. 1. С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-4>.
4. Про затвердження Державного стандарту профільної середньої освіти : постанова Кабінету Міністрів України від 25.07.2025 № 851.
5. Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) в Україні : розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 № 9.
6. Садовий М. І., Трифонова О. М., Соменко Д. В. Формування предметних компетентностей у студентів природничо-математичної та цифрової галузей засобами DIGITAL TWINS. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки.* Кропивницький, 2024. Вип. 215. С. 91–96. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-215-91-96>.
7. Сліпухіна І. А., Чернецький І. С., Меньяйлов С. М., Рудницька Ж. О., Матеїк Г. Д. Сучасний фізичний експеримент у дидактиці STEM орієнтованого навчання. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія: Педагогічна.* 2016. Вип. 22. С. 224–228.
8. Слюсаренко В. В., Садовий М. І. Методичні рекомендації до виконання вибраних лабораторних робіт із новітнім обладнанням «РНУВЕ»: навч.-метод. посібник / За ред. М. І. Садового. Кіровоград : САБОНІТ, 2013. 28 с.
9. Соменко Д. В., Величко С. П., Соменко О. О. Поєднання сучасних поглядів на поліпшення проблеми підготовки високопрофесійного вчителя фізики. *Зб. наук. праць Кам'янець-Под. нац. ун-ту ім. І. Огієнка.* Кам'янець-Подільський : К-Под. нац. ун-т ім. І. Огієнка, 2016. Вип. 22.
10. Соменко Д. В., Величко С. П. Використання комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання у процесі розв'язування навчальних задач з фізики графічним методом. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна.* 2012. Вип. 18: Інноваційні в навчанні фізики: національний та міжнародний досвід. С. 8–10.
11. Соменко Д. В., Величко С. П. Підготовка майбутніх вчителів фізики в умовах глобальної інформатизації навчального процесу. *Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.* Умань : ПП Жовтий О. О., 2011. Ч. 3. С. 38–45.
12. Трифонова О. М. Методична система розвитку інформаційно-цифрової компетентності майбутніх фахівців комп'ютерних технологій у навчанні фізики і технічних дисциплін : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.02, 13.00.04. ЦДПУ ім. В. Винниченка. Кропивницький, 2020. 595 с.
13. Arduino Documentation. URL: <https://doc.arduino.ua/> (дата звернення: 15.11.2025).
14. Стратегія розвитку вищої освіти України на 2022–2032 роки : проєкт Операційного плану на 2025–2028 роки. URL: https://erasmusplus.org.ua/wp-content/uploads/2024/10/2_sharov-pershyj-proyekt-op-srvo-2025-2028-2024-09-23.pdf (дата звернення: 13.11.2025).

References:

1. Zabolotnyi, V.F., & Lavrova, A.V. (2013). Navchalnyi fizychnyi eksperyment z vykorystanniam tsyfrovoy laboratorii Nova5000 [Educational physical experiment using the Nova5000 digital laboratory]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohiiienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohiienko National University. Pedagogical Series, 19, 82–85* [in Ukrainian].
2. Kukh, A.M. (2008). Osvitnie seredovyshe v strukturi innovatsiinoi systemy fakhovoi pidhotovky maibutnix uchyteliv fizyky [Educational environment in the structure of an innovative system of professional

training of future physics teachers]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohienko National University. Pedagogical Series, 14, 73–76* [in Ukrainian].

3. Martyniuk, O.S., Myronchuk, H.L., & Pankevych, S.S. (2022). Orhanizatsiino-metodychni umovy vykorystannia tsyfrovyykh laboratorii u systemi vprovadzhennia osvithnoho napriamu STEM [Organizational and methodological conditions for the use of digital laboratories in the system of STEM education implementation]. *Fizyka ta osvithni tekhnologii – Physics and Educational Technologies, 1, 34–40*. <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-4> [in Ukrainian].

4. Cabinet of Ministers of Ukraine (2025). Pro zatverdzhennia Derzhavnogo standartu profilnoi serednoi osvity [On approval of the State Standard of Specialized Secondary Education]. Resolution No. 851, July 25, 2025 [in Ukrainian].

5. Cabinet of Ministers of Ukraine (2020). Pro skhvalennia Kontseptsii rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity) v Ukraini [On approval of the Concept for the Development of Natural and Mathematical Education (STEM education) in Ukraine]. Order No. 9, August 5, 2020 [in Ukrainian].

6. Sadovyi, M.I., Tryfonova, O.M., & Somenko, D.V. (2024). Formuvannia predmetnykh kompetentnosti u studentiv pryrodnycho-matematychnoi ta tsyfrovoi haluzei zasobamy Digital Twins [Formation of subject competencies in students of natural-mathematical and digital fields using Digital Twins]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedagogichni nauky – Academic Notes. Pedagogical Sciences Series, 215, 91–96*. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-215-91-96> [in Ukrainian].

7. Slipukhina, I.A., Chernetskyi, I.S., Meniailov, S.M., Rudnytska, Zh.O., & Mateik, H.D. (2016). Suchasnyi fizychnyi eksperyment u dydaktytsi STEM-oriietovanoho navchannia [Modern physical experiment in the didactics of STEM-oriented learning]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohienko National University. Pedagogical Series, 22, 224–228*. [in Ukrainian].

8. Sliusarenko, V.V., & Sadovyi, M.I. (2013). Metodychni rekomendatsii do vykonannia vybranykh laboratornykh robit iz novitnim obladnanniam “PHYWE” [Methodical recommendations for selected laboratory works using modern PHYWE equipment]. Kirovohrad: SABONIT [in Ukrainian].

9. Somenko, D.V., Velychko, S.P., & Somenko, O.O. (2016). Poiednannia suchasnykh pohliadiv na polipshennia problemy pidhotovky vysokoprofesiinoho vchytelia fizyky [Combination of modern views on improving the problem of training a highly professional physics teacher]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohienko National University. Pedagogical Series, 22* [in Ukrainian].

10. Somenko, D.V., & Velychko, S.P. (2012). Vykorystannia kompiuterno-oriietovanykh zasobiv navchannia u protsesi rozviazuvannia navchalnykh zadach z fizyky hrafichnym metodom [Use of computer-oriented learning tools in solving educational physics problems by the graphical method]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohienka. Serii: Pedagogichna – Collection of Scientific Papers of Kamianets-Podilskiy Ivan Ohienko National University. Pedagogical Series, 18, 8–10* [in Ukrainian].

11. Somenko, D.V., & Velychko, S.P. (2011). Pidhotovka maibutnykh vchyteliv fizyky v umovakh hlobalnoi informatyzatsii navchalnoho protsesu [Training of future physics teachers in the conditions of global informatization of the educational process]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho derzhavnogo pedagogichnoho universytetu imeni Pavla Tychyny – Collection of Scientific Papers of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, 3, 38–45* [in Ukrainian].

12. Tryfonova, O.M. (2020). Metodychna systema rozvytku informatsiino-tyfrovoy kompetentnosti maibutnykh fakhivtsiv kompiuternykh tekhnologii u navchanni fizyky i tekhnichnykh dystsyplin [Methodical system for the development of information and digital competence of future computer technology specialists in teaching physics and technical disciplines] (*Doctoral dissertation*). Kropyvnytskyi: Central Ukrainian State Pedagogical University named after V. Vynnychenko [in Ukrainian].

13. Arduino (2025). Arduino documentation. Retrieved November 15, 2025, from <https://doc.arduino.ua/> [in English].

14. Ministry of Education and Science of Ukraine (2024). Stratehiia rozvytku vyshchoi osvity Ukrainy na 2022–2032 roky: proiekt Operatsiinoho planu na 2025–2028 roky [Strategy for the development of higher education in Ukraine for 2022–2032: Draft operational plan for 2025–2028]. Retrieved November 13, 2025, from https://erasmusplus.org.ua/wp-content/uploads/2024/10/2_sharov-pershyyj-proyekt-op-srvo-2025-2028-2024-09-23.pdf [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 29.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 378.147:004:620.22:378.016

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-11>

ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТА ОБРОБКИ НОВІТНІХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНТЕКСТІ ПЕРЕХОДУ ДО INDUSTRY 5.0

Ткачук Андрій Іванович,

кандидат технічних наук, доцент,

декан факультету інформаційних технологій, математики та природничих наук,

доцент кафедри технологічної та професійної освіти

Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0002-7316-0107

Scopus-Author ID: 7005003284

Статтю присвячено теоретичному обґрунтуванню та методичному забезпеченню оновлення змісту й методів вивчення сучасних технологій виробництва та обробки новітніх конструкційних матеріалів у процесі професійної підготовки майбутніх учителів технологій в умовах переходу до концепції Industry 5.0. Проаналізовано вплив трансформації матеріалознавства та виробничих технологій (адитивне виробництво, наноструктуровані покриття, розумні матеріали, високоентропійні сплави, функціонально-градієнтні матеріали, біосумісні та біодеградовані полімери) на зміст і методику підготовки фахівців спеціальності «Середня освіта (Технології)». Показано, що традиційна парадигма викладання, орієнтована на репродуктивне засвоєння знань про класичні технології обробки металів, не відповідає викликам цифрового та людиноцентричного виробництва Industry 5.0, яке поєднує автоматизацію з креативністю людини, сталістю та резилієнтністю систем.

Обґрунтовано необхідність міждисциплінарної інтеграції матеріалознавства, адитивних технологій, цифрового проектування (CAD/CAE/CAM, generative design), технологій віртуального моделювання, аналізу життєвого циклу виробів (LCA) та принципів циркулярної економіки в освітньо-професійних програмах бакалаврського й магістерського рівнів. Запропоновано чотириетапну методичну систему вивчення новітніх матеріалів: теоретичне осмислення → цифрове проектування → практичне прототипування → аналіз, екологічна оцінка та презентація результатів. Описано п'ять логічних блоків навчального матеріалу: металеві матеріали та методи їх зміцнення; порошкова металургія; адитивні технології; методи обробки та зміцнення поверхонь; композиційні, наноматеріали та розумні сплави. Особливу увагу приділено формуванню в майбутніх педагогів здатності транслювати складні інженерні концепції в доступній формі, інтегрувати їх у проектно-орієнтовану діяльність учнів закладів загальної середньої освіти в рамках Нової української школи та STEM-підходу, забезпечувати наступність знань, екологічну відповідальність і безпеку праці. Наведено приклади конкретних STEM-проектів (композитне кріплення дрона, біопластикові іграшки, топологічно оптимізовані деталі), які можуть бути реалізовані студентами та адаптовані для шкільної практики.

Результати дослідження свідчать про доцільність переходу від репродуктивного до продуктивного, дослідницького типу навчання, що сприяє формуванню системного бачення життєвого циклу матеріалів, критичного мислення, цифрової та екологічної компетентностей майбутніх учителів технологій. Запропоновані підходи узгоджуються з вимогами компетентнісного підходу, принципами сталого розвитку та людиноцентричною парадигмою Industry 5.0.

Ключові слова: Industry 5.0, новітні конструкційні матеріали, адитивне виробництво, професійна підготовка вчителів технологій, STEM-освіта, сталі матеріалознавство.

Tkachuk Andriy. Features of studying modern technologies for the production and processing of newest construction materials in the context of the transition to Industry 5.0

The article is devoted to the theoretical justification and methodological support for updating the content and methods of studying modern technologies for the production and processing of the latest structural materials in

© Ткачук А. І., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

the process of professional training of future technology teachers in the context of the transition to the Industry 5.0 concept. The influence of the transformation of materials science and production technologies (additive manufacturing, nanostructured coatings, smart materials, high-entropy alloys, functionally graded materials, biocompatible and biodegradable polymers) on the content and methodology of training specialists in the specialty "Secondary Education (Technologies)". It is shown that the traditional teaching paradigm, focused on the reproductive acquisition of knowledge about classical metalworking technologies, does not meet the challenges of Industry 5.0 digital and human-centered production, which combines automation with human creativity, sustainability, and system resilience.

The necessity of interdisciplinary integration of materials science, additive technologies, digital design (CAD/CAE/CAM, generative design), virtual modeling technologies, life cycle assessment (LCA), and circular economy principles in bachelor's and master's degree programs. A four-stage methodological system for studying new materials is proposed: theoretical understanding → digital design → practical prototyping → analysis, environmental assessment, and presentation of results. Five logical blocks of educational material are described: metallic materials and methods of their strengthening; powder metallurgy; additive technologies; methods of surface treatment and strengthening; composite, nanomaterials, and smart alloys. Particular attention is paid to developing future teachers' ability to convey complex engineering concepts in an accessible form, integrate them into project-oriented activities of secondary school students within the framework of the New Ukrainian School and the STEM approach, and ensure continuity of knowledge, environmental responsibility, and occupational safety. Examples of specific STEM projects (composite drone mounts, bioplastic toys, topologically optimized parts) are provided, which can be implemented by students and adapted for school practice.

The results of the study indicate the advisability of transitioning from reproductive to productive, research-based learning, which contributes to the formation of a systematic view of the life cycle of materials, critical thinking, and digital and environmental competencies of future technology teachers. The proposed approaches are consistent with the requirements of the competency-based approach, the principles of sustainable development, and the human-centered paradigm of Industry 5.0.

Key words: *Industry 5.0, advanced structural materials, additive manufacturing, professional training of technology teachers, STEM education, sustainable materials science.*

Вступ. Сучасний етап розвитку технологічної освіти в Україні формується під впливом глибинних трансформацій у сфері матеріалознавства, виробничих технологій та цифрових інженерних систем. Інтенсивне впровадження композитних і багатокомпонентних матеріалів, наноструктурованих покриттів, інтелектуальних (smart) матеріалів, біосумісних полімерів, а також широке використання адитивного виробництва (3D-друку, селективного лазерного сплавлення, електронно-променевого плавлення, fused deposition modeling) суттєво змінюють структуру сучасного виробництва. У глобальному вимірі ці процеси пов'язані з реалізацією концепції Індустрії 4.0 та 5.0, яка передбачає інтеграцію кіберфізичних систем, цифрових двійників, хмарних платформ, великих даних та автоматизованого управління технологічними процесами. За таких умов зміст технологічної освіти не може залишатися в межах традиційних уявлень про механічну обробку металів, лиття чи зварювання. Майбутній учитель технологій повинен володіти системним баченням сучасного виробництва, розуміти фізико-хімічні механізми формування властивостей матеріалів, принципи керування їх мікроструктурою, особливості цифрового проектування та прототипування. Водночас його професійна діяльність спрямована не на інженерне конструювання як таке, а на педагогічну трансляцію складних інженерних концепцій у середовище закладів загальної середньої освіти [16; 19–23].

Особливої актуальності проблема оновлення професійної підготовки набуває в контексті реалізації положень Нової української школи (НУШ), що акцентує увагу на компетентнісному підході, інтеграції STEM-освіти, розвитку критичного мислення та формуванні цифрової грамотності здобувачів освіти. Технологічна освітня галузь у структурі НУШ орієнтується на проєктно-орієнтовану діяльність, міждисциплінарність та практико-спрямованість, що вимагає від учителя не лише знання матеріалів, а й здатності організовувати дослідницьку та інженерну діяльність учнів. Професійна підготовка майбутніх учителів зі спеціальності А4.10 «Середня освіта (Технології)» передбачає формування низки програмних результатів навчання: класифі-

кації конструкційних матеріалів та аналіз їх властивостей; обґрунтування вибору матеріалів для виконання навчальних і проєктних робіт; аналіз і порівняння технологій обробки; використання цифрових інструментів проєктування та моделювання; оцінювання екологічного впливу виробничих процесів з позицій сталого розвитку. Таким чином, освітній процес має забезпечувати поєднання фундаментальної інженерної підготовки з педагогічною рефлексією та методичною адаптацією знань. В той же час, базовими для формування фахових компетентностей у здобувачів вищої освіти освітньо-професійних програм «Середня освіта (Технології)» в Центральноросійському державному університеті імені Володимира Винниченка є дисципліни «Технології обробки матеріалів», «Практикум з технологій», «Сучасні конструкційні матеріали та технології виробництва» на відповідно першому (бакалаврському) і другому (магістерському) рівнях вищої освіти. Їх зміст традиційно охоплює питання фізико-механічних властивостей металів і сплавів, технології лиття, кування, зварювання, механічної обробки. Проте сучасний стан науки й техніки вимагає розширення навчального матеріалу за рахунок вивчення композитних і полімерних матеріалів, наноматеріалів і технологій модифікації поверхні, порошкової металургії; лазерної і плазмової обробки, адитивного виробництва металами і полімерними композитами, цифрового моделювання виробів і технологічних процесів.

Проблема полягає в тому, що традиційні методи викладання, зорієнтовані переважно на репродуктивне засвоєння теоретичного матеріалу та виконання стандартних практичних операцій у майстернях, не повною мірою відповідають вимогам сучасного цифрового виробництва. Домінування у промисловості композитів, наноармованих структур, смарт-матеріалів, роботизованих комплексів та адитивних систем вимагає перегляду методичних підходів, оновлення лабораторної бази, інтеграції віртуального моделювання з реальним прототипуванням. Суттєвим викликом є також обмеженість матеріально-технічного забезпечення закладів вищої освіти, необхідність дотримання норм техніки безпеки під час роботи з лазерними та адитивними установками, а також забезпечення екологічної відповідальності виробничих процесів відповідно до Цілей сталого розвитку. У цьому контексті актуалізується впровадження цифрових симуляторів, систем автоматизованого проєктування, віртуальних лабораторій, що дозволяють моделювати технологічні процеси без значних фінансових витрат. Окремого значення набуває питання методичної адаптації складних інженерних концепцій для педагогічної підготовки. Майбутній учитель має не лише розуміти принципи селективного лазерного спікання чи формування наноструктур, а й уміти пояснити їх доступною мовою, спроєктувати навчальне завдання, інтегрувати ці знання у шкільний проєкт, забезпечити міжпредметні зв'язки з фізикою, хімією, інформатикою. Таким чином, йдеться про трансформацію інженерного знання у педагогічний інструмент. Отже, сучасна технологічна освіта перебуває на перетині інженерних інновацій, цифрових трансформацій та педагогічних реформ. Підготовка майбутнього вчителя технологій має ґрунтуватися на інтеграції фундаментальних знань з матеріалознавства, володінні сучасними виробничими технологіями та здатності методично коректно транслювати їх у шкільне освітнє середовище. Саме в цьому контексті розглядається проблематика даної статті, спрямована на формування науково обґрунтованих підходів до оновлення змісту та методики викладання сучасних технологій виробництва й обробки новітніх конструкційних матеріалів.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблематика оновлення змісту технологічної освіти в умовах цифровізації виробництва та стрімкого розвитку матеріалознавства активно досліджується вітчизняними й зарубіжними науковцями. Так, у працях українських авторів [1–3; 22] розглядаються сучасні підходи в теорії і методиці навчання технологій, інтеграція STEM-підходів у технологічну освіту, обґрунтовано значення практико-орієнтованого підходу, міжпредметної інтеграції та формування проєктної культури майбутніх педагогів. Наукові публікації закордонних авторів останніх років також засвідчують інтенсивний розвиток кількох взаємопов'язаних напрямів: дослідження новітніх конструкційних матеріалів; впровадження

адитивних та цифрових виробничих технологій; формування компетентностей у галузі STEM-освіти; методика професійної підготовки майбутніх учителів технологій. Питання створення та застосування новітніх конструкційних матеріалів ґрунтовно висвітлено у працях закордонних учених. Зокрема, у роботах [6; 17; 25] досліджено властивості композиційних матеріалів з полімерною та металевою матрицею, механізми формування їх мікроструктури та напрями практичного застосування. Публікації дослідників також присвячені розвитку нанотехнологій у матеріалознавстві, зокрема питанням синтезу наноструктурованих покриттів, модифікації поверхні та підвищення зносостійкості матеріалів [12]. У міжнародному науковому дискусії активно досліджуються високоентропійні сплави, функціонально-градієнтні матеріали, природні 2D-матеріали в складі полімерних композитів. Зокрема, у працях [4] аналізуються перспективи використання природних двовимірних матеріалів для створення екологічно орієнтованих композитів у будівництві, що підкреслює необхідність інтеграції тем сталого розвитку в освітні програми. Окремий напрям становлять дослідження цифрових двійників виробів, застосування CAD/CAE/CAM-систем у виробничому циклі та моделювання поведінки матеріалів у віртуальному середовищі. Ці аспекти дедалі частіше розглядаються як обов'язковий компонент сучасної інженерної підготовки [8; 19].

Упродовж 2021–2025 років спостерігається значний сплеск досліджень, присвячених інтеграції additive manufacturing (AM) в освітній процес. У роботі [5] розглянуто адитивне виробництво багатофункціональних решітчастих структур як інструмент формування компетентностей з інженерного проектування. Дослідники наголошують на поєднанні теоретичної підготовки з hands-on тренінгами для полімерних і металевих AM-процесів. Публікації 2025 року, присвячені розвитку робочої сили через освіту в галузі адитивного виробництва, пропонують гібридні моделі навчання з акцентом на DfAM (Design for Additive Manufacturing) та цифрових симуляціях. Значний внесок у розвиток іммерсивних освітніх підходів робить MIT Professional Education, де розробляються командні формати підготовки з інтеграцією AM-технологій у бізнес- та інженерні процеси. В той же час, у міжнародному контексті пропонується модель професійного розвитку вчителів, орієнтовану на інсайт, мотивацію, педагогічні техніки та інституційне вбудовування інновацій [19]. Автори [24] досліджують вплив штучного інтелекту на академічний розвиток студентів і обґрунтовують доцільність використання ШІ для моделювання технологічних процесів. У роботі [14] розроблено рамки інструкційного дизайну для навчання матеріалознавству із застосуванням віртуальних симуляцій та змішаних форматів. Водночас наголошується на необхідності переходу від репродуктивного до продуктивного типу навчання, що відповідає сучасним тенденціям High-Tech освіти. Таким чином, аналіз публікацій дозволяє виокремити кілька тенденцій: 1) інженерно-матеріалознавчі дослідження значно випереджають педагогічні розробки за глибиною опрацювання новітніх технологій; 2) зарубіжні праці зосереджені переважно на підготовці інженерів та розвитку workforce в адитивному виробництві, тоді як аспект підготовки pre-service technology teachers залишається недостатньо розкритим; 3) в українській педагогічній науці активно досліджується інтеграція STEM та цифрових інструментів, однак методика викладання саме новітніх технологій обробки матеріалів (адитивних, лазерних, плазмових, нанотехнологій) у педагогічних закладах вищої освіти перебуває на стадії становлення; 4) недостатньо систематизовано підходи до формування у майбутніх учителів системного бачення життєвого циклу виробу та екологічної відповідальності у межах технологічної освіти. Отже, попри значну кількість наукових публікацій у сфері матеріалознавства, адитивного виробництва та STEM-освіти, залишається недостатньо розробленим саме методичний аспект інтеграції сучасних технологій виробництва й обробки новітніх конструкційних матеріалів у професійну підготовку майбутніх учителів технологій.

Матеріали та методи. У межах проведеного дослідження під час обґрунтування та відбору методичного інструментарію, спрямованого на оцінювання впливу запропонованих

структурних компонентів вивчення сучасних технологій виробництва й обробки новітніх конструкційних матеріалів у системі професійної підготовки майбутніх учителів технологій, було застосовано комплекс взаємодоповнювальних методів наукового пізнання. Зокрема, з метою теоретичного аналізу проблематики використано метод аналізу наукових і навчально-методичних джерел, а також релевантних інтернет-ресурсів, що дало змогу окреслити сучасний стан досліджуваного питання, визначити концептуальні підходи та уточнити термінологічний апарат. Для конструювання, розширення та поглиблення змістового наповнення навчального матеріалу застосовано методи синтезу, узагальнення та систематизації, які забезпечили логічну інтеграцію теоретичних положень і практико-орієнтованих компонентів у цілісну дидактичну систему. З метою емпіричної перевірки результативності запропонованого підходу використано метод педагогічного спостереження в умовах реальної практики викладання, що дозволило встановити рівень його ефективності та доцільність упровадження в освітній процес закладів вищої освіти.

Результати. Сучасні конструкційні матеріали та технології їх виробництва й обробки становлять ключовий елемент професійної підготовки майбутніх учителів технологій у контексті переходу до Industry 5.0 – еволюційного етапу промислового розвитку, який будується на фундаменті Industry 4.0, але акцентує увагу на людиновимірності, сталості, резиліентності та синергії людини з кіберфізичними системами. Згідно з Європейською Комісією, це «візія промисловості, яка виходить за межі ефективності та продуктивності як єдиних цілей, і посилює роль промисловості в суспільстві» [9]. Вона ставить благополуччя працівників у центр виробничих процесів, використовуючи нові технології для забезпечення процвітання, яке виходить за рамки робочих місць і зростання, з урахуванням екологічних обмежень планети. На відміну від попередніх революцій, Industry 5.0 не є радикальною заміною, а радше доповненням: вона поєднує автоматизацію з людською креативністю, роблячи виробництво більш персоналізованим і адаптивним. Якщо четверта промислова революція (Industry 4.0) фокусується на цифровізації, автоматизації та інтеграції кіберфізичних систем (ІоТ, ШІ, великі дані, машинне навчання), де машини працюють автономно для підвищення ефективності та створення «розумних фабрик», з метою масового виробництва та мінімальним втручанням людини, то Industry 5.0, навпаки, повертає «людський дотик» у виробництво, роблячи акцент на співпраці людини з машинами (наприклад, через колаборативних роботів – cobots). Industry 5.0 не заміняє 4.0, а доповнює її, вирішуючи проблеми, як-от соціальні (безробіття через автоматизацію) та екологічні (високий вуглецевий слід). Фактично, Industry 5.0 стоїть на трьох стовпах: 1) людиноцентричності – робота з технологіями для покращення умов праці (наприклад, cobots виконують рутинні завдання, дозволяючи людям зосередитися на креативності та прийнятті рішень; 2) стійкості (sustainability) – екологічна орієнтація, кругова економіка, зменшення відходів (наприклад, технології такі, як ШІ та ІоТ оптимізують ресурси, зменшуючи CO₂-викиди на 50% порівняно з традиційними методами); 3) резиліентності – системи, стійкі до криз (наприклад, пандемій чи геополітичних збоїв). Це включає передбачувальне обслуговування та гнучкі ланцюги постачань за допомогою ШІ. Технологічними компонентами Industry 5.0 вже виступають: ШІ, блокчейн, edge computing, іммерсивні технології (VR/AR), цифрові двійники, 6G, когнітивні обчислення. До переваг Industry 5.0 можна віднести персоналізоване виробництво (mass customization) з людським дотиком, покращення благополуччя працівників (менше рутини, більше креативності), екологічну користь (зменшення відходів, ефективне використання ресурсів) та економічне зростання, коли ринок зростає, створюючи нові робочі місця в креативних галузях [10; 13; 15].

Таким чином, Industry 5.0 не просто автоматизує виробництво (як Industry 4.0), а інтегрує технології з людським фактором для створення стійких, адаптивних систем, що відповідають соціальним, екологічним та економічним викликам. У матеріалознавстві це проявляється через

перехід від традиційних матеріалів (наприклад, металів чи пластиків) до новітніх, «розумних» і стійких матеріалів (наприклад, вуглецеві композити з вбудованими сенсорами для моніторингу зносу в реальному часі), які підтримують циркулярну економіку (circular economy) з переробкою на основі даних про стан матеріалу, зменшують відходи та адаптуються до зовнішніх умов. Такий вплив полягає у: 1) прискоренні інновацій – використанні ШІ, машинного навчання (ML) та великих даних для моделювання матеріалів з наперед заданими властивостями, що скорочує час розробки з років до місяців; 2) стійкості як пріоритету – матеріали мусять бути екологічними, біодеградованими чи рециклованими, з мінімальним вуглецевим слідом (CO₂ footprint); 3) людиноцентричності – використання матеріалів, що полегшують співпрацю людини з машинами (наприклад, через сенсори чи self-healing властивості), роблячи виробництво безпечнішим і креативнішим; 4) резиліентності – матеріали, стійкі до криз (наприклад, пандемій чи кліматичних змін), з можливістю самовідновлення чи адаптації. Це трансформує матеріалознавство з емпіричного підходу на інтегрований, дані-орієнтований (materials informatics), де моделювання, характеристика матеріалів та дані наук переплітаються для створення онтологій (спільних баз знань) і адаптивних протоколів. Самі матеріали повинні стати «розумними» – оснащеними сенсорами, ШІ та комунікаційними інтерфейсами для взаємодії з людиною. Наприклад, engineered living materials (біо-інспіровані матеріали, як біо-адгезиви чи біологічно створені композити) дозволять створювати продукти, що саморегулюються (наприклад, змінюють форму чи колір у відповідь на стимули). Також, це полегшить кастомізацію (mass customization) і сервітизацію (перетворення продуктів на послуги), де матеріали «спілкуються» з користувачем для оптимізації використання, зменшить рутинну працю, підвищить креативність у дизайні (наприклад, у 3D-друку для медичних імплантатів чи будівництва). Відбудеться фокус на циркулярних розумних продуктах (circular smart products, SCP) – матеріалах, що є довговічними, перероблюваними та енергоефективними, наприклад, розвиток нанотехнологій для створення магнітних гідрогелів, які видаляють важкі метали та барвники з води, або наноцелюлози для біоремедіації (очищення забруднень біологічними методами). Фактично, Industry 5.0 стимулює проактивний екологізм (proactive environmentalism, PRE), де матеріали інтегрують відновлювальні джерела енергії та зменшують відходи на 50-90 % порівняно з традиційними методами. Перспективним є розвиток біодеградованих полімерів (наприклад, PLA з добавками для біомедичних застосувань), високоентропійних сплавів (HEA) для термостабільних конструкцій і функціонально-градієнтних матеріалів для оптимізації ресурсів. Потрібні будуть матеріали, що витримують екстремальні впливи – самовідновлювальні (self-healing) композити чи наноматеріали з підвищеною стійкістю до корозії/зносу. При цьому повноцінна інтеграція з цифровими двійниками (digital twins) та ШІ дозволить моделювати властивості й поведінку матеріалів (нових сплавів чи композитів) у реальному часі, прогнозуючи дефекти та оптимізуючи їх склад, або ж прискорюючи їх відкриття (наприклад, HEA для авіації з низьким CO₂-слідом). Можлива також модульність матеріалів для гнучких ланцюгів постачань, де продукти легко адаптуються (наприклад, у виробництві з відновлюваних ресурсів під час дефіциту сировини) [7; 11; 18].

Проведене нами дослідження показало, що ефективно вивчення новітніх конструкційних матеріалів можливе лише за умови міждисциплінарної інтеграції матеріалознавства, адитивних технологій, цифрового проектування, екологічного аналізу, ШІ та STEM-підходу. Аналіз сучасного стану матеріалознавства в умовах Industry 4.0 та 5.0, проведений на основі огляду публікацій 2021–2025 рр., виявив перехід від традиційної парадигми «склад → структура → властивості → застосування» до цифрового моделювання з використанням ШІ для прогнозування фазових перетворень і створення матеріалів з наперед заданими характеристиками. У контексті Industry 5.0 це означає акцент на етичність, екологічність та людиновимірність технологій. Для підготовки майбутніх учителів технологій це вимагає формування компетент-

ностей у розумінні мікроструктурних механізмів, принципів легування, цифрових інструментів аналізу та педагогічної адаптації складних концепцій. Ключові тенденції розвитку новітніх матеріалів включають: високоентропійні сплави з багатокомпонентною структурою, що забезпечують термостабільність і корозійну стійкість; композиційні матеріали з анізотропними властивостями; наноматеріали з розміром зерна <100 нм, де міцність зростає за законом Холла-Петча; розумні матеріали (пізоелектричні, самовідновлювальні); біоматеріали для екологічних застосувань. У педагогічному аспекті виявлено прогалину: інженерні дослідження випереджають методичні розробки, тому необхідна інтеграція цих тенденцій у шкільні проекти з акцентом на міждисциплінарність (фізика, хімія, інформатика). На основі аналізу літератури класифіковано новітні конструкційні матеріали з урахуванням їх можливого застосування в освітніх проектах: 1) *композиційні матеріали* – матриця (полімерна, металева, керамічна) + армувальні елементи (вуглецеві/скляні волокна, нанотрубки). Перевагами є питома міцність до 7000 МПа, щільність 1,5–1,8 г/см³, tailoring властивостей. Технології: hand lay-up, vacuum infusion, автоклав; 2) *наноматеріали та нанокомпозити* – додавання наночастинок (графен, нанотрубки) підвищує характеристики на 20–150 %. Щільність 1,2–2,0 г/см³, висока реакційна здатність; 3) *матеріали адитивного виробництва* – полімери (PLA, ABS, PETG), метали (титан, алюміній), кераміка. Процеси: FDM/FFF, SLA/DLP, SLS/SLM/LPBF, Binder Jetting. Переваги: зменшення відходів на 90 %, кастомізація, топологічна оптимізація; 4) *високоентропійні та функціонально-градієнтні сплави* – стабілізація однофазної структури, уповільнена дифузія; 5) *розумні та біоматеріали* – реакція на стимули, біодеградація (PLA з добавками DMSO₂).

Методична система вивчення новітніх конструкційних матеріалів може бути побудована на чотирьох етапах, інтегруючи в себе не тільки Classroom і проектний метод, а й VR-симуляції та ШІ-оптимізацію, що відповідає таким програмним результатам, як: класифікація матеріалів, вибір технологій, цифрове проектування, екологічна оцінка.

Етап 1. Теоретичне осмислення – лекції з використанням інтерактивних презентацій, відео з YouTube про АМ, практичні, лабораторні, віртуальні лабораторії (симуляції в Fusion 360). Студенти вивчають фізико-хімічні основи, класифікацію, властивості, порівняльний аналіз з традиційними матеріалами.

Етап 2. Цифрове проектування – освоєння CAD/CAM-систем (Tinkercad, SolidWorks), топологічної оптимізації з ШІ (generative design). Завдання: моделювання деталі з урахуванням DfAM-правил (мінімізація опор, оптимізація орієнтації, уникнення тонких стінок).

Етап 3. Практичне виготовлення – прототипування на 3D-принтерах, створення композитних зразків (hand lay-up, vacuum infusion), тестування (міцність на розтяг, ударну в'язкість).

Етап 4. Аналіз, оцінка та презентація – порівняння результатів з теоретичними прогнозами, екологічна оцінка (LCA – life cycle assessment), підготовка портфоліо, захист проекту з використанням хмарних платформ (Cloud Manufacturing).

Нами запропоновано наступні можливі STEM-проекти для майбутніх учителів технологій з використанням сучасних конструкційних матеріалів:

Проект 1: «Композитне кріплення для навчального дрона» – моделювання, друк корпусу, армування вуглеволокном, випробування.

Проект 2: «Екологічний прототип іграшки з біопластику» – FDM-друк з PLA, оцінка деградації.

Проект 3: «Оптимізована деталь методом топологічної оптимізації» – використання Fusion 360 generative design, друк, порівняння ваги/міцності.

Під час «Практикуму з технологій» ми впроваджуємо методику «навчання через дослідження». Студенти не просто виготовляють виріб за зразком, а проводять порівняльний аналіз. Наприклад, обробка однієї і тієї ж деталі різними інструментами (ручним, електричним, на верстаті з ЧПК) з подальшою оцінкою якості поверхні та енерговитрат. Це формує здатність до

ощадливого використання ресурсів на засадах сталого розвитку. Особливе місце посідає організація безпечного освітнього середовища. Майбутній учитель має вміти контролювати дотримання технологій та експлуатації обладнання. В умовах інклюзивної освіти студенти вчать розробляти пристосування для учнів з особливими освітніми потребами, що дозволяє залучати їх до активної праці.

Вивчення сучасних технологій виробництва та обробки матеріалів у вищій школі має базуватися на принципі наступності та міждисциплінарної інтеграції. Відповідно до визначених компетентностей, майбутній учитель має не просто знати назву сплаву, а розуміти суть фізичних явищ, що визначають його властивості. Навчальний матеріал за напрямом «Сучасні технології виробництва та обробки новітніх конструкційних матеріалів» ми розподіляємо на чотири логічні блоки, кожен з яких спрямований на формування конкретних програмних результатів навчання (ПРН).

Блок I. «Металеві матеріали та новітні методи їх зміцнення». Тут ми розглядаємо не лише класичну класифікацію сталей та чавунів, а й сучасні методи термічної та хіміко-термічної обробки. Особлива увага приділяється лазерному зміцненню та плазмовому напиленню. Студенти вчать пояснювати фізичні закономірності формування кристалічної решітки, що безпосередньо формує здатність до розуміння суті фізичних явищ.

Блок II. «Порошкова металургія та методи синтезу матеріалів». У межах цього блоку студенти вивчають технології, що дозволяють отримувати деталі з унікальними властивостями, які неможливо створити традиційним литтям. *Зміст*: процеси отримання порошків (фізико-хімічні та механічні методи), змішування, пресування та спікання. *Методичний акцент*: ми пояснюємо сутність дифузійних процесів при спіканні. Це формує ПРН про пояснення принципу дії технічних систем) та Компетентність про розуміння суті фізичних явищ. Студенти мають усвідомити, що порошкова металургія є безвідходною технологією, що відповідає засадам сталого розвитку.

Блок III. «Аддитивні технології (Additive Manufacturing)». Це ключовий розділ, що викликає найбільший інтерес у студентів. *Зміст*: детальна класифікація методів: FDM (Fused Deposition Modeling), SLA (Stereolithography), SLS (Selective Laser Sintering), SLM (Selective Laser Melting). Розглядаються матеріали для 3D-друку: від термопластів (PLA, ABS, PETG) до металевих порошків та фотополімерів. *Методичний акцент*: особлива увага приділяється технологічному ланцюжку: CAD (просектування) → STL (експорт) → Slicing (підготовка до друку) → 3D Printing. Студенти вчать використовувати цифрове середовище, що дозволяє їм у майбутньому реалізовувати STEM-проекти будь-якої складності.

Блок IV. «Новітні методи обробки та зміцнення поверхонь». *Зміст*: електронно-променева та лазерна обробка, плазмове напилення, іонна імплантація, сучасні інструментальні матеріали (кераміка, кубічний нітрид бору, синтетичні алмази). *Методичний акцент*: важливо розкрити концепцію «інженерії поверхонь», де основний об'єкт деталі може бути дешевим матеріалом, а робоча поверхня – надтвердою та зносостійкою. Це навчає студентів раціональному використанню ресурсів.

Блок V. «Композиційні, наноматеріали та «розумні» сплави». *Зміст*: композити з металевою, керамічною та полімерною матрицями, технології отримання вуглепластиків, металокompозитів та керамоматричних матеріалів, нановуглецевих трубок та їх застосування, сплави з ефектом пам'яті форми (на основі нітинолу). *Методичний акцент*: ми розглядаємо композити як приклад міждисциплінарної інтеграції. Студенти аналізують, як поєднання двох різних фаз створює матеріал з якісно новими характеристиками. Важливо, щоб студенти розуміли принципи «армування» та «матриці», що дозволяє їм у майбутній професійній діяльності організувати STEM-проекти. Наприклад, виготовлення найпростішої композитної балки з епоксидної смоли та скловолокна в умовах майстерні.

При викладанні лекційного матеріалу ми використовуємо методику «Перевернутого навчання» (Flipped Classroom). Студенти заздалегідь ознайомлюються з теоретичними основами через цифрові ресурси університету, а під час лекції відбувається активне обговорення кейсів. Наприклад, аналіз причин виходу з ладу конкретної деталі та вибір новітньої технології для її відновлення. Для формування здатності працювати в інклюзивному середовищі ми пропонуємо студентам завдання з розробки ергономічних ручок інструментів для людей з порушеннями моторики, які можна виготовити за допомогою 3D-сканування та друку.

Сучасні технології не можуть вивчатися у відриві від екології. У лекціях ми розкриваємо концепцію Cradle-to-Cradle (від колиски до колиски). Студенти вивчають технології рециклінгу металів та пластиків, методи біодеградації новітніх полімерів. Це формує у них готовність до зміни навколишнього середовища без заподіяння йому шкоди. Особлива увага приділяється академічній доброчесності. При опрацюванні англomовних джерел та патентів студенти вчать коректно цитувати результати чужих досліджень, що є критичним на всіх рівнях вищої освіти.

Експериментальна перевірка запропонованої нами методики проводилася на базі Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка у 2024–2025 рр. У дослідженні брали участь 64 студенти спеціальності А4.10 «Середня освіта (Технології)». Було сформовано: контрольну групу (КГ) – 32 студенти (традиційна методика); експериментальну групу (ЕГ) – 32 студенти (інтеграція сучасних технологій виробництва, цифрового моделювання та STEM-проектування). Критерії оцінювання: 1) когнітивний (рівень теоретичних знань); 2) технологічний (уміння добору матеріалів та обґрунтування технології); 3) проєктний (здатність реалізовувати STEM-проекти). За результатами перевірки було отримано відповідні рівні сформованості професійної готовності студентів (табл. 1):

Таблиця 1

Рівні сформованості професійної готовності (% студентів)

Рівень	КГ (до)	КГ (після)	ЕГ (до)	ЕГ (після)
Високий	12%	19%	14%	41%
Достатній	34%	38%	36%	44%
Середній	39%	31%	37%	13%
Низький	15%	12%	13%	2%

Статистична обробка (*t*-критерій Стьюдента) показала достовірність відмінностей ($p < 0,05$) між КГ та ЕГ після формувального етапу.

В експериментальній групі: на 27% зросла здатність аргументовано добирати матеріал; на 31% підвищилась якість виконання проєктних робіт; на 22% покращився рівень екологічного аналізу виробничих процесів; 78% студентів продемонстрували готовність інтегрувати адитивні технології в шкільний курс. Якісний аналіз показав формування: системного технічного мислення; здатності пояснювати інноваційні технології доступною мовою; інтеграції теорії та практики.

Висновки. Перехід до концепції Industry 5.0 принципово змінює вимоги до змісту професійної підготовки майбутніх учителів технологій, оскільки акцентує людиноцентричність, сталість, резилієнтність і синергію людини з кіберфізичними системами, що неможливо реалізувати без глибокого оновлення знань про новітні конструкційні матеріали та технології їх виробництва й обробки. Традиційна система викладання дисциплін «Сучасні Технології обробки матеріалів» і «Сучасні конструкційні матеріали та технології виробництва» (орієнтована переважно на метали, лиття, зварювання та механічну обробку) не відповідає сучасним тенденціям матеріалознавства, де домінують композиційні, нанокomпозитні, розумні, біодегратовані матеріали, високоентропійні сплави, функціонально-градієнтні структури та адитивні технології (FDM, SLA, SLS/SLM, LPBF). Ефективна підготовка майбутніх педагогів вимагає міждисциплінарної інтеграції матеріалознавства, адитивного виробництва, цифрового проєктування, аналізу життєвого циклу матеріалів, принципів циркулярної економіки та екологічної оцінки, а також обов'язкового поєднання теоретичних знань з практичним прототипуванням і віртуальним моделюванням. Запропонована чотириетапна методична система (теоретичне осмислення – цифрове проєктування – практичне виготовлення – аналіз та оцінка) та п'ятиблокова структура навчального матеріалу дозволяють системно формувати ключові компетентності: класифікацію та вибір матеріалів, обґрунтування технологій обробки, використання цифрових інструментів, оцінювання екологічного впливу, адаптацію складних концепцій до шкільного проєктно-орієнтованого навчання. Інтеграція методів flipped classroom, навчання через дослідження, віртуальних симуляторів, generative design та конкретних STEM-проєктів (дрони, біопластик, топологічна оптимізація) суттєво підвищує мотивацію студентів, розвиває критичне мислення, цифрову грамотність і здатність до трансляції інноваційних знань

у середовище Нової української школи. Обмеженість матеріально-технічної бази педагогічних закладів вищої освіти може бути компенсована широким використанням відкритих хмарних платформ, безкоштовних САД-систем, віртуальних лабораторій і симуляторів, що забезпечує безпеку, економічність і доступність вивчення високотехнологічних процесів.

Подальший розвиток методики потребує систематичного моніторингу ефективності запропонованих підходів, розширення емпіричної бази (зокрема, лонгітюдних досліджень), поглиблення співпраці з промисловістю, а також розробки спеціалізованих навчально-методичних комплексів, орієнтованих на Industry 5.0 та Цілі сталого розвитку. Отримані результати можуть бути використані при оновленні освітньо-професійних програм, робочих програм навчальних дисциплін, підручників і посібників зі спеціальності «Середня освіта (Технології)», а також у системі післядипломної педагогічної освіти.

Література:

1. Корець М.С., Іщенко С.М. Теорія і методика навчання технологій і технічних дисциплін. Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2025. 209 с.
2. Методичні засади використання технологій STEM-освіти в гімназії: методичний посібник / Рогоза В.В., Левченко Ф.Г. та ін. Київ.: Педагогічна думка, 2025. 198 с.
3. Теорія і методика навчання технологій: навчальний посібник для здобувачів освіти ступеня молодший бакалавр та бакалавр за спеціальністю А4 Середня освіта (за спеціальностями) / Андрощук І.П., Андрощук І.В., Бербец В.В. та ін. / за заг. ред. О.М. Коберника. Вінниця : ТВОРИ, 2025. 692 с.
4. Arefin N., Shanmugam R., Zeng M. Natural 2D material polymer composites: Processing, properties, and applications. In E. Natarajan, K. Markandan, C. S. B. Hassan, & P. G. Koppad (Eds.), Sustainable structural materials: From fundamentals to manufacturing, properties and applications. 2025. (pp. 101–119). CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003362227>.
5. Bhat C., Prajapati M.J., Kumar A., Jeng J.Y. Additive manufacturing-enabled advanced design and process strategies for multi-functional lattice structures. *Materials*. 2024. Vol. 17. No. 14. 3398. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17143398>.
6. Chairi M., El Bahaoui J., Hanafi I. et al. Composite materials: A review of polymer and metal matrix composites, their mechanical characterization, and mechanical properties. In Next Generation Fiber-Reinforced Composites – New Insights. 2023. IntechOpen. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.106624>
7. Charitidis C., Sebastiani M., Goldbeck G. Fostering research and innovation in materials manufacturing for Industry 5.0: The key role of domain intertwining between materials characterization, modelling and data science. *Materials & Design*. 2022. Vol. 223. Article 111229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111229>.
8. da Silva L.R.R., Pimenov D.Y., da Silva R.B. et al. Review of applications of digital twins and Industry 4.0 for machining. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2025. Vol. 9. No. 7. Article 211. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp9070211>.
9. European Commission. (n.d.). Industry 5.0. Directorate-General for Research and Innovation. URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en.
10. Ghobakhloo M., Iranmanesh M., Tseng M.-L. et al. Behind the definition of Industry 5.0: A systematic review of technologies, principles, components, and values. *Journal of Industrial and Production Engineering*. 2023. Vol. 40. No. 5. pp. 432–447. DOI: <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2216701>.
11. Ghobakhloo M., Mahdiraji H.A., Iranmanesh M., Jafari-Sadeghi V. From Industry 4.0 digital manufacturing to Industry 5.0 digital society: A roadmap toward human-centric, sustainable, and resilient production. *Information Systems Frontiers*. 2024. Advance online publication. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10796-024-10476-z>.
12. Goyal A., Ansu A.K., Khan M.I. et al. Exploring the potential of nano technology: A assessment of nano-scale multi-layered-composite coatings for cutting tool performance. *Arabian Journal of Chemistry*. 2023. Vol. 16. No. 10. 105173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105173>.
13. Islam M.T., Sepanloo K., Woo S.H., Son Y.-J. A review of the Industry 4.0 to 5.0 transition: Exploring the intersection, challenges, and opportunities of technology and human-machine collaboration. *Machines*. 2025. Vol. 13. No. 4. Article 267. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines13040267>.
14. Jadallah H., Friedland C.J., Nahmens I. et al. Instructional Design Framework for Construction Materials Training. *Frontiers in Built Environment*, 2021. Vol. 7. 798843. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.798843>.
15. Jaime A., Osorio-Sanabria M.A., Bernal Torres D.Y. Similarities and differences between Industry 4.0 and Industry 5.0: Towards a transitioning model. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2026. Vol. 3. Suppl. C. Article 100921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100921>.
16. Kennedy M.M. How does professional development improve teaching? *Review of Educational Research*, 2016. Vol. 86. No. 4. pp. 945–980. DOI: 10.3102/0034654315626800.

17. Phiri R., Rangappa S.M., Siengchin S. et al. Advances in lightweight composite structures and manufacturing technologies: A comprehensive review. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. No. 21. e39661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39661>.
18. Rame R., Purwanto P., Sudarno S. Industry 5.0 and sustainability: An overview of emerging trends and challenges for a green future. *Innovation and Green Development*. 2024. Vol. 3. No. 4. Article 100173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100173>.
19. Sims S., Fletcher-Wood H., O'Mara-Eves A. et al. Effective Teacher Professional Development: New Theory and a Meta-Analytic Test. *Review of Educational Research*. 2023. Vol. 95. No. 2. DOI: <https://doi.org/10.3102/00346543231217480>.
20. Singh A., Wu P., Okwudire Ch.E., Banu M. Advancing Workforce Development through Additive Manufacturing Education and Training. *Manufacturing Letters*. 2025. Vol. 44. pp. 1637–1648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2025.06.183>.
21. Singh A., Wu P., Komaraju Bh. et al. Hybrid education and training approaches enabling workforce development in additive manufacturing. *Manufacturing Letters*. 2025. Vol. 46. pp. 65–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2025.10.007>.
22. Smutchak Z., Burlaienko T., Dubinina O. et al. Digitalization of Educational Technologies in Ukraine: Challenges and Perspectives. In: *Innovative and Intelligent Digital Technologies; Towards an Increased Efficiency. Studies in Systems, Decision and Control*, Springer, Cham. 2024. Vol. 564. pp. 517–527. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-70399-7_39.
23. Stoebe Th., Cossette I., Grady K. Materials Technology Education Processes and Outcomes: The MatEdU Program. *Journal of Advanced Technological Education (J ATE)*. 2024. Vol. 11. No. 1. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10557886>.
24. Vieriu A.M., Petrea G. The Impact of Artificial Intelligence (AI) on Students' Academic Development. *Education Sciences*. 2025. Vol. 15. No. 3. 343. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15030343>.
25. Zhao H., Li N., Bai Ch. A review of the preparation and properties of graphene-reinforced metal, ceramic, and polymer composites. *Materials Research Express*. 2025. Vol. 12, No. 7. 072002. DOI: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/adee7c>.

References:

1. Korets, M., Ishchenko, S. (2025). *Teoriia i metodyka navchannia tekhnolohii i tekhnichnykh dystsyplin [Theory and methods of teaching technologies and technical disciplines]*. Kyiv, Ukraine: Vyd-vo UDU imeni Mykhaila Drahomanova. 209 s. [in Ukrainian]
2. Rohoza, V.V., Levchenko, F.H. et al. (2025). *Metodychni zasady vykorystannia tekhnolohii STEM-osvity v himnazii: metodychnyi posibnyk [Methodical principles of using STEM-education technologies in gymnasium: methodical guide]*. Kyiv, Ukraine: Pedahohichna dumka. 198 s. [in Ukrainian]
3. Androshchuk, I.P., Androshchuk, I.V., Berbets, V.V. et al. (2025). *Teoriia i metodyka navchannia tekhnolohii: navchalnyi posibnyk dlia здобувачів освіти ступеня молодшої бакалавр та бакалавр за спеціальністю А4 Середня освіта (за спеціальностями) [Theory and methods of teaching technologies: textbook for students of junior bachelor and bachelor degree in specialty A4 Secondary education (by specialties)]*. Vinnytsia, Ukraine: TVORY. 692 s. [in Ukrainian]
4. Arefin, N., Shanmugam, R., Zeng, M. (2025). Natural 2D material polymer composites: Processing, properties, and applications. In E. Natarajan, K. Markandan, C. S. B. Hassan, & P. G. Koppad (Eds.), *Sustainable structural materials: From fundamentals to manufacturing, properties and applications*. pp. 101–119. <https://doi.org/10.1201/9781003362227> [in English].
5. Bhat, C., Prajapati, M.J., Kumar, A., Jeng, J.Y. (2024). Additive manufacturing-enabled advanced design and process strategies for multi-functional lattice structures. *Materials*, 17(14), 3398. <https://doi.org/10.3390/ma17143398> [in English].
6. Chairi, M., El Bahaoui, J., Hanafi, I. et al. (2023). Composite materials: A review of polymer and metal matrix composites, their mechanical characterization, and mechanical properties. In *Next Generation Fiber-Reinforced Composites – New Insights. IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106624> [in English].
7. Charitidis, C., Sebastiani, M., Goldbeck, G. (2022). Fostering research and innovation in materials manufacturing for Industry 5.0: The key role of domain intertwining between materials characterization, modelling and data science. *Materials & Design*, 223, 111229. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111229> [in English].
8. da Silva, L.R.R., Pimenov, D.Y., da Silva, R.B. et al. (2025). Review of applications of digital twins and Industry 4.0 for machining. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9(7), Article 211. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp9070211> [in English].
9. European Commission. (n.d.). *Industry 5.0. Directorate-General for Research and Innovation*. Retrieved from: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en [in English].
10. Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Tseng, M.-L. et al. (2023). Behind the definition of Industry 5.0: A systematic review of technologies, principles, components, and values. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 40(6), 432–447. <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2216701> [in English].

11. Ghobakhloo, M., Mahdiraji, H. A., Iranmanesh, M., Jafari-Sadeghi, V. (2024). From Industry 4.0 digital manufacturing to Industry 5.0 digital society: A roadmap toward human-centric, sustainable, and resilient production. *Information Systems Frontiers*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10796-024-10476-z> [in English].
12. Goyal, A., Ansu, A.K., Khan, M.I. et al. (2023). Exploring the potential of nano technology: A assessment of nano-scale multi-layered-composite coatings for cutting tool performance. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(10), 105173. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105173> [in English].
13. Islam, M.T., Sepanloo, K., Woo, S. et al. (2025). A review of the Industry 4.0 to 5.0 transition: Exploring the intersection, challenges, and opportunities of technology and human-machine collaboration. *Machines*, 13(4), 267. <https://doi.org/10.3390/machines13040267> [in English].
14. Jadallah, H., Friedland, C.J., Nahmens, I. et al. (2021). Instructional Design Framework for Construction Materials Training. *Frontiers in Built Environment*, 7, 798843. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.798843> [in English].
15. Jaime, A., Osorio-Sanabria, M.A., Bernal Torres, D.Y. (2026). Similarities and differences between Industry 4.0 and Industry 5.0: Towards a transitioning model. *Journal of Innovation & Knowledge*, 13 (Suppl. C), 100921. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2025.100921> [in English].
16. Kennedy, M. (2016). How does professional development improve teaching? *Review of Educational Research*. 86(4), 945–980. [10.3102/0034654315626800](https://doi.org/10.3102/0034654315626800) [in English].
17. Phiri, R., Rangappa, S.M., Siengchin, S. et al. (2024). Advances in lightweight composite structures and manufacturing technologies: A comprehensive review. *Heliyon*, 10(21), e39661. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39661> [in English].
18. Rame, R., Purwanto, P., Sudarno, S. (2024). Industry 5.0 and sustainability: An overview of emerging trends and challenges for a green future. *Innovation and Green Development*, 3(4), 100173. <https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100173> [in English].
19. Sims, S., Fletcher-Wood, H., O'Mara-Eves, A. et al. (2023). Effective Teacher Professional Development: New Theory and a Meta-Analytic Test. *Review of Educational Research*, 95(2). <https://doi.org/10.3102/00346543231217480> [in English].
20. Singh, A, Wu, P., Okwudire, Ch.E., Banu, M. (2025). Advancing Workforce Development through Additive Manufacturing Education and Training. *Manufacturing Letters*, 44. 1637–1648. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2025.06.183> [in English].
21. Singh, A, Wu, P., Komaraju, Bh. et al. (2025). Hybrid education and training approaches enabling workforce development in additive manufacturing. *Manufacturing Letters*, 46, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2025.10.007> [in English].
22. Smutchak, Z., Burlaienko, T., Dubinina, O. et al. (2024). Digitalization of Educational Technologies in Ukraine: Challenges and Perspectives. In: *Innovative and Intelligent Digital Technologies; Towards an Increased Efficiency. Studies in Systems, Decision and Control*, 564. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70399-7_39 [in English].
23. Stoebe, Th., Cossette, I., Grady, K. (2024). Materials Technology Education Processes and Outcomes: The MatEdU Program. *Journal of Advanced Technological Education (JATE)*, 11 (1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10557886> [in English].
24. Vieriu, A.M., Petrea, G. (2025). The Impact of Artificial Intelligence (AI) on Students' Academic Development. *Education Sciences*, 15(3), 343. <https://doi.org/10.3390/educsci15030343> [in English].
25. Zhao, H., Li, N., Bai, Ch. (2025). A review of the preparation and properties of graphene-reinforced metal, ceramic, and polymer composites. *Materials Research Express*, 12(7), 072002. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/adee7c> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 30.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

УДК 378.016:517

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-12>

ФОРМУВАННЯ ПОНЯТТЯ ГРАНИЦІ ФУНКЦІЇ У СТУДЕНТІВ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Томащук Олексій Петрович,

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри прикладної математики
Державного університету «Київський авіаційний інститут»
ORCID ID: 0000-0001-5631-3418

Самусенко Петро Федорович,

доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри математичного аналізу та теорії ймовірностей
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-4241-6173

Підгорна Тетяна Володимирівна,

доктор педагогічних наук, доцент,
професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних систем
Державного торговельно-економічного університету
ORCID ID: 0000-0002-1414-3489

Лещинський Олег Львович,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
викладач Фахового коледжу інженерії, управління та землевпорядкування
Державного університету «Київський авіаційний інститут»
ORCID ID: 0000-0001-6005-7779

Статтю присвячено методиці формування поняття границі функції у студентів закладів вищої освіти. Актуальність дослідження обумовлена тим, що сучасне суспільство розвивається в умовах активного застосування математичних методів у різноманітних сферах людської діяльності. Це зумовлює зростання вимог до рівня математичної підготовки фахівців різних спеціальностей. Важливою складовою цієї підготовки є володіння здобувачами освіти фундаментальними математичними поняттями. До таких понять, зокрема, належить поняття границі функції. Оволодіння цим поняттям сприяє кращому розумінню студентами інших ключових понять математичного аналізу: неперервності функції, похідна функції, визначений інтеграл тощо, які ґрунтуються на ідеї граничного переходу.

У статті проведено аналіз вітчизняних і зарубіжних публікацій з теми дослідження.

Розроблена методика формування поняття границі функції передбачає ознайомлення студентів із трьома означеннями границі функції у точці в такій послідовності: мовою послідовностей (за Гейне), мовою околів та мовою «ε-δ» (за Коші). Вибрана послідовність дає змогу реалізувати принцип: від означення, більш доступного для розуміння студентами, до складнішого. Зважаючи на складність формальних означень поняття границі функції в точці, їх введення здійснено конкретно-індуктивним методом із залученням відповідних графічних ілюстрацій. З метою кращого розуміння студентами більш складніших означень границі функції в точці (мовою околів та мовою «ε-δ») було залучено динамічні ілюстрації, реалізовані засобами GeoGebra.

© Томащук О. П., Самусенко П. Ф., Підгорна Т. В., Лещинський О. Л., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

Запропонована методика введення поняття границі функції ґрунтується на поєднанні наочних міркувань з їх подальшим аналітичним обґрунтуванням, що дає змогу студентам самостійно діяти до формулювання різних означень границі функції. Такий підхід сприяє свідомому засвоєнню студентами поняття границі функції.

Ключові слова: вища математика, математичний аналіз, методика формування математичного поняття, границя функції.

Tomashchuk Oleksii, Samusenko Petro, Pidgorna Tetyana, Leshchynskyi Oleh. Formation of the concept of the limit of a function among students of higher education institutions

The article is devoted to the methodology of forming the concept of a limit of a function for students of higher education institutions. The relevance of the study is determined by the fact that modern society is developing under conditions of the active application of mathematical methods in various spheres of human activity. This leads to increased requirements for the level of mathematical training of specialists in different fields. An important component of such training is students' mastery of fundamental mathematical concepts. Among these concepts, in particular, is the concept of a limit of a function. Mastering this concept contributes to a better understanding by students of other key concepts of mathematical analysis, such as function continuity, the derivative, and the definite integral, which are based on the idea of a limiting process.

The article analyzes domestic and foreign publications on the research topic.

The developed methodology for forming the concept of a limit of a function involves introducing students to three definitions of the limit of a function at a point in the following sequence: in terms of sequences (according to Heine), in terms of neighborhoods, and in terms of the « ϵ - δ » definition (according to Cauchy). The chosen sequence makes it possible to implement the principle of moving from a definition that is more accessible for students' understanding to a more complex one. Given the complexity of the formal definitions of the concept of a limit of a function at a point, their introduction is carried out using a concrete-inductive method with the involvement of appropriate graphical illustrations. In order to enhance students' understanding of the more complex definitions of the limit of a function at a point (in terms of neighborhoods and the « ϵ - δ » definition), dynamic visualizations implemented using GeoGebra were employed.

The proposed methodology for introducing the concept of a limit of a function is based on combining visual reasoning with subsequent analytical justification, which enables students to independently arrive at the formulation of various definitions of a function limit. This approach promotes the conscious and meaningful acquisition of the concept of a function limit by students.

Key words: higher mathematics, mathematical analysis, methodology of forming a mathematical concept, limit of a function.

Вступ. Математика є універсальною мовою науки та важливим інструментом для розуміння й моделювання навколишнього світу. Вона сьогодні перестала бути лише наукою для математиків: її методи проникають у всі сфери діяльності людини та відкривають нові можливості для розуміння світу. Вміння логічно мислити, аналізувати інформацію та моделювати процеси стає необхідним не лише для професійних математиків, а й для спеціалістів у різних галузях – від ІТ і медицини до менеджменту та соціальних наук. Володіння математичними методами допомагає не лише розв'язувати складні задачі, а й ефективно взаємодіяти із цифровим світом, знаходити оптимальні шляхи та приймати обґрунтовані рішення. У зв'язку із цим постає нагальна потреба вдосконалювати математичну підготовку студентів закладів вищої освіти. Важливою її складовою є володіння здобувачами освіти фундаментальними математичними поняттями. До таких понять, зокрема, належить поняття границі функції. Оволодіння цим поняттям студентами сприяє кращому розумінню інших ключових понять математичного аналізу: неперервність функції, похідна функції, визначений інтеграл тощо, які ґрунтуються на ідеї граничного переходу.

Проте досвід викладання показує, що у студентів часто виникають значні труднощі з розумінням строгих означень границі функції. Формальні означення, як-от за Коші чи Гейне, вимагають високого рівня абстрактного мислення й оперування точними логічними конструкціями, що на перших етапах може бути складним навіть для підготовлених студентів. У зв'язку із цим актуальною є розробка та впровадження ефективної методики формування поняття границі функції, яка поєднувала б наочність, інтуїтивні уявлення та строгі означення, відповідаючи сучасним вимогам вищої освіти та сприяла розвитку математичного мислення студентів.

Аналіз досліджень і публікацій. Особливості введення поняття границі функції в точці у шкільному курсі математики розглядалися у працях Т. Колесник, С. Музиченко [2; 4]. Грунтовний огляд основних понять тем «Границя числової послідовності» та «Границя функції» для студентів математичних спеціальностей вищих закладів освіти наведено в публікації М. Третьяка і М. Босовського [6], де проаналізовано змістове наповнення теми «Границя числової послідовності» в курсі математичного аналізу та виявлено предметні особливості цієї теми. Автори вважають, що вивчення теорії границь потрібно розпочинати з вивчення границі послідовності, а потім – границі функції і неперервності, що є класичним підходом. Разом із тим пропонується першим вводити означення границі числової послідовності мовою околів, що, зрозуміло, має як свої переваги, так і певні недоліки. При цьому методичні аспекти введення поняття границі послідовності та границі функції не розглядаються.

У праці Г. Михаліна [3] детально проаналізовано методичні аспекти введення поняття границі числової послідовності та границі функції у точці та зосереджено увагу на питаннях проблемного характеру, які при цьому виникають. Для їх усунення автором запропоновано новий підхід до пропедевтики поняття границі, який ґрунтується на інтуїтивному понятті «майже рівності». За допомогою цього вдається достатньо просто доводити різноманітні властивості границь.

У публікації М. Жалдака, Г. Михаліна, С. Деканова [1] узагальнено поняття границі функції (розглянуто поняття границі функції за певної умови) та проілюстровано його використання для розв'язування деяких задач математичного аналізу, психології та теорії імовірностей. При цьому для ілюстрації відповідних співвідношень, що виникають у процесі розв'язування прикладних задач, використано авторську розробку Gran1.

Праці Г. Михаліна [3], Дж. Шидлік (J. Szydlik) [15], М. Оертмана (M. Oehrtman) [14] присвячені розгляду концептуальних засад поняття границі. У дослідженнях Д. Денбель (D. Denbel) [9], Х. Фернандес-Плази (J. Fernández-Plaza) [10] детально проаналізовано помилкові уявлення студентів про типи функцій, які мають границю в точці. Зокрема, студенти часто розглядають границю як «недосяжне», як наближення, вважають, що функція повинна бути визначена в точці, щоб мати границю в цій точці, що лише неперервна функція має границю, що границя дорівнює значенню функції в точці тощо. Зрозуміло, що ці помилкові уявлення зумовлені насамперед складністю і фундаментальністю поняття границі. Усунення зазначених проблемних питань можливе різними способами. Наприклад, шляхом використання елементів програмування для демонстрації того факту, що певне число є границею деякої числової послідовності, а тому і границею відповідної функції [8], застосування інтерактивних технологій для покрокового «покращення» означення поняття границі з метою формулювання «точного» означення границі [11], використання графічних калькуляторів [5; 12; 13], динамічних ескізів [7].

На нашу думку, використання динамічних графічних ілюстрацій під час введення поняття границі функції у точці забезпечить більш глибоке розуміння цього поняття студентами як математичних, так і нематематичних спеціальностей закладів вищої освіти.

Матеріали та методи. Під час підготовки статті були використані такі методи дослідження: аналіз науково-методичної літератури з проблеми дослідження, навчальних посібників і підручників з вищої математики та математичного аналізу; систематизація та узагальнення вітчизняного, зарубіжного та власного педагогічного досвіду; педагогічне моделювання процесу формування поняття границі функції; педагогічне спостереження та аналіз результатів навчальної діяльності студентів.

Результати. Найбільш вживаними означеннями границі функції у точці є: означення за Гейне (мовою послідовностей), означення за Коші (мовою « ϵ - δ »), означення мовою околів. У більшості підручників і навчальних посібників з вищої математики та математичного аналізу поняття границі функції вводять, спираючись на означення за Коші. Насправді це означення відзначається високим рівнем абстрактності і тому є складним для розуміння більшістю студентів. Ми пропонуємо методику, яка передбачає ознайомлення студентів із різними означеннями поняття границі функції в точці в послідовності: від означення, простішого для розуміння студентами, до складнішого. Спочатку пропонуємо ознайомити студентів з означенням границі функції у точці за Гейне, потім – мовою околів і на завершення – означенням за Коші.

Оскільки кожне з означень границі функції в точці є складним для розуміння для більшості студентів, то введення кожного з них здійснюватимемо конкретно-індуктивним методом із залученням відповідних графічних ілюстрацій. Для створення таких ілюстрацій ми використали програмний засіб GeoGebra. Він виявився надзвичайно зручним для створення саме динамічних графічних ілюстрацій. Використання такого виду ілюстрації дає змогу студентам краще зрозуміти зміст кожного означення границі функції в точці.

Почати слід із того, що вибрати функцію, наприклад: $f(x) = \begin{cases} \sqrt{x}, & x \neq 4, \\ 5, & x = 4, \end{cases}$ побудувати її графік і зазначити, що $D(f) = [0; +\infty)$. Позначивши на рисунку кілька значень аргументу x , які змінюються і в процесі зміни наближаються досить близько до 4, але $x \neq 4$, студенти помічають, що при цьому відповідні значення функції f як завгодно близько наближаються до числа 2 (див. рис. 1). Тут викладач повинен зазначити, що при цьому кажуть, що задана функція f в точці 4 має границею число 2, і символічно цей факт записують так: $\lim_{x \rightarrow 4} f(x) = 2$. Після цього студенти самостійно або за допомогою викладача зможуть узагальнити: число A є границею функції f в точці x_0 , якщо значення функції f як завгодно близько наближаються до A , коли значення аргументу x досить близькі до x_0 , але $x \neq x_0$, тобто $f(x) \approx A$, коли $x \approx x_0$, але $x \neq x_0$. Тут викладач повинен наголосити, що це твердження виражає суть поняття границі функції в точці. Разом із тим воно не є строгим означенням границі функції в точці.

Далі слід наголосити студентам на необхідності «переведення» виявленої властивості функції f на строгу математичну мову й перейти до введення формального означення границі функції в точці.

Розглядаючи суть поняття границі функції в точці, ми вибирали значення x , які змінювалися й наближалися до числа 4. Ці значення можуть наближатися до числа 4 як дискретно, так і неперервно. Розглянемо випадок, коли значення x наближаються до 4 дискретно, тобто як значення x візьмемо члени певної числової послідовності, що збігається до числа 4 і всі її члени не дорівнюють 4. Наприклад, розглянемо послідовність $(x_n) = \left(4 - \frac{3}{n}\right)$. Разом зі студентами встановлюємо, що ця послідовність володіє такими властивостями:

- 1) $x_n \in D(f) \forall n \in N$; 2) $x_n \neq 4 \forall n \in N$; 3) $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = 4$.

Позначивши кілька членів послідовності (x_n) на осі абсцис та відповідні значення функції f в цих точках на осі ординат, студенти, безумовно, помітять, що $f(x_n) \rightarrow 2$, коли $x_n \rightarrow 4$ (див. рис. 1). Гіпотезу, висунуту студентами на основі міркувань наочності, потрібно підтвердити доведенням:

$$f(x_n) = \sqrt{x_n} = \sqrt{4 - \frac{3}{n}} \rightarrow \sqrt{4} = 2, n \rightarrow \infty,$$

тобто послідовність $(f(x_n))$ є збіжною до числа 2, коли послідовність (x_n) збігається до числа 4.

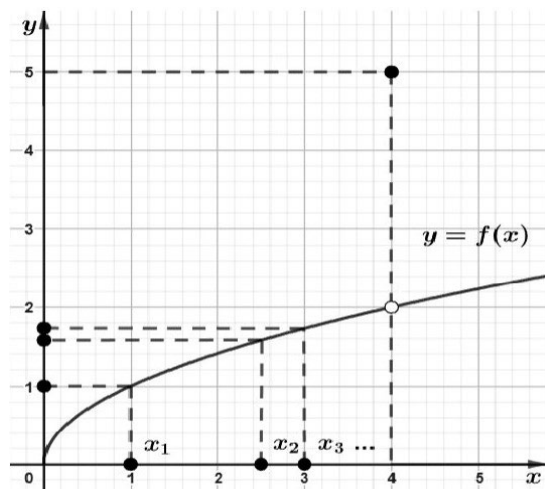


Рис. 1. Графічна ілюстрація наближення значень функції $f(x_n)$ до 2, коли $x_n \rightarrow 4$

Розглянувши послідовність $(x_n) = \left(4 + \frac{2(-1)^n}{n}\right)$, члени якої вже почергово наближаються до числа 4 справа і зліва (див. рис. 2), студенти також переконуються, що ця послідовність володіє властивостями 1) – 3) і

$$\lim_{n \rightarrow \infty} f(x'_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{x'_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{4 + \frac{2(-1)^n}{n}} = \sqrt{4} = 2.$$

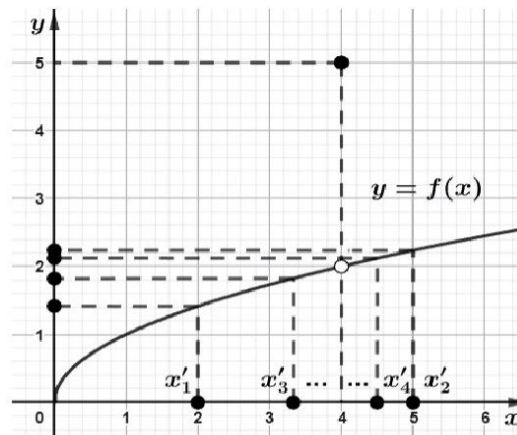


Рис. 2. Графічна ілюстрація наближення значень функції $f(x'_n)$ до 2, коли $x'_n \rightarrow 4$

Розглянуті приклади дадуть можливість студентам висунути гіпотезу про те, що $\lim_{n \rightarrow \infty} f(x_n) = 2$ для довільної послідовності (x_n) , що володіє властивостями 1) – 3).

Справедливість цієї гіпотези слід підтвердити разом із студентами:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} f(x_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{x_n} = \sqrt{4} = 2 \text{ (оскільки } x_n \rightarrow 4, \text{ коли } n \rightarrow \infty \text{).}$$

Таким чином, $\lim_{n \rightarrow \infty} f(x_n) = 2$ для довільної послідовності (x_n) такої, що:

- 1) $x_n \in D(f) \forall n \in N$; 2) $x_n \neq 4 \forall n \in N$; 3) $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = 4$.

Позначаючи число 2 (границю функції f) як A , а число 4 – як x_0 , на основі розглянутих прикладів студенти самостійно зможуть сформулювати **означення границі функції в точці за Гейне**. Нехай функція $y = f(x)$ визначена в деякому околі точки x_0 за винятком, можливо, самої точки x_0 . Тоді число A називають границею функції f в точці x_0 і записують $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = A$, якщо $\lim_{n \rightarrow \infty} f(x_n) = A$ для довільної послідовності (x_n) такої, що володіє властивостями:

- 1) $x_n \in D(f) \forall n \in N$; 2) $x_n \neq x_0 \forall n \in N$; 3) $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = x_0$.

Сформулювавши строге означення поняття границі функції в точці, слід наголосити студентам, що воно характеризує поведінку функції в досить малому околі точки x_0 , а не в самій точці x_0 . Причому абсолютно не має значення, визначена чи ні функція f в самій точці x_0 , а якщо і визначена, то яке саме значення вона набуває в цій точці. Щоб студенти це зрозуміли, нами якраз і вибрана для прикладу саме така функція f .

Зазначимо, що означення границі функції в точці за Гейне має низку беззаперечних переваг порівняно з іншими означеннями цього поняття. Насамперед це його універсальний характер, який виражається в тому, що в цьому означенні x_0 і A можуть бути як скінченними, так нескінченними числами. Якщо ж формулювати означення границі функції за Коші, то потрібно окремо розглядати різні випадки для скінченних та (або) нескінченних x_0 і A та для кожного з них формулювати відповідні означення. Крім того, на основі означення границі функції за Гейне доведення основних властивостей границь функцій не викликають значних труднощів, оскільки спираються на відповідні властивості границь послідовностей (на відміну від відповідних доведень, що ґрунтуються на використанні означення границі функції за Коші).

Після введення поняття границі функції в точці слід розглянути приклади на його закріплення. Зокрема, один із прикладів може бути таким:

Те, що $y \in (1;3)$ графічно означає, що графік функції $y = f(x)$ лежить у цій смугі. Для значень функції $y=1$ і $y=3$ обчислимо відповідні значення аргументу: $\sqrt{x}=1 \Rightarrow x=1, \sqrt{x}=3 \Rightarrow x=9$.

Отже, для μ -околу $(1;3)$ точки $A=2$ ми можемо вказати проколений окіл $O_1(4) = (1;9) \setminus \{4\}$ точки $x_0=4$ такий, що для всіх $x \in O_1(4)$ відповідні значення функції f потрапляють в інтервал $(1;3)$ – ε -окіл точки $A=2$. Тут важливо наголосити студентам, що розглядаємо саме проколений окіл точки 4, оскільки $f(4)=5$, а $5 \notin (1;3)$.

Візьмемо $\varepsilon=0,5$. Тоді маємо окіл $(1,5;2,5)$ точки $A=2$. При цьому ширина відповідної горизонтальної смуги зменшиться (див. рис. 4).

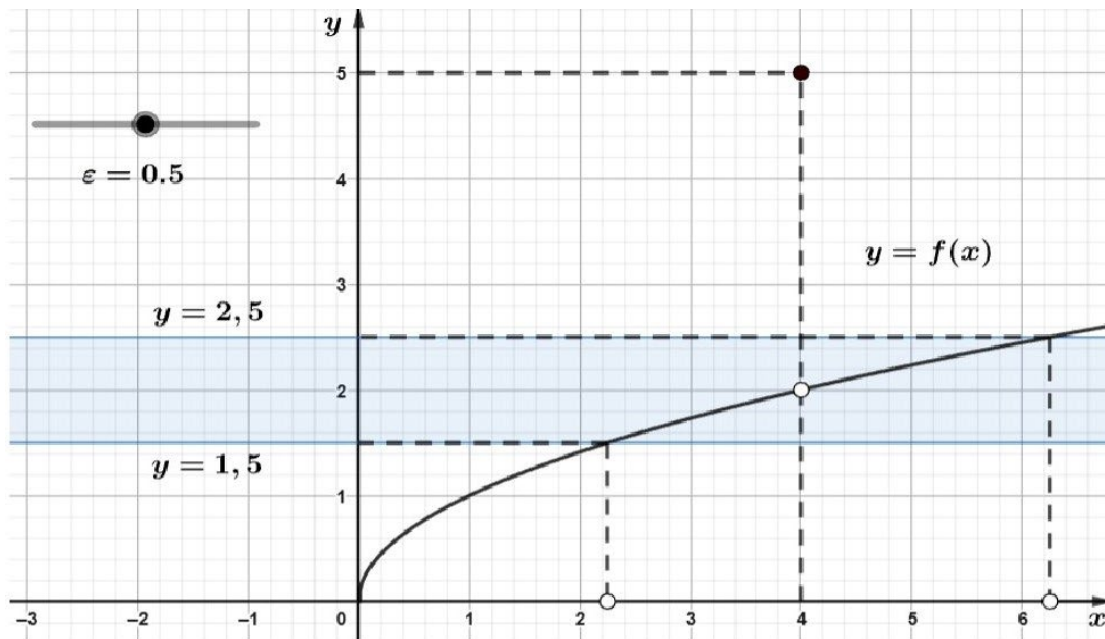


Рис. 4. Графічна ілюстрація означення границі функції в точці мовою околів для випадку $\varepsilon=0,5$

Для цього околу ми також можемо вказати проколений окіл $O_2(4) = (2,25;6,25) \setminus \{4\}$ точки $x_0=4$ такий, що для всіх $x \in O_2(4)$ відповідні значення функції f потрапляють в інтервал $(1,5;2,5)$ – ε -окіл точки $A=2$.

Спостерігаючи за динамічними ілюстраціями, на яких за допомогою відповідного бігунка вдається змінювати значення ε , студенти зможуть висунути гіпотезу: для будь-якого ε -околу точки $A=2$ завжди можна вказати відповідний проколений окіл $O(4)$ точки $x_0=4$ такий, що для всіх x з цього околу відповідні значення функції f потрапляють в інтервал $(2-\varepsilon;2+\varepsilon)$ – ε -окіл точки $A=2$. Разом зі студентами довести цю гіпотезу.

$$f(x) \in (2-\varepsilon;2+\varepsilon) \Leftrightarrow 2-\varepsilon < \sqrt{x} < 2+\varepsilon.$$

Розглянемо два випадки для ε : 1) $0 < \varepsilon \leq 2$; 2) $\varepsilon > 2$.

Нехай $0 < \varepsilon \leq 2$. Тоді $2-\varepsilon < \sqrt{x} < 2+\varepsilon \Leftrightarrow (2-\varepsilon)^2 < x < (2+\varepsilon)^2$.

Отже, якщо $0 < \varepsilon \leq 2$, то, взявши проколений окіл $O_1(4) = ((2-\varepsilon)^2; (2+\varepsilon)^2) \setminus \{4\}$ точки $x_0=4$, одержимо, що для всіх x з цього околу відповідні значення функції f потрапляють в інтервал $(2-\varepsilon;2+\varepsilon)$ – ε -окіл точки $A=2$. Цей факт ілюструємо за допомогою динамічних рисунків (див. рис. 5).

Якщо $\varepsilon > 2$, то ліва частина подвійної нерівності $2-\varepsilon < \sqrt{x} < 2+\varepsilon$ є від'ємною. Урахувавши це, отримуємо $0 \leq x < (2+\varepsilon)^2$. Отже, якщо $\varepsilon > 2$, то взявши проколений окіл $O_2(4) = (0; (2+\varepsilon)^2) \setminus \{4\}$ точки $x_0=4$, одержимо, що для всіх x з цього околу відповідні значення функції f потрапляють в інтервал $(2-\varepsilon;2+\varepsilon)$ – ε -окіл точки $A=2$. Цей факт також ілюструємо за допомогою динамічних рисунків (див. рис. 6).

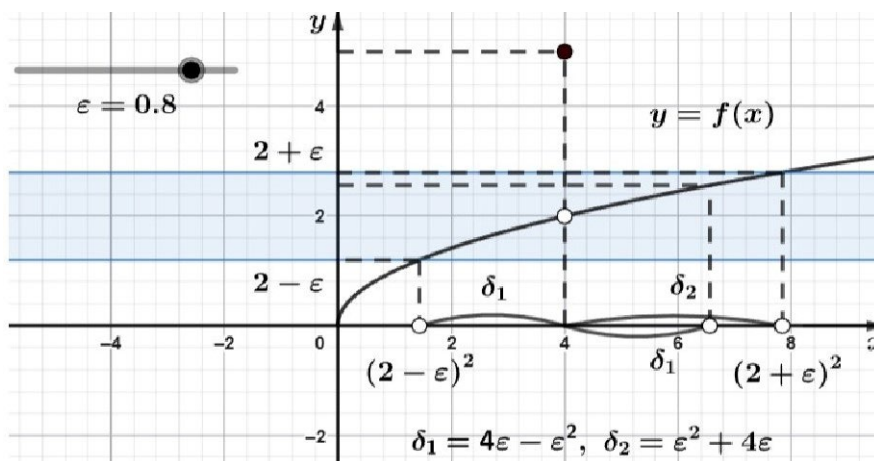


Рис. 5. Графічна ілюстрація означення границі функції в точці мовою околів та означення за Коші для довільного $\varepsilon(0;2]$

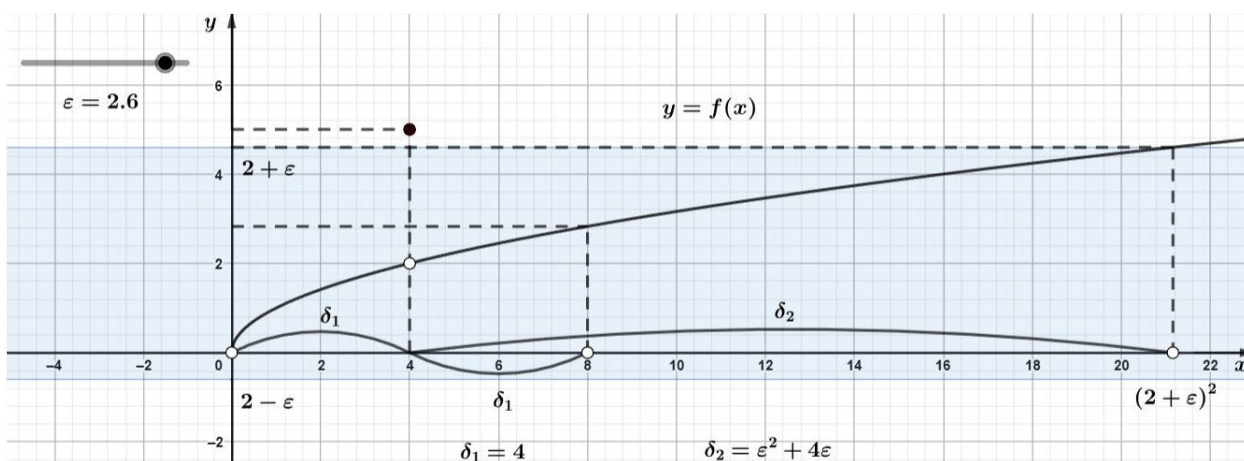


Рис. 6. Графічна ілюстрація означення границі функції в точці мовою околів та означення за Коші для довільного $\varepsilon > 2$

Таким чином, ми довели, що коли $\lim_{x \rightarrow 4} f(x) = 2$, то для будь-якого ε -околу точки $A=2$ завжди можна вказати відповідний проколений окіл $O(4)$ точки $x_0=4$ такий, що для всіх x з цього околу відповідні значення функції f потрапляють в μ -окіл точки $A=2$.

Спираючись на проведені міркування, студенти зможуть самостійно сформулювати **означення границі функції в точці мовою околів**. Нехай функція $y = f(x)$ визначена в деякому околі точки x_0 , за винятком, можливо, самої точки x_0 . Тоді число A називають границею функції f у точці x_0 , якщо для будь-якого μ -околу точки A існує проколений окіл $O(x_0)$ точки x_0 такий, що для всіх x з цього околу відповідні значення функції f потрапляють в ε -окіл точки A .

Слід звернути увагу студентів на те, що проколений окіл $O(x_0)$ точки x_0 , про який йдеться в означенні, не завжди є симетричним відносно точки x_0 . Зокрема, для наведеного вище прикладу проколені околи $O_1(4) = ((2-\varepsilon)^2; (2+\varepsilon)^2) \setminus \{4\}$ і $O_2(4) = (0; (2+\varepsilon)^2) \setminus \{4\}$ не є симетричними відносно точки $x_0=4$ для всіх $\varepsilon > 0$. Спробуємо для будь-якого ε -околу точки $A=2$ знайти такий відповідний симетричний проколений окіл точки x_0 , що для всіх x з цього околу відповідні значення функції f потрапляють в ε -окіл точки A .

Розглянемо випадок $0 < \varepsilon \leq 2$. Уведемо позначення: $\delta_1 = 4 - (2-\varepsilon)^2 = 4\varepsilon - \varepsilon^2$ і $\delta_2 = (2+\varepsilon)^2 - 4 = \varepsilon^2 + 4\varepsilon$. На рисунку 5 значення δ_1 і δ_2 – це відстані від точки $x_0=4$ до кінців інтервалу $((2-\varepsilon)^2; (2+\varepsilon)^2)$. Нехай $\delta = \min\{\delta_1; \delta_2\}$. Легко переконатися, що $\delta_2 > \delta_1$. Справді, $\delta_2 - \delta_1 = \varepsilon^2 + 4\varepsilon - (4\varepsilon - \varepsilon^2) = 2\varepsilon^2 > 0$, коли

$\varepsilon > 0$. Звідси випливає, що $\delta_2 > \delta_1$. Тому $\delta = \delta_1 = 4\varepsilon - \varepsilon^2$. Якщо тепер розглянути інтервал $(4 - \delta; 4 + \delta)$, то він уже буде симетричним відносно точки $x_0 = 4$ і $(4 - \delta; 4 + \delta) \cap ((2 - \varepsilon)^2; (2 + \varepsilon)^2) = ((2 - \varepsilon)^2; (2 + \varepsilon)^2)$ (див. рис. 7).

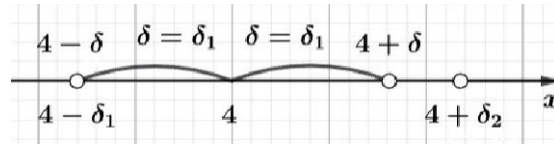


Рис. 7. Включення інтервалу $(4 - \delta; 4 + \delta)$ в інтервал $(4 - \delta_1; 4 + \delta_2)$

Оскільки, як показано вище, для всіх $x \in O_1(4) = ((2 - \varepsilon)^2; (2 + \varepsilon)^2) \setminus \{4\}$ відповідні значення $f(x) \in (2 - \varepsilon; 2 + \varepsilon)$, то і для всіх $x \in (4 - \delta; 4 + \delta)$ також $f(x) \in (2 - \varepsilon; 2 + \varepsilon)$. Ці викладки обов'язково ілюструємо відповідними динамічними рисунками (див. рис. 5).

Зазначені належності проміжкам можна записати так:

$$x \in (4 - \delta; 4 + \delta) \Leftrightarrow 4 - \delta < x < 4 + \delta \Leftrightarrow -\delta < x - 4 < \delta \Leftrightarrow |x - 4| < \delta.$$

Враховуючи умову, що точка $x_0 = 4$ не повинна належати інтервалу $(4 - \delta; 4 + \delta)$, останню нерівність можна записати так: $0 < |x - 4| < \delta$.

$$f(x) \in (2 - \varepsilon; 2 + \varepsilon) \Leftrightarrow 2 - \varepsilon < f(x) < 2 + \varepsilon \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow -\varepsilon < f(x) - 2 < \varepsilon \Leftrightarrow |f(x) - 2| < \varepsilon.$$

Отже, для будь-якого $\varepsilon \in (0; 2]$ можна вказати таке $\delta = 4\varepsilon - \varepsilon^2$, що для всіх x , що задовольняють нерівності $0 < |x - 4| < \delta$, виконується нерівність $|f(x) - 2| < \varepsilon$.

Розглянемо випадок $\varepsilon > 2$. Як було встановлено вище, у цьому разі можна вказати проколений окіл $O_2(4) = (0; (2 + \varepsilon)^2) \setminus \{4\}$ точки $x_0 = 4$ такий, що для всіх x з цього околу відповідні значення функції f потрапляють в інтервал $(2 - \varepsilon; 2 + \varepsilon)$. Але цей проколений окіл не є симетричним відносно точки $x_0 = 4$ для всіх $\mu > 0$. Відстані від точки 4 до лівого і правого кінців цього околу відповідно дорівнюють: $\delta_1 = 4 - 0 = 4$ і $\delta_2 = (2 + \varepsilon)^2 - 4 = \varepsilon^2 + 4\varepsilon$. Якщо $\varepsilon > 2$, то $\varepsilon^2 + 4\varepsilon > 4$. Тому за δ візьмемо $\min\{\delta_1; \delta_2\} = \min\{4; \varepsilon^2 + 4\varepsilon\} = 4$. При цьому справедливим буде включення $(4 - \delta; 4 + \delta) = (4 - 4; 4 + 4) = (0; 8) \cap (0; (2 + \varepsilon)^2) \setminus \{4\}$. Оскільки для всіх $x \in O_2(4) = (0; (2 + \varepsilon)^2) \setminus \{4\}$ відповідні значення $f(x) \in (2 - \varepsilon; 2 + \varepsilon)$, то також для всіх $x \in (4 - \delta; 4 + \delta) \setminus \{4\}$ має місце $f(x) \in (2 - \varepsilon; 2 + \varepsilon)$. Ці викладки обов'язково ілюструємо відповідними динамічними рисунками (див. рис. 6).

Отже, для будь-якого $\varepsilon > 2$ можна вказати таке $\delta = 4$, що для всіх x , що задовольняють нерівності $0 < |x - 4| < \delta$ виконується нерівність $|f(x) - 2| < \varepsilon$.

Таким чином, ми встановили, що коли $\lim_{x \rightarrow 4} f(x) = 2$, то для будь-якого $\varepsilon > 0$ знайдеться $\delta > 0$ (для $\varepsilon \in (0; 2]$ $-\delta = 4\varepsilon - \varepsilon^2$, для $\varepsilon \in (2; +\infty)$ $-\delta = 4$) таке, що для всіх x , що задовольняють нерівності $0 < |x - 4| < \delta$, виконується нерівність $|f(x) - 2| < \varepsilon$.

Узагальнюючи наведені міркування, студенти самостійно зможуть сформулювати **означення границі функції в точці за Коші**. Нехай функція $y = f(x)$ визначена в деякому околі точки x_0 , за винятком, можливо, самої точки x_0 . Тоді число A називають границею функції f у точці x_0 , якщо для будь-якого $\varepsilon > 0$ знайдеться число $\delta > 0$ таке, що для всіх x , що задовольняють нерівності $0 < |x - x_0| < \delta$, виконується нерівність $|f(x) - A| < \varepsilon$.

Далі слід наголосити студентам, що наведене означення сформульовано для випадку, коли $A < \infty$ і $x_0 < \infty$. Це означення дещо видозмінюється, якщо хоча б одне із цих чисел є невласним. Потрібно сформулювати означення границі функції за Коші для випадків:

- 1) $x_0 < \infty$, $A = +\infty$; 2) $x_0 < \infty$, $A = -\infty$;
- 3) $x_0 = +\infty$, $A < \infty$; 4) $x_0 = -\infty$, $A < \infty$.

Для кращого розуміння цих означень для кожного випадку слід обов'язково навести відповідну графічну ілюстрацію.

Означення границі функції в точці для варіантів, коли A і x_0 одночасно є невласними числами, запропонувати студентам сформулювати самостійно.

Далі потрібно розглянути приклади на закріплення означення границі функції в точці за Коші. Зокрема, один із таких прикладів може бути таким:

Приклад. Використовуючи означення границі функції в точці за Коші, довести, що $\lim_{x \rightarrow -3} (4x + 5) = -7$.

Доведення. За означенням границі функції в точці за Коші потрібно довести, що для будь-якого $\varepsilon > 0$ існує число $\delta > 0$ таке, що з нерівності $0 < |x + 3| < \delta$ випливає нерівність $|(4x + 5) - (-7)| < \varepsilon$.

Оскільки

$$|(4x + 5) - (-7)| < \varepsilon \Leftrightarrow |4x + 12| < \varepsilon \Leftrightarrow 4|x + 3| < \varepsilon \Leftrightarrow |x + 3| < \frac{\varepsilon}{4},$$

То, взявши $\delta = \frac{\varepsilon}{4}$, з нерівності $0 < |x + 3| < \delta = \frac{\varepsilon}{4}$, маємо

$$|(4x + 5) - (-7)| = 4|x + 3| < 4 \cdot \frac{\varepsilon}{4} = \varepsilon.$$

Отже, для будь-якого $\varepsilon > 0$ знайдено число $\delta = \frac{\varepsilon}{4} > 0$ таке, що з нерівності $0 < |x + 3| < \delta$ випливає нерівність $|(4x + 5) - (-7)| < \varepsilon$. Згідно з означенням границі функції в точці за Коші $\lim_{x \rightarrow -3} (4x + 5) = -7$.

Доведення основних властивостей границь доцільно провести, спираючись на означення границі функції за Гейне, оскільки при цьому вони зводяться до безпосереднього використання відповідних властивостей границь послідовностей. Після цього слід буде зазначити студентам, що границі функцій знаходять зазвичай, спираючись не на означення, а використовуючи основні властивості границь та суть поняття границі. Особливу увагу слід приділити навчання студентів знаходити границю функції, коли не є застосовними основні властивості границь, пов'язані з арифметичними операціями над функціями. При цьому обов'язково розглянути приклади на знаходження границь функції, що приводять до різноманітних невизначеностей.

Висновки. Запропонована методика введення поняття границі функції ґрунтується на поєднанні наочних міркувань з їх подальшим аналітичним обґрунтуванням, що дає змогу студентам самостійно дійти до формулювання різних означень границі функції. Такий підхід сприяє свідомому засвоєнню студентами поняття границі функції.

Література:

1. Жалдак М. І., Михалін Г. О., Деканов С. Я. Одне узагальнення поняття границі функції та деякі його застосування. *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. Київ, 2007. Вип. 5 (12). С. 3–9. URL: <https://enpuirb.udu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a2849bda-bd41-40b0-a49c-68c4da2202f8/content>.
2. Колесник Т. В., Тарасенко О. В. Особливості введення поняття границі у шкільному курсі математики. *Математика в школі*. 2008. № 5. С. 34–39.
3. Михалін Г. О. Професійна підготовка вчителя математики у процесі навчання математичного аналізу. Київ: РНИЦ «ДІНІТ», 2003. 320 с.
4. Музиченко С. В. Деякі методичні особливості формування у старшокласників поняття границі. *Актуальні питання природничо-математичної освіти*. 2015. № 5–6. С. 18–24. URL: <https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/6529/1/Muzichenko%20S.%20S.pdf>.
5. Томащук О., Самусенко П., Лещинський О., Іллічева Л. Методика формування поняття границі послідовності у студентів закладів вищої освіти. *Фізико-математична освіта*. 2024. Т. 39, № 2. С. 60–67. DOI: <https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i2-08>.
6. Третяк М. В., Босовський М. В. Деякі роздуми про вивчення границі числової послідовності. *Science and Education a New Dimension: Pedagogy and Psychology*. 2017. № 135. С. 14–17. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewById/557428.pdf>.
7. Cory B. L., Garofalo J. Using Dynamic Sketches to Enhance Preservice Secondary Mathematics Teachers' Understanding of Limits of Sequences. *Journal for Research in Mathematics Education*. 2011. Vol. 42, No. 1. P. 65–96. DOI: <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.42.1.0065>.

8. Cotrill J., Dubinsky E., Nichols D., Schwingendorf K., Thomas K., Vidakovic D. Understanding the limit concept: Beginning with a coordinated process schema. *Journal of Mathematical Behavior*. 1996. Vol. 15, No. 2. P. 167–192. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(96\)90015-2](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(96)90015-2).
9. Denbel D. G. Students' misconceptions of the limit concept in a first calculus course. *Journal of Education and Practice*. 2014. Vol. 5, No. 34. P. 24–40. URL: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEP/article/view/17236>.
10. Fernández-Plaza J. A., Rico L., Ruiz-Hidalgo J. F. Concept of finite limit of a function at a point: Meanings and specific terms. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. 2013. Vol. 44, No. 5. P. 699–710. DOI: <https://doi.org/10.1080/0020739X.2013.805887>.
11. Flores A., Park J. Students' Guided Reinvention of Definition of Limit of a Sequence With Interactive Technology. *Contemporary Issues in Technology & Teacher Education*. 2016. Vol. 16, No. 2. P. 110–126.
12. Liang S. Teaching the Concept of Limit by Using Conceptual Conflict Strategy and Desmos Graphing Calculator. *International Journal of Research in Education and Science*. 2016. Vol. 2, No. 1. P. 35–48. URL: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1105103>.
13. Mamona-Downs J. Letting the intuitive bear on the formal; a didactical approach for the understanding of the limit of a sequence. *Educational studies in mathematics*. 2001. Vol. 48, No. 2. P. 259–288. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016004822476>.
14. Oehrtman M., Swinyard C., Martin J. Problems and solutions in students' reinvention of a definition for sequence convergence. *Journal of Mathematical Behavior*. 2014. Vol. 33. P. 131–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2013.11.006>.
15. Szydlik J. E. Mathematical beliefs and conceptual understanding of the limit of a function. *Journal for Research in Mathematics Education*. 2000. Vol. 31, No. 3. P. 258–276. DOI: <https://doi.org/10.2307/749807>.

References:

1. Zhaldak, M.I., Mykhalin, H.O., Dekanov, S.Ya. (2027). Odne uzahalnennya ponyattya hranytsi funktsiyi ta deyaki yoho zastosuvannya [One generalization of the concept of the boundary of a function and some of its applications]. *Naukovyy chasopys Ukrayinskoho derzhavnoho universytetu imeni Mykhayla Drahomanova. Seriya 2. Kompyuterno-orijentovani systemy navchannya – Scientific Journal of the Mykhailo Dragomanov Ukrainian State University. Series 2. Computer-Oriented Learning Systems*, 5 (12), 3–9. Retrieved from URL: <https://enpuirb.udu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a2849bda-bd41-40b0-a49c-68c4da2202f8/content> [in Ukrainian].
2. Kolesnyk, T.V., Tarasenko, O.V. (2008). Osoblyvosti vvedennya ponyattya hranytsi u shkilmomu kursi matematyky [Peculiarities of introducing the concept of limit in the school mathematics course]. *Matematyka v shkoli – Mathematics at school*, 5, 34–39 [in Ukrainian].
3. Mykhalin, H.O. (2003). *Profesiynna pidhotovka vchytelya matematyky u protsesi navchannya matematychnoho analizu [Professional training of mathematics teachers in the process of teaching mathematical analysis]*. Kyiv: DINIT [in Ukrainian].
4. Muzychenko, S.V. (2015). Deyaki metodychni osoblyvosti formuvannya u starshoklasnykiv ponyattya hranytsi [Some methodological features of the formation of the concept of a limit in high school students]. *Aktualni pytannya pryrodnycho-matematychnoyi osvity – Current issues of science and mathematics education*, 5–6, 18–24. Retrieved from URL: <https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/6529/1/Muzichenko%20S.%20S.pdf> [in Ukrainian].
5. Tomashchuk, O., Samusenko, P., Leshchynskyy, O., Illicheva, L. (2024). Metodyka formuvannya ponyattya hranytsi poslidovnosti u studentiv zakladiv vyshchoyi osvity [Methodology for the formation of the concept of the limit of a sequence among students of higher education institutions]. *Fyzyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 39 (2), 60–67. DOI: <https://doi.org/10.31110/fmo2024.v39i2-08> [in Ukrainian].
6. Tretyak, M.V., Bosovskyy, M.V. (2017). Deyaki rozдумы pro vyvchennya hranytsi chyslovyoi poslidovnosti [Some reflections on the study of the limit of a numerical sequence]. *Science and Education a New Dimension: Pedagogy and Psychology*, 135, 141–7. Retrieved from URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/557428.pdf> [in Ukrainian].
7. Cory, B.L., Garofalo, J. (2011). Using Dynamic Sketches to Enhance Preservice Secondary Mathematics Teachers' Understanding of Limits of Sequences. *Journal for Research in Mathematics Education*, 42 (1), 65–96. DOI: <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.42.1.0065> [in English].
8. Cotrill, J., Dubinsky, E., Nichols, D., Schwingendorf, K., Thomas, K., Vidakovic, D. (1996). Understanding the limit concept: Beginning with a coordinated process schema. *Journal of Mathematical Behavior*, 15 (2), 167–192. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(96\)90015-2](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(96)90015-2) [in English].

9. Denbel, D.G. (2014). Students' misconceptions of the limit concept in a first calculus course. *Journal of Education and Practice*, 5 (34), 24-40. Retrieved from URL: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEP/article/view/17236> [in English].
10. Fernández-Plaza, J.A., Rico, L., Ruiz-Hidalgo, J.F. (2013). Concept of finite limit of a function at a point: Meanings and specific terms. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 44 (5), 699–710. DOI: <https://doi.org/10.1080/0020739X.2013.805887>. [in English].
11. Flores, A., Park, J. (2016). Students' Guided Reinvention of Definition of Limit of a Sequence With Interactive Technology. *Contemporary Issues in Technology & Teacher Education*, 16 (2), 110–126. Retrieved from URL: <https://www.learntechlib.org/primary/p/151562/> [in English].
12. Liang, S. (2016). Teaching the Concept of Limit by Using Conceptual Conflict Strategy and Desmos Graphing Calculator. *International Journal of Research in Education and Science*, 2 (1), 35–48. Retrieved from URL: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1105103> [in English].
13. Mamona-Downs, J. (2001). Letting the intuitive bear on the formal; a didactical approach for the understanding of the limit of a sequence. *Educational studies in mathematics*, 48 (2), 259–288. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016004822476> [in English].
14. Oehrtman, M., Swinyard, C., Martin, J. (2014). Problems and solutions in students' reinvention of a definition for sequence convergence. *Journal of Mathematical Behavior*, 33, 131–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2013.11.006> [in English].
15. Szydlik, J.E. (2000). Mathematical beliefs and conceptual understanding of the limit of a function. *Journal for Research in Mathematics Education*, 31 (3), 258–276. DOI: <https://doi.org/10.2307/749807> [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 19.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 16.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026

НОТАТКИ

Наукове видання

НАУКОВІ ЗАПИСКИ

Серія:

Проблеми природничо-математичної,
технологічної та професійної освіти

Випуск 1(7)

Коректор *І. М. Чудеснова*
Комп'ютерне верстання *Н. С. Кузнєцова*

Дата розміщення онлайн: 21.04.2026. Дата друку: 28.04.2026.
Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 13,49. Зам. № 0326/242
Наклад 100 прим.

Надруковано: Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.